



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SULDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

MAYARA CAMILA DOS SANTOS RODRIGUES

ESTUDO DE UM AÇO SAE 1140 SUBMETIDO A TRATAMENTOS
TÉRMICOS

MARABÁ

2014

MAYARA CAMILA DOS SANTOS RODRIGUES

**ESTUDO DE UM AÇO SAE 1140 SUBMETIDO A TRATAMENTOS
TÉRMICOS**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia de
Materiais, Instituto de geociências e
engenharias, Universidade do Sul e
Sudeste do Pará. Orientador: Prof.
Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra.

MARABÁ

2014

MAYARA CAMILA DOS SANTOS RODRIGUES

ESTUDO DE UM AÇO SAE 1140 SUBMETIDO A TRATAMENTOS TÉRMICOS

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia de
Materiais, Instituto de geociências e
engenharias, Universidade do Sul e
Sudeste do Pará. Orientador: Prof.
Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra.

Data de aprovação: 27/ 06/ 2014.

Banca examinadora:

Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra
ORIENTADOR - UNIFESSPA/FEMAT

Prof. Eng. Carlos Vinicius de Paes Santos
EXAMINADOR - UNIFESSPA/FEMAT

Prof. M.Sc. Wenderson Gomes dos Santos
EXAMINADOR – UNIFESSPA/FEMAT

Á Deus, meu único e suficiente salvador.

AGRADECIMENTOS

O que me encoraja é o exemplo, incentivo e principalmente o amor! Sou imensamente grata aos que me encorajam e aqueles que me amam e tem o meu amor.

Como exemplo, minha mãe aquela que me gerou em meio de tristezas e preconceitos, mas não desistiu em me dar o melhor exemplo de todos, amor incondicional e esforço em me dar o melhor que pode para me fazer chegar aonde cheguei. A minha avó Eunice, que lutou até suas últimas forças pra me fazer feliz e orgulhosa do que hoje eu sou.

O incentivo dos homens da minha família, meus tios e avô que me incentivaram sempre em não desistir e de ser firme nos meus passos, sempre me protegendo e cuidando para que eu não desista das minhas conquistas.

A minha querida tia, que me deu uns dos melhores presentes que poderia ter um filho (afilhado) do qual tanto amo. A ela e seus amados que me dá força e coragem como prova maior de todo seu amor.

A minha amiga Larissa que sempre torceu, encorajou e esteve sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins com todo seu jeito e afeto. E aqueles que estiveram comigo antes mesmo de eu pensar em ser uma engenheira, Rapha, Helder, Bruna e Kelly obrigada pela amizade, que mesmo distante jamais se perdeu.

Ao meu amado Fábio, que me deu seu amor e dedicação inimaginável, que me faz uma pessoa melhor a cada dia, com toda sua paciência e carinho.

Aos meus mestres e ao meu orientador Márcio Mafra por todo conhecimento ensinado.

Aos amigos de que fiz durante essa jornada Mário, Ademir, Milton, Samara, Ana Carla, Diego, Elinalva, Lívia, Jhonatas, Marilda e Ana Paula pelo companheirismo e ajuda.

Aos meus queridos que me ajudaram na reta final, Antonio Charles e José Charles, Carlos Vinicius, Elza Gouveia.

“Eu agradeço a todos que me disseram NÃO. É por causa deles que eu fiz tudo eu mesmo.”

Albert Einstein

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um estudo de um aço SAE 1140 sem e com tratamento térmico de normalização, têmpera e revenido em diferentes parâmetros de tempo e temperatura. O aço utilizado foi fornecido pela indústria siderúrgica de Marabá, este foi submetido ao processo de preparação de amostras, metalografia para obter resultados das microestruturas presentes antes e após tratamentos e posteriormente submetido a ensaio de tração e avaliação de dureza. Os resultados obtidos foram a microestrutura martensítica proveniente da têmpera, caracterizando o aumento da resistência mecânica e da dureza do aço.

PALAVRAS CHAVES: Aço 1140, tratamento térmico, martensita.

ABSTRACT

The aim of this study was to develop a study of a SAE 1140 steel with and without heat treatment standardization, quenching and tempering on different parameters of time and temperature. The steel used was supplied by the steel industry in Maraba, has been subjected to the sample preparation process for metallography results of microstructures present before and after treatment and subsequently subjected to tensile test and hardness assessment. The results were obtained from the martensitic microstructure tempered glass, featuring the increase of mechanical strength and hardness of steel.

