

AVALIAÇÃO DA DUREZA DO AÇO ABNT 1090 POR TRATAMENTO EM TÊMPERA

Cássia do Nascimento Marques¹

Fabiola Medeiros da Costa²

RESUMO

O tratamento térmico têmpera consiste em operações de aquecimento e resfriamento rápido do aço, exigindo controle sobre os fatores no qual serão analisados: temperatura e meio de resfriamento. O trabalho a seguir foi realizado com intuito de verificar a temperabilidade e dureza do aço 1090 W, quando é submetido a tratamento térmico. O aço 1090 W, por se tratar de um aço hipereutetóide já é considerado de elevada dureza, e após o tratamento com o resfriamento rápido não há tempo para difusão do carbono, transformando rapidamente sua microestrutura em martensítica. Os corpos de prova utilizados tinham 3,175 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento, os meios de resfriamento foram em água e óleo. Ensaios de dureza foram realizados antes e depois do tratamento térmico em Rockwell C. Por meio dos dados obtidos da análise de regressão considerando um nível de significância de 5%, o meio de resfriamento e temperatura de austenitização não influenciou na dureza final do corpo de prova.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento térmico, resfriamento, aço carbono.

¹ Graduanda do Curso de Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde, Campus Rio Verde, GO.

² Orientadora, Professora da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.

1. INTRODUÇÃO

Desde quando foram descobertos os aços e metais se tornaram indispensáveis no dia-a-dia das comunidades. E assim, com o passar do tempo, por grande utilização e necessidade, principalmente na fabricação de armas de guerra, estima-se que no reinado de Júlio César surgiram reclamações de soldados e guerreiros, que relatavam que suas armas após um tempo de uso entortavam e por isso perdiam tempo tentando arrumá-las nas batalhas. A partir dessas reclamações foram realizados os primeiros tratamentos térmicos com intuito de alterar o material que era usado na fabricação das armas (SENAI, 2000).

Os encarregados das fabricações de armas começaram a atentar para os fatos de que dependendo do tempo em que era aquecido, o material que era adicionado tanto no fervimento quanto no resfriamento, se tornava mais duro, mais rígido, e outras vezes até mais frágeis e maleáveis, podendo assim solucionar o problema das armas de guerra (SENAI, 2000).

Para que se chegasse a todos os tratamentos térmicos que conhecemos hoje, foi necessária a realização de vários testes, em que dependem dos fatores temperatura, tempo de aquecimento, velocidade e meios de resfriamento, a fim de alterar as propriedades ou conferir características desejadas (CHIAVERINI, 1979).

Alguns tratamentos térmicos propiciam o surgimento de tensões internas no material oriundas de processos de transformações, por exemplo, de solidificação, conformações mecânicas, dentre outros. Estas tensões deixam os materiais susceptíveis a falhas e trincas. O tratamento de alívio de tensões tem como objetivo reduzir tensões adquiridas nos processos de fabricação ou serviços, a uma temperatura específica e resfriamento ao ar livre (ZAPATA, 2000).

As tensões residuais também podem ser minimizadas ou até mesmo eliminadas com o tratamento de recozimento. Este processo tem como principal objetivo reduzir a dureza do material para melhorar a usinabilidade, refinar os grãos, normalizar a estrutura bruta da fusão, entre outros, a certa temperatura, e deixando-o resfriar na taxa de resfriamento do próprio forno. (ZAPATA, 2000).

A esferoidização é utilizada para melhorar a usinabilidade de aços com alto teor de carbono, este pode ser produzido utilizando aquecimento e resfriamento de várias maneiras (SENAI, 1997).

O revenido que na maioria das vezes procede a têmpera tem por objetivo eliminar os erros provenientes dela, corrigindo a dureza e a fragilidade, removendo suas tensões internas, etc. A temperatura de trabalho deste procedimento depende do grau de dureza da liga que se espera (SENAI, 1997).

