TRATAMENTO TÉRMICO DE TEMPERA E REVENIDO EM DIFERENTES MEIOS DE RESFRIAMENTO DO AÇO DIN 18CrNiMo7-6

QUENCH AND TEMPERING HEAT TREATMENT IN DIFFERENT COOLING MEANS OF STEEL DIN 18CrNiMo7-6

Fernando Henrique Vicente[I]
Wallace da Silva Domingos[II]
Antonio Carlos Muniz Ventura Junior[III]
Mirian Isabel Junqueira Sarni[IV]
Raquel Gomes Meirelles[V]

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo de realizar um comparativo com três corpos de provas temperados em meios diferentes de resfriamento, para verificar como a estrutura se comporta antes da cementação, para poder definir se as diferentes estruturas resultantes interferem no posterior tratamento de cementação. Como estudo, utilizou-se o aço DIN18CrNiMo7-6, aço típico para cementação, empregadas em peças de alto índice de desgaste nas usinas de cana, aplicando-se o tratamento de austenitização a temperatura de 850°C e posteriormente, resfriadas no meio em óleo, água e ao ar calmo. Na sequência, os corpos de prova serão levados novamente ao forno e revenido na temperatura de 300°C e resfriados lentamente em seu interior. Após revenidos, serão feitas análises quanto à composição química, análise metalográfica, dureza, ensaio de tração, impacto. Todos os ensaios seguiram as especificações conforme a norma ASTM para esse tipo de aço a fim de comparar os resultados obtidos com relação a literatura pesquisada. Com os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova, as estruturas resultantes bainita, ferrita e perlita foram em função do meio de tempera em água, óleo e ar calmo. A média das durezas foram de 402HB a 272HB, os resultados de tração variaram de 1472MPa a 889MPa e os resultados do ensaio de tenacidade ao impacto *Charpy* atingiram o valor médio de 48J. Com os resultados, a tempera em água atende as peças em função dos esforços aplicados quando em operação de trabalho. Nos meios a óleo e ar, os resultados não atendem a aplicação de trabalho das peças.

Palavras-chave: Aço DIN 18CrNiMo7-6. Têmpera e revenido. Propriedades mecânicas.

[I] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: fhvvicente@hotmail.com
[II] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: wallacequalyservice@gmail.com
[III]Prof. Esp. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: acm.ventura@gmail.com
[IV]Profa. Me da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: miriansarni@hotmail.com
[V]Prof. Esp. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – SP – Brasil. Email: raquelita.meirelles@gmail.com

ABSTRACT

The present work aims to make a comparison with three specimens tempered in different cooling means, to verify how the structure behaves before carburizing, so that we can define whether the different resulting structures interfere in the subsequent carburizing treatment. As a study, DIN18CrNiMo7-6 steel was used, a typical steel for carburizing, used in pieces of high wear index in the sugarcane plants, applying the austenitization treatment at a temperature of 850°C and later, cooled in the middle in oil, water and calm air. Then, the specimens will be taken back to theoven and tempered at a temperature of 300°C and cooled slowly inside. After tempering, analyzes will be made regarding chemical composition, metallographic analysis, hardness, tensile test, impact. All tests followed the specifications accordingto the ASTM standard for this type of steel in order to compare the results obtained with the researched literature. With the results of the tests carried out on the specimens, the resulting structures bainite, ferrite and perlite were based on the tempering medium in water, oil and calm air. The average hardness was 402HB to 272HB, the tensile results varied from 1472MPa to 889MPa and the results of the Charpy impact toughness test reached the average value of 48J. With the results, the tempera in water meets the parts depending on the efforts applied when in work operation. In oil and air media, the results do not meet the work application of the parts.

Keywords: DIN 18CrNiMo 7-6 steel. Quenching and tempering. Mechanical properties.

Data de submissão do artigo: 13/08/2020.
Data de aprovação do artigo: 04/11/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.107

1 INTRODUÇÃO

O aço DIN 18CrNiMo7-6 é um aço carbono e baixa liga, utilizado para a fabricação de peças como engrenagens, ferramentas e matrizes. Normalmente tratamentos de tempera e revenido são utilizados para melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade superficial ao desgaste nesses tipos de peças. Alguns tipos desses aços exigem temperaturas muito elevadas de austenitização de modo que é necessário realizar seu aquecimento em mais de uma etapa, minimizando os riscos de choque térmico além de diminuir a tendência de acentuado crescimento de grãos. Esse tratamento é feito para a obtenção de uma dureza superficial mais elevada alterando a sua microestrutura resultante e consequentemente suas propriedades mecânicas na superfície de contato.