KEYWORDS: Steel 1140, heat treatment, martensitic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura - 2.2: Efeito de diferentes tratamentos térmicos sobre a resistência a tração.....	21
Figura - 2.3: Exemplo de diagrama TTT com as principais zonas de transformação.....	22
Figura - 2.4: Representação esquemática da normalização.....	23
Figura - 2.5: Representação esquemática do tratamento térmico de têmpera.....	24
Figura 3.1 - Atividades realizadas.....	27
Figura 3.2 - Esquema de armazenagem de CP's realização de tratamento térmico.....	28
Figura 3.3 - a)Forno tipo mufla e b)conrole de temperatura.....	29
Figura 3.4 - Diagrama de fases Fe-C e as curvas TTT(em vermelho).....	30
Figura 3.5 - Máquina de ensaio de tração.....	33
Figura 3.6 - Etapas do processo do ensaio de dureza.....	34
Figura 4.1 - Micrografia aço 1140 não tratado, apresentando microestrutura grosserira de perlita e ferrita, com aumentos de: (a) 300x) e (b) 1500X. Ataque nital 3%.....	36
Figura 4.2 - Micrografia aço 1140, apresentando peças tratadas nas condições 1 (a) aumento 1500x e 2 (b) aumento 1500x . Ataque nital 3%.....	37
Figura 4.3 - Micrografia aço 1140, apresentando peças tratadas nas condições 3 (a) aumento 1500x, 4 (b) aumento 1500x. Ataque nital 3%.....	37
Figura 4.4 - Micrografia aço 1140, apresentando peças tratadas nas condições 5 (a) aumento 300x e 6 (b) aumento 300x. Ataque nital 3%.....	38
Figura 4.5 - Micrografia aço 1140, apresentando a peça tratada na condições 7 (a) aumento 1500x, 8 (b) aumento 1500x. Ataque nital 3%.....	38
Figura 4.6 - Curvas tensão-deformação do aço 1140 nas condições 1,2,3,4 e 9.....	40
Figura 4.7 - Curvas tensão-deformação do aço 1140 nas condições 5, 6, 7, 8 e 9.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Aços resulfurados.....	19
Tabela 3.5 – Distribuição das peças temperadas.....	31
Tabela 3.6 – Especificação de cada tratamento.....	32
Tabela 3.7 – Especificação dos grupos e seus respectivos tratamentos.....	32
Tabela 4.1 – Principais elementos da amostra.....	35
Tabela 4.2 – Elementos secundários.....	35
Tabela 4.3 – Propiedades mecânicas do aço 1140.....	40
Tabela 4.4 – Representação dos valores de dureza Rockwell.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

SAE	Society Automotive Engineers
UNIFESSPA	Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
FEMAT	Faculdade de Engenharia de Materiais
TTT	Tempo – Temperatura – Transformação
Fe	Ferro (Elemento químico)
C	Carbono (Elemento químico)
P	Fósforo (elemento químico)
S	Enxofre (elemento químico)
Mn	Manganês (elemento químico)
Mpa	Mega Pascal
CP	Corpo de Prova
Si	Silício (elemento químico)
Cr	Cromo (elemento químico)
Mo	Molibidênio (elemento químico)
Ni	Níquel (elemento químico)
V	Vanádio (elemento químico)
Al	Alumínio (elemento químico)
Cu	Cobre (elemento químico)
Ti	Titânio (elemento químico)
Nb	Nióbio (elemento químico)
Sn	Estanho (elemento químico)
N	Nitrogênio
HRBw	Dureza Rockwell/Brinell
HRC	Dureza Rockwell

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivos Gerais	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 AÇOS.....	15
2.1.1 Definição.....	15
2.1.2 Impureza nos Aços	17
2.1.3 Aço 1140	17
2.2 TRATAMENTO TÉRMICO DOS AÇOS	19
2.3 NORMALIZAÇÃO	21
2.4 TÊMPERA	22
2.4.1 Têmpera e Velocidade de Resfriamento.....	23
2.3 REVENIDO	24
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	27
3.2 TRATAMENTOS TÉRMICOS	28
3.2.1 Normalização.....	28
3.2.2 Têmpera.....	29
3.2.3 Revenido.....	30
3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	31
3.4 ANÁLISE METALOGRAFICA	32
3.5 ENSAIO DE DUREZA.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	34
4.2 MICROSCOPIA OPTICA	34
4.3 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	38
4.4 ENSAIO DE DUREZA.....	41
5 CONCLUSÕES	42
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Para atingir as demandas de aplicações específicas, aços e ligas metálicas são produzidos em uma grande variedade de estruturas de materiais. Há muitos séculos atrás o homem descobriu que com aquecimento e resfriamento podia modificar as propriedades mecânicas de um aço, isto é, torná-los mais duro, mais mole, mais maleável, etc. Mais tarde, descobriu também que a rapidez com que o aço era resfriado e a quantidade de carbono que possuía influíam decisivamente nessas modificações [1].