E por fim, a têmpera que consiste em resfriar de forma rápida o aço, inserindo-o em algum meio material, podendo este ser: água, óleo, ar e salmoura, logo após seu aquecimento em temperatura exata, com o objetivo maior de aumentar a dureza do material (SENAI, 1997).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral a realização de tratamento térmico por têmpera de aço SAE 1090 W em diversos meios, avaliar se há influência na dureza do material e determinação da temperabilidade do material por intermédio do ensaio de dureza Rockwell C.

1.1 AÇO- FERRO

O ferro por se tratar de um elemento que é encontrado em abundância, é utilizado em diversas áreas da metalurgia e engenharia.

O ferro puro, em sua forma primordial, apresenta características específicas tornando sua utilização mecânica complexa, pois é pouco maleável. Sua densidade de $7,86 \text{ g/cm}^3$ (1 atm, 300K) qualifica-o como bastante dútil a corrosão. Em consequência desse histórico, são adicionados elementos químicos com intuito de aprimorar suas propriedades, facilitando a utilização, resultando no que conhecemos como ligas metálicas (ZOLIN, 2011).

O aço mais utilizado na realização de tratamentos térmicos são ligas metálicas ferro-carbono, com teor de carbono variando de 0,08% a 2,11%. Em decorrência da alteração do ferro em liga metálica, sua estrutura englobará outros elementos residuais como: Mg, Si, P e S. Se o teor de carbono ultrapassar 2,11%, é chamado de ferro fundido. Caso haja necessidade de uma liga com propriedades especiais, outros elementos poderão ser adicionados (FREITAS, 2016).

1.2 PROPRIEDADES CONSTITUINTES DOS AÇOS

A austenita é solução sólida de carbono em ferro gama, sua estabilidade só é auferida com temperatura superior a 727°C . Apresenta elevada resistência mecânica e tenacidade.

A ferrita é traços de solução sólida em ferro alfa. Seus grãos são irregulares. Maleável, resistente ao choque e baixa dureza.

A cementita apresenta fórmula química Fe_3C . O ponto de fundição é superior a $1950\text{ }^{\circ}C$. Essa microestrutura possui pouca ductilidade e elevada dureza.

A perlita é mistura entre ferrita e cementita, possuindo lâminas alternadas em que a composição de ferrita é superior. Produzida a aproximadamente $723\text{ }^{\circ}C$. Suas propriedades se diferem de acordo com seus constituintes. (GALLEGO, 2015)

1.3 AÇO ABNT 1090 W

Há uma grande diversidade de tipos de aços. Eles são classificados a partir da composição química pelas associações técnicas especializadas que se dá a origem aos sistemas SAE (americano), ABNT (brasileiro) etc.

O aço ABNT 1090 W é composto por 0,85-0,98 de carbono, 0,60-0,90 de manganês, 0,040 de fósforo e 0,50 de enxofre e adição de tungstênio o que eleva significativamente a dureza do aço e resistência ao desgaste. (INFOMET, 2016).

Os aços com percentual de carbono acima de 0,76, como por exemplo, o aço ABNT 1090, são chamados hipereutetóides. Os aços hipereutetóides possuem pouca porcentagem de ferrita, por isso sua dureza é maior, diferente de um aço hipoeutetóide que possui maior porcentagem de ferrita sendo mais dúctil (CESAR, 2015).

1.4 TRATAMENTOS TÉRMICOS

Os tratamentos térmicos têm como objetivo alterar as propriedades do aço, com intuito de obter resultados específicos de acordo com o material desejado. Esse procedimento pode ser realizado de diversas formas (TSCHIPTSCHIN, 2001).

1.5 TÊMPERA

É o procedimento que consiste no aquecimento do aço até que o mesmo atinja a austenitização, resfriando logo após de maneira acelerada, podendo ser imerso em meios

líquido (água, óleo, água com sal, aditivos cáusticos, etc.) e em meios gasosos (nitrogênio, hélio e ar).

A composição da microestrutura final é a martensita, resultando em um material extremamente duro, porém altamente frágil, necessitando assim do revenimento (LOPES, 2005).

1.6 EFEITOS DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA NA TÊMPERA

A taxa de resfriamento na água é alta, mais utilizada quando não ocorre excessiva distorção ou trinca da peça. Os mais altos valores de dureza são alcançados a temperatura entre 15 e 25°C, e oscilação superior a 0,25 m/s. A partir dessa temperatura ocorrem formação de estruturas que deixara o aço ocioso. Pode ser utilizada em aços inoxidáveis austeníticos (CANALE, 2014).