2 HISTÓRIA DO AÇO

A cerca de 4500 anos o ferro metálico usado pelo homem era encontrado *in natura* em meteoritos recolhidos pelas tribos nômades no deserto da Ásia. Por sua beleza e maleabilidade e por difícil obtenção era considerado um metal precioso que se destinava principalmente ao adorno. Muitos defendem que o homem descobriu o ferro no período neolítico por volta de 6000 a 4000 a.C. e teria surgido por acaso. Quando pedras de minério de ferro foram usadas para proteger uma fogueira, após aquecidas se transformou em bolinhas brilhantes. O fenômeno hoje é mais fácil de ser explicado. O calor do fogo havia derretido e quebrado as

pedras. Com a crescente preocupação com os impactos ambientais, alguns métodos para minimizar esses impactos foram criados ao longo da história. Um desses meios era a construção de chaminé para retirada de gases de combustões gerados por máquinas termodinâmicas. Essas chaminés antigamente eram construídas em alvenaria, onde demandava muito tempo para a construção e grandes quantidades de materiais cerâmicos para a fabricação delas (BRASIL, 2019).

Segundo arqueólogos, o sistema proposto no século XIX pelos escandinavos, da idade da pedra seguiu-se para idade dos metais, sendo primeiro a do bronze e, em seguida a do ferro. A idade do bronze se desenvolveu entre 4000 a 2000 a.C. e por ser mais resistente ao cobre, possibilitou a fabricação de armas mais rígidas. A idade do ferro é considerada o último estágio tecnológico e cultural da pré-história. Aos poucos as armas e os utensílios de bronze foram substituídos pelo ferro na Europa e no oriente médio por volta de 1200 a.C. Novas técnicas foram sendo descobertas tornando o ferro mais duro e mais resistentes a corrosão. Um exemplo disso foi a adição de calcário à mistura de minério de ferro e carvão que possibilitava a melhor absorção de impureza do minério proporcionando novas técnicas de aquecimento (BRASIL, 2019).

2.1 Aços e suas ligas

Aços é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, com porcentagem de carbono de 0,008 a 2,11% e podem ser divididos em duas principais categorias: aços com até 2% de carbono além de outros elementos resultantes do processo e aços ligados que contém outros elementos de liga ou apresenta os elementos residuais em teores acima dos considerados normais (CHIAVERINI, 1987a). Os aços são classificados segundo suas propriedades mecânicas, composição química, aplicação, temperabilidade, resistência a corrosão, tamanho de grão, nível de inclusões não-metálicas, etc. (SILVA; MEI, 2006).

Sendo assim, a classificação dos aços podem ser: Aços baixo carbono para conformação mecânica: aços estruturais, para caldeira, vasos de pressão e tubulações, vergalhões para concreto, chapas e perfis estruturais, aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), aços para construção mecânica, aços de ultra alta resistência, aços para molas, aços para ferramentas, aços inoxidáveis, aços para cementação e aços maraging (SILVA; MEI, 2006).

2.2 Aços DIN 18CrNiMo7-6

O aço empregado nesse estudo é utilizado para fabricação de engrenagens, eixos de transmissão, coroa, pinhão, pinos, alavancas para aplicação de tratamento térmico de tempera e revenido, com o objetivo de obter propriedades de resistência mecânica na superfície e dutibilidade em seu núcleo (CHIAVERINI, 2003). São peças que não estão sujeitas a solicitações severas de outra natureza a não ser desgaste superficial. A Tabela 1 mostra as composições típicas dos aços comumente usados para tratamento térmico e sua respectiva norma classificadora.