As operações de tratamento térmico consistem em ciclos de aquecimento resfriamento controlado que tem por objetivo provocar alterações na microestrutura das ligas de aço e assim melhorar suas propriedades físicas, adequando estas a determinadas aplicações sem que seja necessário gerar qualquer mudança na sua composição química.

Metais como o aço, são de grande importância por serem bastante usados em projetos de engenharia. Aços com teores de carbono entre de 0,2 a 0,5% em sua microestrutura - o qual é constituído em sua grande parte por ferrita, um componente bastante dúctil - caracterizando-se um aço de médio carbono [1].

O controle da temperatura e do tempo em diferentes tratamentos térmicos pode influenciar na sua estrutura, modificando-os com objetivo de remover tensões; aumento ou diminuição da dureza; aumento da resistência mecânica; melhorar ductilidade; usinabilidade; resistência ao desgaste; propriedades de corte; resistência a corrosão e ao calor e modificação das propriedades elétricas e magnéticas. A simples enumeração dos objetivos descritos evidencia claramente a importância e a necessidade do tratamento térmico do aço.

Os fatores inicialmente considerados para realização de um tratamento térmico são: aquecimento, tempo de permanência à temperatura e resfriamento. Além desses, outro de grande importância é a atmosfera do recinto de aquecimento, visto que a sua qualidade tem grande influência sobre os resultados finais dos tratamentos térmicos [2].

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo principal desse trabalho foi o estudo do desenvolvimento do material dúctil após ser submetido a três diferentes tratamentos térmicos: normalização, têmpera e revenimento com diferentes variações de tempo e temperatura para obter uma relação de energia absorvida pelo tempo e pela temperatura destes tratamentos.

Desenvolver técnicas laboratoriais com amostras normalizadas, temperadas e revenidas, em diferentes tempos e diferentes temperaturas, ensaio de dureza e metalografia para descobrir o efeito do tratamento em função da microestrutura resultante do resfriamento contínuo, conforme o tratamento térmico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo bibliográfico para reunir características e valores referentes ao aço 1140, para serem comparados com os resultados trabalhados em questão, visto que, é um aço ainda, pouco estudado.
- Avaliar a influência dos tratamentos térmicos utilizados sobre a microestruturas do aço comparando-os antes e pós tratamento.
- Desenvolvimento de técnicas laboratoriais com amostras normalizadas, temperadas e revenidas, em diferentes tempos e diferentes temperaturas.
- Realização dos ensaios de dureza e metalografia para descobrir a microestrutura resultante do resfriamento contínuo, conforme o tratamento térmico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AÇOS

2.1.1 Definição

O aço é uma liga metálica de natureza relativamente complexa e sua definição não é simples, visto que, a rigor os aços comerciais não são ligas binárias; de fato, apesar de seus principais elementos de liga serem o ferro e o carbono, eles contêm sempre outros elementos secundários, presentes na estrutura devido aos processos de fabricação. Considerando que o aço é formado essencialmente por ferro e carbono, pode-se defini-lo da seguinte forma:

Aço é uma liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até, aproximadamente, 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, tais como enxofre e fósforo, resultantes dos processos de fabricação [2].

O limite inferior (0,008%) corresponde à máxima solubilidade de carbono no ferro à temperatura ambiente e o limite superior (2,11%) corresponde à máxima quantidade de carbono que se dissolve no ferro e ocorre a 1148°C [3].

Essa quantidade máxima depende, por outro lado, da presença ou não de elementos de liga ou da presença dos elementos residuais em teores superiores aos normais. Nestas condições é necessário considerar dois tipos fundamentais de aço para se ter uma definição mais precisa:

- Aço-carbono ou liga de ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até cerca de 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes dos processos de fabricação;

- Aço-liga ou aço-carbono que contém outros elementos de liga ou que contém elementos residuais em teores acima dos considerado normal [4].