Na solução aquosa com cloreto de sódio e/ou cloreto de cálcio em quantidades específicas, a taxa de resfriamento é mais elevada que a taxa da água. Isso acontece porque nos primeiros momentos da têmpera, ocorre evaporação da água em contato com a superfície metálica, onde os pequenos cristais de NaCl (cloreto de sódio) se depositarão (CANALE, 2014).

A taxa de resfriamento de imersão no óleo é indicada em aços com alto teor de carbono e ligas complexas, pois é inferior das taxas em água e salmoura, porém o calor que provem do aquecimento é retirado de feitiço mais uniforme e constante, fazendo com que as distorções dimensionais e incidentes de trincas sejam ilimitadas. A temperatura no banho varia entre 40° e 95°C, pois acima desse valor, causariam envelhecimento na peça, caso esteja abaixo desse valor causaria distorção na peça em consequência do resfriamento mais acelerado a viscosidade se elevaria resultando em perigo de fogo (CANALE, 2014).

Ao ar livre, por se tratar do meio de resfriamento com menor custo, é um dos mais utilizados, porém os valores de dureza obtidos são inferiores aos outros meios. Os aços com teor de carbono não comprovam temperabilidade suficiente, fazendo com que os valores de dureza sejam insuficientes, portanto sua maior utilização é em aços liga e aços ferramenta (CANALE, 2014).

1.7 EFEITOS DA VELOCIDADE DE AQUECIMENTO

O tempo e velocidade de aquecimento dependerão das dimensões, área da peça e da microestrutura que se quer obter.

Quanto maior o tempo, mais os carbonetos de ferro serão diluídos e maior será o tamanho do grão. A velocidade tem relação primordial com a prevenção de trincas e inserção de tensões.

A natureza do processo e microestruturas finais desejadas impõem quase valores fixos de aquecimento, porém se tratando de aços que já se encontram em estado de tensão interna, ou tensões residuais provenientes de encruamento prévio, ou estado martensítico, se o aquecimento for de maneira acelerada às peças poderão apresentar fissuras ou empenamento (DUTRA, 2007).

1.8 EFEITOS DA VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO

É nessa fase que as microestruturas finais e composição química serão formadas. O tempo, velocidade e meio em que ocorrerá o resfriamento dependerá do resultado final esperado. O meio de resfriamento deverá considerar a área e forma da peça, para obter resultados satisfatórios reduzindo e evitando deformação, trincas e empenamento (FAVALESSA *et al*, 2006).

1.9 ALGUNS ESTUDOS SOBRE TRATAMENTOS TÉRMICOS

De acordo com Professor Tschiptschin (2001), os tratamentos térmicos e termoquímicos levaram a inúmeros benefícios em diversos projetos, em que foram apresentadas todas as melhorias, vantagens e objetivos condizentes aos tratamentos. Por meio de um programa computacional específico, no qual são inseridos dados de teor de carbono, diâmetro, temperatura de austenitização, tempo de aquecimento e resfriamento, são exibidas as temperaturas de transformação de cada aço, que delimitam a zona crítica. São apresentadas as microestruturas iniciais e finais, elementos químicos e composição de cada material. O programa simplifica o processo e elimina possíveis erros de procedimento.

Nunes *et al.* (2012), ressaltaram a grande contribuição ambiental da utilização do óleo de palma, fonte renovável, nos meios de resfriamento de têmpera, garantindo ao material alta resistência ao desgaste.

No trabalho de Gracioso (2003), foram apresentados os efeitos de temperatura de austenitização, velocidade de resfriamento nas microestruturas e propriedades mecânicas do aço. Foram realizados dois tratamentos de revenimento procedendo à têmpera, e avaliou-se de acordo com as temperaturas e resfriamento todas as alterações resultantes como: fragilização, dureza, tenacidade e ductilidade.