Tabela 1 - Aços para cementação conforme norma DIN EN 10084

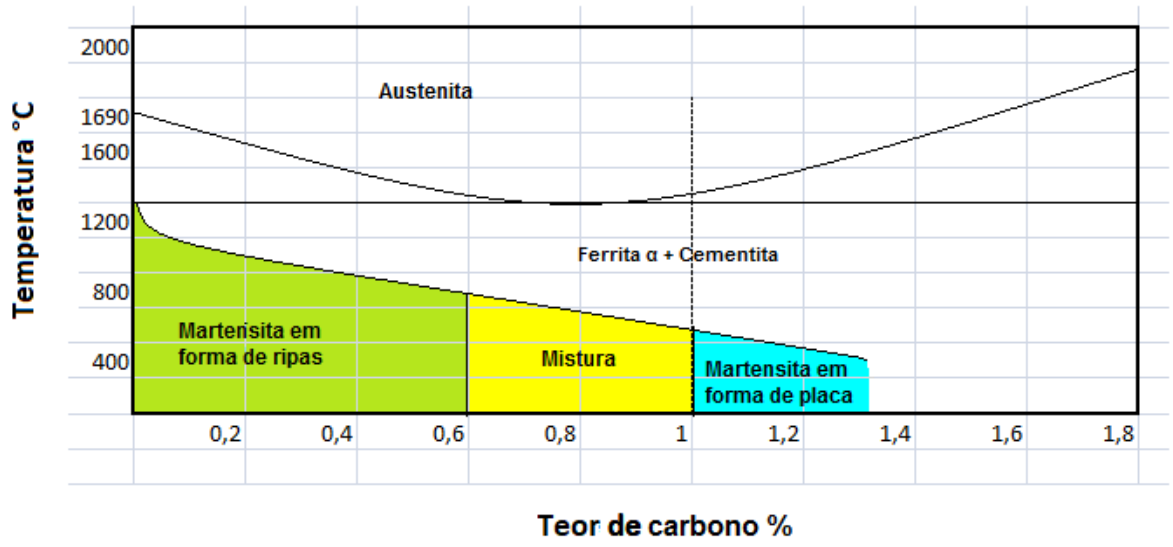
Símbolo	Composição Química						
DIN	C	Mn	P. Máx	S. Máx	Cr	Mo	Ni
18CrNiMo7-6	0,15/0,21	0,50/0,90	0,035	0,035	1,50/1,80	0,25/0,35	1,40/1,70

Fonte: DIN EN 10084 (2008)

O aço DIN 18CrNiMo7-6 após tratamento térmico de têmpera e revenido, tem-se excelentes resultados de resistência mecânica em função da formação de microestruturas de martensita revenida na camada externa da peça (CHIAVERINI, 2003).

A Figura 1 representa uma curva de microestruturas resultantes do tratamento de têmpera.

Figura 1 - Diagrama ferro-carbono destacando as microestruturas formadas após a têmpera



Fonte: Adaptado de Souza e Andrade (2013)

O aço DIN 18CrNiMo7-6 possui excelente resistência mecânica ao desgaste e suas propriedades físicas e mecânicas estão mostradas na Tabela 2.

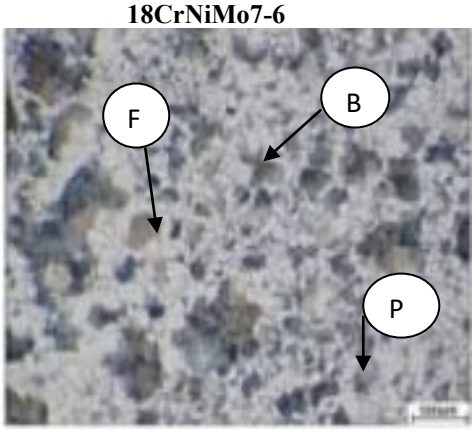
Tabela 2 - Propriedades físicas e mecânicas do aço DIN 18CrNiMo7-6

Tensão de ruptura (N/mm²)	Limite elástico, 0,2% mín. (N/mm²)	Alongamento (%)	Impacto, mín (J)	Dureza máx. (HB)
1080/1320	785	11	40	159/220

Fonte: DIN EN 10084 (2008)

O material é fornecido primeiramente pela aciaria como lingote de aço fundido com desgaseificação a vácuo e posteriormente em barra redonda forjada em acabamento desbastado, normalizado, altamente revenido para obtenção de microestrutura Ferrita + Perlita, podendo conter bandas de bainita revenida. A Figura 2 mostra a microestrutura do material normalizado.