Os aços possuem diversas aplicações tais como na fabricação de peça por fundição, trilhos, tubos, arames, fios, molas, chapas para estruturas em geral, entre outras aplicações. Geralmente a classificação dos aços é realizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Sociedade dos

Engenheiros Automotivos (SAE), American Iron and Steel Institute (AISI) e American Society for Testing and Materials (ASTM).

Essas classificações especificam principalmente as composições químicas dos aços, os quais adotam as letras XX na posição correspondente ao teor de carbono após os algarismos indicativos do tipo de aço, como, por exemplo, 11, que são aços de usinagem fácil. No caso de um aço SAE1140, significa que é um aço com elementos adicionais de liga, ou seja, com adição de enxofre em sua composição além de ferro e carbono.

Os aços-liga constituem o mais importante grupo de materiais utilizados na engenharia e na indústria. De fato, as propriedades mecânicas desses aços variam de acordo com os outros elementos constituintes, tornando importantes os estudos que identifiquem o efeito destes elementos para atender a maioria das aplicações práticas.

Os aços-carbono podem ser subdivididos conforme o teor de carbono presente na estrutura:

- Aços de baixo teor de carbono (quantidade de carbono inferior a 0,25%);
- Aços de médio teor de carbono (quantidade de carbono entre 0,25% e 0,6%);
- Aços de alto teor de carbono (quantidade de carbono superior a 0,6%).

Já os aços-liga constituem outros elementos de liga ou apresentam os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais.

Os aços-liga, por sua vez, podem ser subdivididos conforme o teor dos elementos residuais:

- Aços de baixo teor de ligas, com elementos de liga abaixo de 8%;
- Aços de alto teor de ligas, com elementos de liga acima de 8% [2].

Todas as propriedades físicas e mecânicas do aço são obtidas através de tratamentos térmicos ou trabalhos mecânicos pela modificação da sua microestrutura, variando conforme o teor dos componentes.

2.1.2 Impureza nos Aços

Os aços comuns contêm sempre, além do carbono, pequenos teores de fósforo, enxofre, manganês e silício, além de traços de outros eventuais elementos. Essas impurezas podem combinar-se entre si ou então com o ferro ou o carbono, apresentando-se como inclusões ou soluções sólidas.

Fósforo: Quando o teor desse elemento ultrapassa certos limites, constitui esse elemento um dos mais nocivos que aparece nos aços, devido a fragilidade que este proporciona em temperatura ambiente. Além da fragilidade antes referida, o fósforo aumenta um pouco a dureza e a resistência mecânica e diminui a ductilidade. O teor limite varia conforme a aplicação, sendo menor em aplicações que necessitem tenacidade a frio.

Enxofre: As propriedades mais afetadas pela presença do enxofre são a resistência à tração, a ductilidade e a tenacidade, mas seus efeitos são mínimos em aços com baixo teor de carbono e, vale ressaltar, quando seu teor for menor que 0,1%.

Outros elementos podem ser nocivos ao aço, como manganês e silício, não afetam tanto as propriedades dos aços. Tanto um como o outro, assim como o fósforo, também se dissolvem na ferrita, aumentando a dureza e a resistência mecânica [5].

2.1.3 Aço 1140

Os aços do tipo 11xx, também chamados de aços resulfurados, se caracterizam pela presença de enxofre em sua composição acima do que é encontrado em outros tipos de aço. Em condições normais o enxofre é extremamente prejudicial ao aço, tornando-o quebradiço, porém a adição de manganês no metal promove a formação do sulfeto de manganês, que tem por característica promover a quebra do cavaco (resíduos retirados da peça durante a usinagem) mais facilmente. A utilização do manganês nos aços resulfurados tem dupla ação positiva, facilita a usinagem, aumentando a vida útil da ferramenta, acelerando o processo de fabricação, e diminui

consideravelmente os efeitos nocivos do enxofre no material, dando mais tenacidade ao mesmo.

A presença de enxofre mesmo ligado ao manganês ainda guarda efeitos nocivos, como o desgaste das ferramentas feitas com esse material e a baixa conformabilidade a quente e também suscetibilidade a corrosão. A adição de manganês nos aços resulfurados deve seguir a proporção de um para cinco (1 S: 5 Mn). A tabela 2.1 mostra a relação dos principais aços resulfurados e suas respectivas faixas de composição química, sendo que em todas elas os valores de fosforo residuais não podem ultrapassar 0,04%.

Tabela 2.1 – Aços resulfurados.