Nakamatsu *et al.* (2014), destacou que a ferrita delta, responsável por propriedades como fragilização, endurecimento e diminuição da tenacidade, é de extrema importância na estrutura do aço. O experimento utilizou o aço inoxidável martensítico, 13Cr4Ni0,02C, que passou por tratamento de revenimento, em que o principal resultado obtido foi que a ferrita delta não sofreu difusão, apesar da matriz martensítica ter sofrido grandes alterações. A martensítica era apresentada por ripas, e após o tratamento passou se apresentar como agulhas. Antes do tratamento, a ferrita se encontrava espalhada em toda a estrutura, ou seja, não estava concentrada num local fixo. Já após o tratamento, a ferrita delta foi encontrada localizada preferencialmente no contorno dos grãos. Contudo, o valor médio da microdureza da ferrita delta não foi afetado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Os procedimentos práticos foram realizados no laboratório de Ensaios de Materiais e Processo de Fabricação nas dependências da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde – UniRV em Rio Verde/ GO.

Os materiais utilizados serão oito corpos de prova, todos aço ABNT 1090W com 3,175 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento, para resfriamento das amostras, recipientes contendo os seguintes fluidos: água, e óleo; durômetro Rockwell modelo HR 150C e forno elétrico.

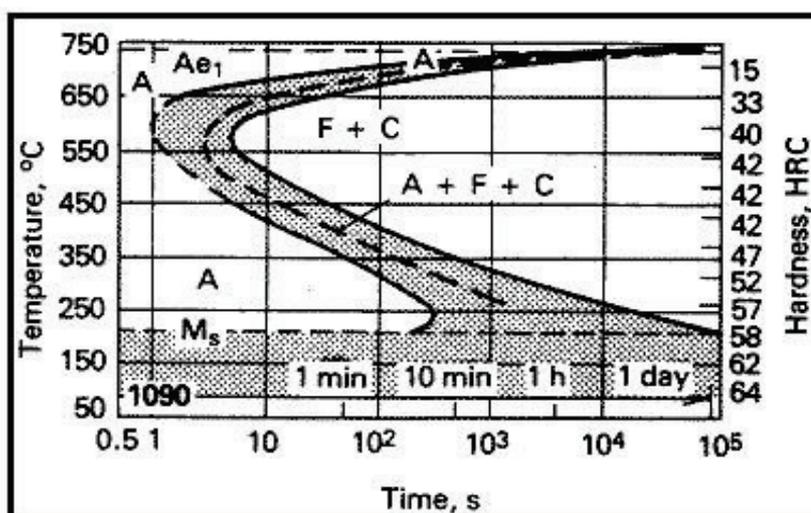
2.2 MÉTODOS

Para alcançar a meta do objetivo geral, foi necessário o desenvolvimento das seguintes etapas: executar testes de dureza; realizar aquecimento do aço ABNT 1090 no forno a 850°C e 900°C e resfriamento rápido do material nos meios: água e óleo; relacionar o tempo de resfriamento e dureza do material.

Em primeiro momento foi testada a dureza dos corpos de prova com o intuito de comprovação do tipo de material que foi trabalhado na pesquisa e por via de comparação pós-tratamento térmico. Os testes de dureza foram executados no durômetro Rockwell modelo HR 150C. Certo de que o material é o aço ABNT 1090 W, efetuou-se em seguida o tratamento de têmpera.

Para efetuar o tratamento térmico de têmpera nos corpos de prova, o forno inicialmente foi ligado a temperatura de 900 °C, logo em seguida a temperatura de 850 °C temperatura em que os corpos de prova foram austenitizados. Os corpos de prova ficaram no forno durante 6 minutos, tempo suficiente para austenitização em seguida resfriados bruscamente nos diversos meios: água e óleo. Consequente, foram submetidos ao teste de dureza em vários pontos. A Figura 1 representa o diagrama TTT mostra as curvas de transformação para o aço 1090 W.

FIGURA 1 – Diagrama TTT do aço 1090 W.



Fonte: Costa Pires, 2008

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através das técnicas já exemplificadas anteriormente serão expostos e discutidos neste tópico.

Na Tabela 1 estão inseridos os valores medidos de dureza RockWell C (HCR) antes do tratamento térmico.