Figura 2 - Metalografia típica do aço DIN 18CrNiMo7-6



Fonte: DIN EN 10084 (2008)

2.3 Cálculo do carbono equivalente

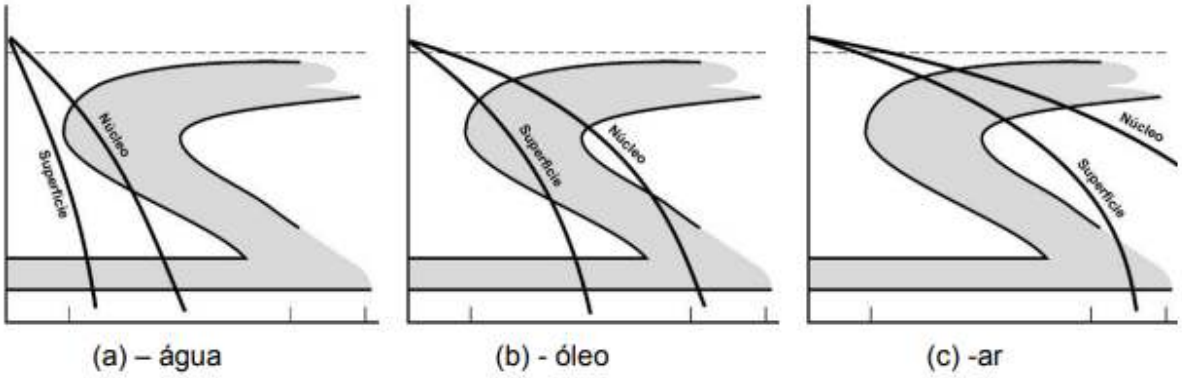
O carbono equivalente fornece um valor da combinação da composição química do material. Essa fórmula utiliza-se para a resistência e a temperabilidade dos aços, pois quanto maior a temperabilidade maior será a dureza do material e com isso fica mais fácil a formação de trincas. A fórmula desenvolvida pelo IIW (*International Institute of Welding*) é mais simplificada e tornou-se uma medida comumente aceita para soldabilidade dos aços, conforme a Equação 1.

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%\,Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (1)$$

2.4 Temperabilidade dos aços

A temperabilidade de um aço pode ser entendida como a capacidade de endurecimento ou a capacidade que o aço possui de obter estrutura martensítica a uma elevada profundidade sob determinadas condições de resfriamento. Pode-se dizer que o afastamento do cotovelo da curva de início de transformação do eixo das ordenadas, do diagrama TTT do aço considerado é proporcional à temperabilidade do material, ou seja, quanto maior for esse afastamento menor será a velocidade de resfriamento necessária para garantir a formação de martensita e, portanto, garantir o seu endurecimento. Quando se deseja conhecer a profundidade de endurecimento de um determinado aço, para o caso da fabricação de peças de responsabilidade, é comum recorrer-se à prática de ensaios. O ensaio de temperabilidade Jominy, devido à sua praticidade e versatilidade é um dos mais usados (BRUNATTO, 2016). A Figura 3 representa uma curva de tratamento térmico de tempera.

Figura 3 - Representação esquemática de curvas de resfriamento de uma peça sobrepostas ao doagrama TTT para diferentes tipos de meios de resfriamento: (a) água, (b) óleo e (c) ar



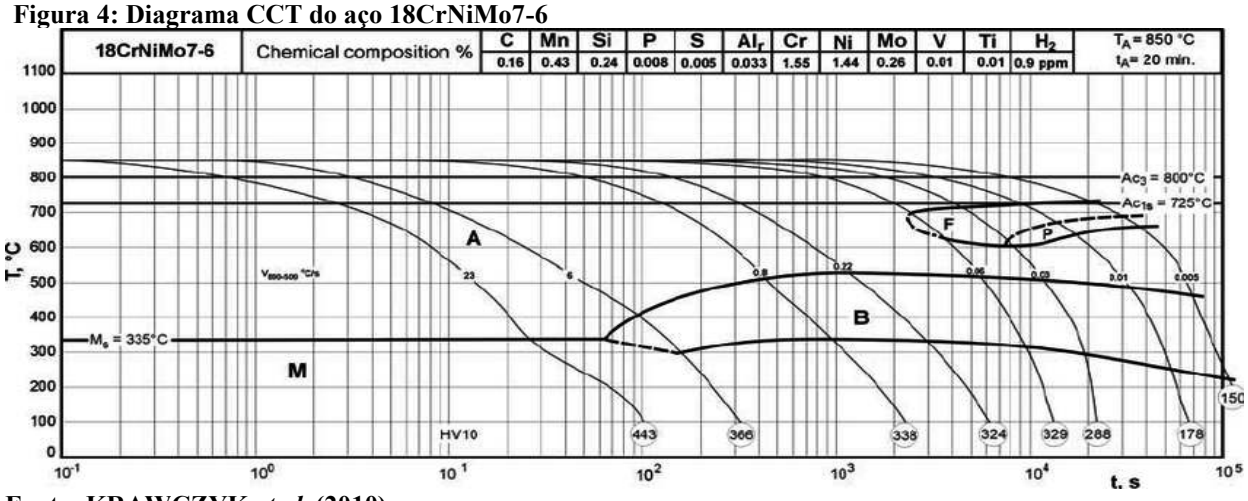
Fonte: PAVANATI (2010)

2.5 Têmpera

A têmpera é um processo de tratamento térmico do aço para se obter uma dureza maior no material conforme a necessidade de projeto. O processo de tempera quando feito corretamente aumenta a resistência ao desgaste, consequente aumenta a vida útil do componente (CHIAVERINI, 2003).

O processo consiste em aquecer o aço em um forno com temperatura acima da zona crítica. Os meios de resfriamento empregado na têmpera variam desde água, óleo, ar e a salmoura até os banhos de sal, eventualmente meios para tratamento subzero, esses último para reduzir a quantidade de austenita residual. Para o aço-carbono, a temperatura varia de 750º a 900ºC. A peça permanece nessa temperatura o tempo suficiente para se transformar em austenita. O que diferencia essa forma de tratamento é o seu processo de resfriamento. A peça é retirada do forno e mergulhada em água, óleo ou deixada ao ar. A temperatura cai de 850ºC para 20ºC. Trata-se de um resfriamento brusco, ou seja, proporcionar um choque térmico para que ocorra formação de martensita, e dependendo da propriedade química do aço, pode-se resfriar de forma menos severa, utilizando o banho de óleo (PAVANATTI, 2010). Na Figura 4 é mostrado o diagrama de resfriamento sob resfriamento contínuo (CCT) do aço 18CrNiMo7-6, onde indica a dureza relacionada ao tempo de resfriamento do material.

Figura 4: Diagrama CCT do aço 18CrNiMo7-6

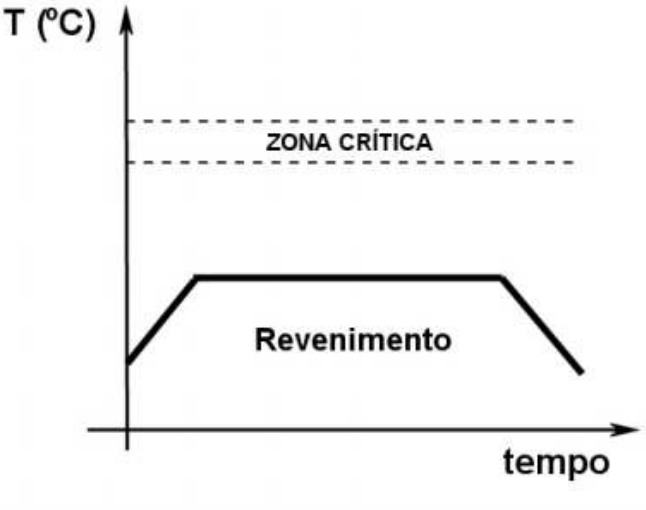


Fonte: KRAWCZYK *et al.* (2010)

2.6 Revenido

Por ser muito rápido o resfriamento na têmpera, gera tensões residuais e propriedades como dureza e resistência a tração atingem valores elevados, em contrapartida as propriedades como resistência ao choque e ao alongamento ficam com valores muito baixos, fazendo com que o aço nessa situação, fica impossível de trabalhar com esse material. Por esse motivo, faz-se o tratamento térmico de revenido, realizado num ciclo com temperatura de patamar subcrítico, e dependendo da finalidade, do tipo de aço a ser tratado, o tratamento tem por objetivo aliviar ou remover as tensões, corrigir a fragilidade e a dureza da martensita transformando em martensita revenida (PAVANATI, 2010). O Gráfico 1 representa um ciclo térmico de revenimento.

Gráfico 1 - Ciclo de revenimento



Fonte: Pavanati (2010)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento adotado foi em função de experimentos quantitativos com retirada de corpos de prova e qualitativos para apresentar os resultados dos ensaios de tratamentos térmicos de tempera e revenido em três meios de resfriamento diferentes.