TABELA 1- Demonstração de valores de dureza antes do tratamento térmico

MATERIAL	Dureza 1	Dureza 2	Dureza 3	Média Dureza
Aço SAE 1090 W	29,5 (HCR)	26 (HCR)	27,5 (HCR)	27,667 (HCR)

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Na Tabela 2 estão expostos valores obtidos após a realização do tratamento térmico nos corpos de prova.

TABELA 2 – Média e soma das durezas obtidas após o tratamento térmico em HCR

AÇO SAE 1090 W			
	850°C	900°C	SOMA
Água	81,33	75	311,33
	77,5	77,5	
Óleo	77,5	76,66	308,82
	80,5	74,16	
SOMA	316,83	303,32	620,15

Fonte: Elaboração própria, 2017.

O carbono é o principal elemento para resistência dos aços, a composição do aço 1090 W não consta em sua composição em grande quantidade fósforo e enxofre que são responsáveis pela fragilidade do aço, pois a maior parte de sua composição é formada pelo carbono, a partir desses dados, e dos valores de dureza que foram obtidos, pode-se perceber que houve um aumento significativo na dureza dos corpos de prova após o tratamento de têmpera.

O planejamento estatístico fatorial é mostrado na Tabela 2, enquanto que a Tabela 3 apresenta a análise de variância para um nível de significância de 5%. Nesta análise são apresentadas todas as combinações entre o meio de resfriamento (água e óleo), a variável A, e a temperatura de austenitização (850 e 900 °C) que é a variável B.

As hipóteses a serem estudadas foram:

- H_{0A} : o meio de resfriamento não influencia na dureza do material;
- H_{1A} : o meio de resfriamento influencia na dureza do material;
- H_{0B} : a temperatura de austenitização não influencia na dureza do material;
- H_{1B} : a temperatura de austenitização influencia na dureza do material;
- H_{0AB} : a interação entre o meio de resfriamento e a temperatura de austenitização analisada não influencia na dureza do material;
- H_{1AB} : a interação entre o meio de resfriamento e a temperatura de austenitização analisada não influencia na dureza do material.

TABELA 3 – Análise de Variância

Parâmetro	SQ	GL	MQ	F0 cal	F0 tab.	Influencia
A	0,787512	1	0,787512	0,174186	7,71	Não
B	22,81501	1	22,81501	5,046327	7,71	Não
AB	0,090313	1	0,090313	0,019976	7,71	Não
E	18,08445	4	4,521113			
Total	41,77729	7				

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Efeito de cada variável:

- ❖ A -0,6275
- ❖ B -3,3775
- ❖ AB -0,2125

Ao analisar a tabela, com os dados estatísticos da análise de variância, obtiveram-se resultados evidentes de que as hipóteses consideradas não influenciaram no resultado final, ou seja, para um nível de significância de 5 %, o meio de resfriamento e tempo de austenitização não influenciaram na dureza final do corpo de prova.

Em relação a temperatura de austenitização, não seria mesmo um fator de influência, pois a partir de 790 °C a microestrutura do aço já se transforma em austenita, entretanto, em relação ao meio de resfriamento o resultado esperado era que na água a dureza obtida fosse maior que em óleo, porém, o teste de dureza não apresentou diferença relevante em relação a esses parâmetros. Considerando hipóteses sobre os resultados esperados e obtidos, e uma das possíveis causas de não haver diferença em relação aos parâmetros considerados, seria o tamanho do corpo de prova, quando o diâmetro é maior, a taxa de calor retirada não é uniforme ao longo da secção por isso apresenta diferença, mas, como o diâmetro do corpo de prova era bem pequeno, a taxa de calor retirada foi constante ao longo da secção da peça, não houve variação.

No trabalho de Silva (2011) os resultados após o tratamento térmico do aço IC- 4340 os parâmetros de temperatura de permanência e velocidade de resfriamento influenciaram significativamente nos resultados das microestruturas e conformabilidade, aumentando bastante o ensaio de dureza e de tração.