3.1 Materiais e métodos

No aço DIN 18CrNiMo7-6, barra maciça com geometria cilíndrica, retirou-se um corpo de prova para analisar a sua composição química, utilizando-se um espectrômetro de emissão óptica *SpectroLab Maxx* e o resultado obtido está na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química do material

Composição (% em peso)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
Especificado	0,15/ 0,21	0,40 máx	0,50/ 0,90	0,03 máx	0,03 máx	1,50/ 1,80	1,40/ 1,70	0,25/ 0,35	-	-
Resultado	0,20	0,29	0,59	0,01	0,01	1,57	1,49	0,33	0,03	0,03

Fonte: os autores (2019)

3.2 Tratamento dos corpos de prova

Retirou-se três amostras do aço DIN 18CrNiMo7-6 nas medidas 200x15x15 conforme a norma DIN 10084. As amostras foram inseridas no forno tipo Mufla por 2hs na temperatura de 893°C. Após esse processo, cada um dos corpos de prova foi temperado em meios diferentes na temperatura ambiente de 25°C: CP1 em água, CP2 em óleo e o CP3 em ar atmosférico calmo. Após resfriados, os CPs foram colocados no forno na temperatura de 300°C por 4 horas e desligou-se o forno, para as amostras resfriarem lentamente até a temperatura ambiente.

3.3 Ensaio de metalografia

Os corpos de prova foram cortados, embutidos e preparados em lixadeira rotativa com lixas de granulometria #80, 100, 200, 400, 800, 1000 e 1200. Posteriormente foram polidas com óxido de cromo e com suspensão de alumina 0,3µm. Após o polimento foi realizado um ataque químico nas amostras numa solução de Nital 3% imergida durante 10s e levadas ao microscópio óptico para a análise das microestruturas, conforme norma ASTM E3-11.

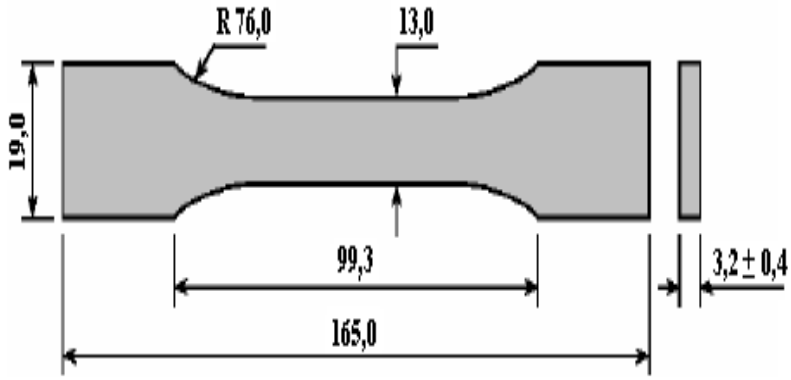
3.4 Ensaio de dureza

As durezas dos corpos de prova foram realizadas na escala *Brinell*, com um indentador esférico com uma carga de 150 Kgf, realizada no equipamento Digital Micro *Hardeness Testes* MHV-2000, conforme norma ASTM E3-17.

3.5 Ensaio de tração

Os corpos de prova de tração foram ensaiados em uma máquina universal modelo WDW 1008, com capacidade de 100 kN, conforme norma ASTM E8/E8M-16. Os corpos de prova foram retirados em uma máquina de corte por fita com aplicação de fluido refrigerante. A temperatura do ambiente de ensaio foi de 22°C. A Figura 5 representa o corpo prova de tração.

Figura 5 - Corpo de tração



Fonte: autores (2020)

3.6 Ensaio de impacto

Para o ensaio de impacto *Charpy,* com entalhe em V, utilizou-se o equipamento *Impact Testing Machine* JB-W 300 A, conforme norma ASTM E 23-18. Foram preparados 3 corpos de prova com entalhe para amostra nas dimensões 10x10x55. As dimensões e o entalhe, do corpo de prova de impacto utilizado, foram realizados por eletro-erosão a fio. A temperatura do ensaio foi de 22°C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção será discutido discutir os resultados obtidos em função da aplicação da peça e da teoria pesquisada, em função dos resultados obtidos.