4. CONCLUSÃO

Em relação aos resultados obtidos, podemos observar que o tratamento térmico tempera realizado no aço 1090 W, elevou em média 100% a dureza do corpo de prova, sem interferência do meio de resfriamento ou temperatura de aquecimento.

Novos testes a serem realizados poderão submeter o aço austenitizado a meio de resfriamento em salmoura e ar, para comparação de dureza final com os demais meios de resfriamento, água e óleo.

Poderá também obter outro aço de diferente composição de carbono para realizar o Ensaio Jominy nos corpos de prova, para avaliar a temperabilidade e a capacidade de obter martensita na microestrutura através da tempera.

5. REFERÊNCIAS

CALLISTER Jr, W. D. Materials Science and Engineering an Introduction. Fourth Edition. United States, 1997.

CANCILIERI H. A, Aços e seus Tratamentos Térmicos, 2015.

CHIAVERINI Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 4. Ed. São Paulo: Editora ABM, 1979.

GRACIOSO J. F. F. Efeito das Condições de Têmpera na Microestrutura e Propriedades Mecânicas de um Aço Ionizável Martensítico Fundido CA6NM. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2003.

LOPES M. M. G. Tratamentos térmicos: Têmpera e Revenimento. 22. Ed. Siderurgia Brasil, 2005.

NAKAMATSU S. Efeito da Temperatura de Revenido na formação da Ferrita Delta num Aço Inoxidável Martensítico com Baixo Teor de Carbono. 21 CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014.

NUNES T. C. O et al. Estudo Comparativo da Vantagem de uma Têmpera em Óleo de Palma Sobre a Têmpera Tradicional em Aço AISI 5160. Engenharia de Materiais- IFPA. 2012.

OLIVEIRA A. S. D. Tratamento Térmico. Apostila (Curso Engenharia de Superfícies) – Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2015.

ZAPATA, W. C. Tratamento térmico de aços. Apostila (Curso de Engenharia Mecânica) – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville, 2000.

SHEID, Aula Especial - Tratamentos Térmicos dos Aços.pdf - UFPR – Universidade do Paraná- UFPR, 2015.

SANCHES, L.C O et al. A influencia dos tratamentos térmicos de tempera e revenido na dureza do aço SAE 1020 em diferentes tipos de resfriamentos- Universidade Federal do Paraná UFPA,2004.

SENAI. Tratamento térmico. Apostila (Módulos especiais- Mecânica) – Telecurso Profissionalizante, 2000.

SENAI. Tratamentos Térmicos- Mecânica. Apostila (Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção), 1997.

ZOLIN I. Materiais de Construção Mecânica- Colégio Técnico Industrial de Santa Maria-CTISM, Santa Maria- RS, 2011.

FREITAS B. L. O et al. Análise Comparativa entre os tratamentos térmicos realizados em aço 8640. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2016.

INFOMET. Aços e Ligas/Aço: Processos de Fabricação/ Tratamento Térmico dos Aços, 2016.

CESAR T. Diagrama de Fases Ferro- Carbono, 2015.

TSCHIPTSCHIN A. P. Tratamento Térmico dos Aços – Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Escola Politécnica da USP- EPUSP.

CANALE L. C. F. Os Meios de Resfriamento na Têmpera – Fluidos de Resfriamento para têmpera de Metais. Universidade de São Paulo – USP, 2014.

DUTRA L. M. Síntese de Pós de BiFeO₃. Curso de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, 2007.

FAVALESSA O et al. Tratamentos Térmicos: Efeito da Velocidade de Resfriamento sobre as Microestruturas dos Aços ABNT 1045. Faculdade de Aracruz – UNIARACRUZ, 2006.

DUROCHAMA. Têmpera Superficial por Indução e por Chama – Aspectos Práticos, 2015.

COSTA P. M. F. Têmpera, Martêmpera e Austêmpera.- 2008.

GALLEGO J. Microestrutura dos Aços – Lab. Materiais de Construção Mecânica- UNESP, 2015.

SILVA T.F.R. Análise e Avaliação da Influência de Diferentes Ciclos de Tratamento Térmico nas Propriedades Mecânicas do Aço Microfundido Ultrarresistente IC-4340. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2011.