4.1 Material aço DIN 18CrNiMo7-6

Com os resultados das análises químicas da Tabela 2, calculou-se o carbono equivalente do material para definir a sua temperabilidade, utilizando a Equação1.

$$CE = 0{,}205 + \frac{0{,}593}{6} + \frac{1{,}57+0{,}327+0}{5} + \frac{1{,}49+0{,}336}{15} \quad (1)$$

CE= 0,205 + 0,098 + 0,379 + 0,101 = 0,78%

O resultado mostra em função dos elementos químicos na composição do material, como boa a temperabilidade para transformar austenita em martensita, em função de uma taxa de resfriamento mínima (crítica). Esse método de cálculo seria mais aplicado para se ter uma noção da ordem de grandeza da severidade do resfriamento que necessitou-se impor para que a peça tempere por completo em função do percentual de C, Mn, Ni e Mo, elementos que aumentam a dureza e a temperabilidade do material.

4.2 Análise metalográfica

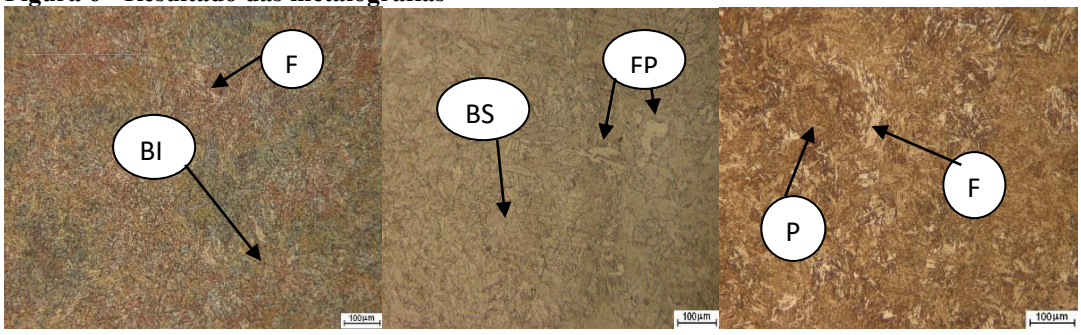
Os resultados das microestruturas das amostras após tratamento térmico de tempera e revenido, apresentaram as seguintes microestruturas conforme Figura 6:

CP 01 (água) – Microestrutura constituída por bainitas inferiores em forma de ripase traços e ferrita;

CP 02 (óleo) – Microestrutura constituída por bainitas superiores e ferrita poligonais;

CP 03 (ar calmo) - Microestrutura constituída por ferrita e perlita.

Figura 6 - Resultado das metalografias



CP1: água CP2: óleo CP3: ar calmo

Fonte: autores (2020)

4.3 Análise da dureza

Os resultados dos ensaios de dureza após a têmpera apresentaram uma maior resistência a penetração com relação ao material DIN 18CrNiMo 7-6 (159/220 HB) na amostra temperada a água, por ser um resfriamento mais severo e como resultado estruturas bainitas inferiores poligonais. No meio de tempera a óleo, os resultados ficaram um pouco baixo, em função das estruturas bainitas superiores e traços de ferritas poligonais na matriz e no ambiente ao ar apresentaram resultados de dureza de estruturas ferrita e perlitas na matriz, conforme representado na Tabela 4. Os resultados de dureza corroboram com as metalografias encontradas nos diferentes meios de resfriamento.

Tabela 4 - Ensaio de dureza

Resultado do Ensaio HB (*Brinell*)				
Região/Region.	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Média
Água	392 HB	407 HB	407 HB	402 HB
Óleo	342 HB	353 HB	332 HB	342 HB
Ar	255 HB	289 HB	273 HB	272 HB

Fonte: autores (2020)

4.4 Análise da tração

Os resultados de tração indicam na Tabela 5, uma maior resistência no meio de resfriamento em água, portanto, maior concentração de estruturas bainitas inferiores na matriz, conforme resultado da metalografia, com resistência maior que a do material de base. No ambiente a óleo, há uma relação de equilíbrio de estruturas bainiticas inferior e ferritas poligonais e com resultado dentro do especificado no material de base. No ambiente ao ar calmo, tem-se a estrutura predominante do material de base, ferrita e perlita e obteve-se um resultado inferior ao material de base normalizado.

Tabela 5 - Ensaio de tração

Tipos de Tempera	**Limite de Resistência (MPa)**	**Limite de Escoamento (MPa)**	**Alongamento (%)**	**Redução de Área (%)**
Água	1427	1362	8	23
Óleo	1294	1028	9	28
Ar	889	598	21	49
Material DIN	1080/1320	785	11	Não especificado

Fonte: autores (2020)

4.5 Ensaio de tenacidade ao impacto *charpy*

Os resultados médios do ensaio de tenacidade ao impacto *Charpy*, apresentam uma maior absorção de energia no meio de ar calmo, representando que a estrutura do material tem maior tenacidade para aplicação em ambientes com maiores exigências de esforço. Nos meios

em água e óleo, a média dos resultados são muito próximas, abaixo do material de base, indicando que o meio de resfriamento interfere nos resultados, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Ensaio de impacto *Charpy,* na temperatura de 22°C

Meios de resfriamento	ENERGIA ABSORVIDA(Joules)			MÉDIA (Joules)
	CP 01	CP 02	CP 03	
Água	38	36	36	36
Óleo	42	32	37	37
Ar	46	54	44	48
Material DIN				≥ 40

Fonte: autores (2020)

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados conclui-se que o material submetido a tempera em água (CP01), apresenta elevados valores de dureza e resistência mecânica, no entanto, tem uma significativa redução nas propriedades de ductibilidade. Já o corpo de prova resfriado em óleo (CP02) nota-se que o meio de resfriamento não foi tão severo quanto ao em água, essa percepção é melhor entendida quando avaliou-se os resultados de dureza e resistência mecânica, as quais, apresentaram valores inferiores ao corpo de prova resfriado em água e próximos ao metal de base normalizado. Para o corpo de prova resfriado em ar calmo (CP03) quando comparado aos corpos de prova (CP01 e CP02), pode-se constatar baixos valores de dureza e resistência mecânica, porem com valores superiores de alongamento e redução de área. Entretanto, os resultados ficaram abaixo do metal de base normalizado.

Portanto, conclui-se que o meio de resfriamento tem influência nas propriedades metalúrgicas do aço baixo liga DIN 18CrNiMo7-6, podendo ser utilizada a tempera em água para a aplicação do material em operação de desgaste, após revenido. Nos outros meios de resfriamento, deve-se utilizar o processo de cementação para melhorar as propriedades mecânicas superficiais.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM E8 / E8M-16a (2016) **Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**. ASTM International, Oeste Conshohocken18.

_____ASTM E10-15. **Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.** ASTM International. Pennsylvania, United States.

_____ASTM E3-17, **Standard Guide for Preparation of Metallografic Specimens**. ASTM International, USA, Dec. 2011.

_____ ASTM E23-18. **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.** ASTM International. Pennsylvania, United States.

BRASIL. **Instituto Aço.** 2019. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/. Acesso em: 10 nov. 2019.

BRUNATTO, S.F. **Introdução ao estudo dos aços**. 01/10/16. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM052/Prof.Silvio/INTRODU%C3%87%C3%83O%20AO%20ESTUDO%20DOS%20A%C3%87OS-Parte%205.pdf Acesso em: 19 mai. 2020.

CHIAVERINI Vicente. **Tratamento Térmico das Ligas Metálicas**. São Paulo Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2003.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 5.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1987a.

KRAWCZYK J., Bała P., Pawłowski B. **Kinetics of phase transformations of undercooled austenite in 18CrNiMo7-6 steel applied for toothed wheels.** Archives of Foundry Engineering. ISSN (1897-3310) v.10, Special Issue 3/2010 p. 29 – 34. Disponível em: http://www.afe.polsl.pl/index.php/pl/2506/kinetics-of-phase-transformations-of-undercooled-austenite-in-18crnimo7-6-steel-applied-for-toothed-wheels.pdf. Acesso em: 5 jun. 2020.

DIN, *Deutsches Institut für Normung Standard*. **Norma DIN 10084: 2008**. Aço baixa liga DIN 18CrNiMo7-6. 2008. Disponível em: http://www.skl.by/files/information/section/EN10084.pdf. Acesso em: 10 jun. 2020.

PAVANATI, H.C.. **Apostila Introdução à Tecnologia dos Materiais**. Novembro de 2010. Disponível em: http://pavanati.com.br/doc/Apostila_ITM_Henrique_C_Pavanati_%28nov2010%29.pdf. Acesso em: 25 mai. 2020.

SILVA, André Luiz V. Da Costa e, 1953- **Aços e ligas especiais**/ André Luiz V. Da Costa e Silva, Paulo Roberto Mei. – São Paulo: Edgard Blücher, 3 ed. 2006.