Designação AISI-SAE	Composição %		
	C	Mn	S
1110	0,08-0,03	0,30-0,60	0,08-0,13
1117	0,14-0,20	1,00-1,30	0,08-0,13
1118	0,14-0,20	1,30-1,60	0,08-0,13
1137	0,32-0,29	1,35-1,65	0,08-0,13
1139	0,35-0,43	1,35-1,65	0,13-0,20
1140	0,37-0,44	0,70-1,00	0,08-0,13
1141	0,37-0,45	1,35-1,65	0,08-0,13
1144	0,40-0,48	1,35-1,65	0,24-0,33
1146	0,42-0,49	0,70-1,00	0,08-0,13
1151	0,48-0,55	0,70-1,00	0,08-0,13

Fonte: ASM Metals Handbook. 16ª Edição.

As inclusões de MnS são preferíveis quando assumem a forma arredondada e com dimensões maiores do que quando possuem forma fina e dispersa na estrutura como pequenas partículas. Outro fator importante é o teor de carbono que influenciam diretamente nas propriedades mecânicas, sendo utilizados aços com maior teor de carbono para aços submetidos a maiores requisições em serviço. Nos aços resulfurados o teor de carbono pode chegar até 0,55%.

2.2 TRATAMENTO TÉRMICO DOS AÇOS

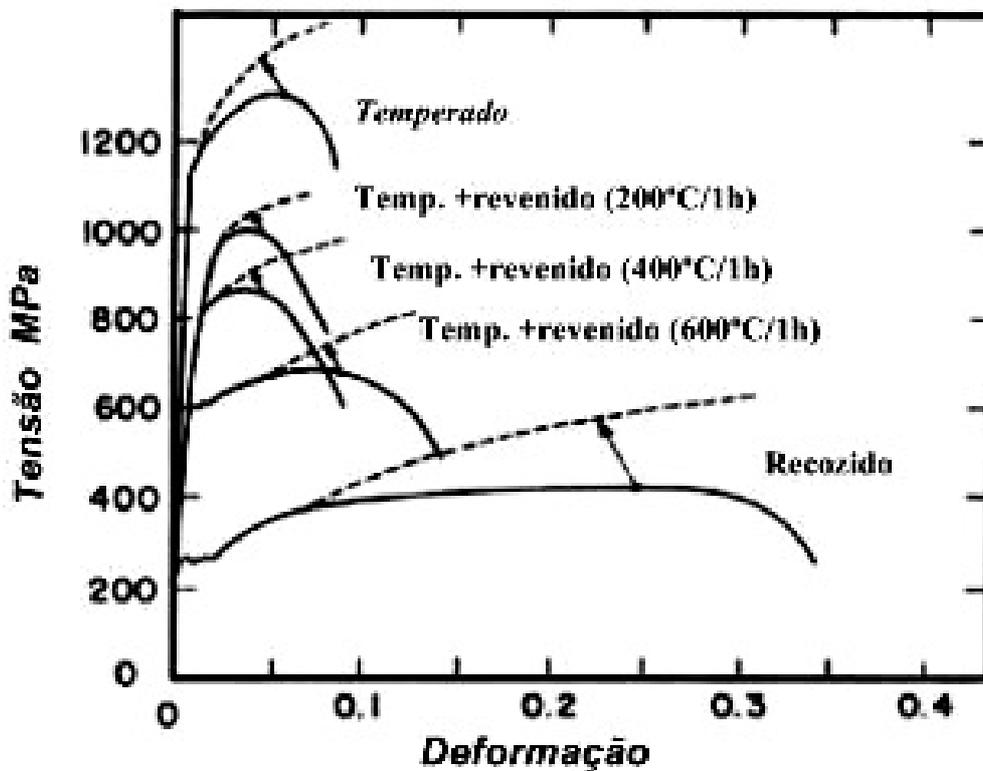
Os tratamentos térmicos empregados em metais ou ligas metálicas,² são definidos como qualquer conjunto de operações de aquecimento e resfriamento, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar suas propriedades ou conferir-lhes características pré-determinadas.

Os principais objetivos dos tratamentos térmicos dos aços envolvem:

- Remoção de tensões residuais decorrentes de processos mecânicos de conformação ou térmicos
- Refino da microestrutura (diminuição do tamanho de grão)
- Aumento ou diminuição de dureza
- Aumento ou diminuição da resistência mecânica
- Aumento da ductilidade
- Melhoria da usinabilidade
- Aumento da resistência ao desgaste
- Melhoria da resistência a corrosão
- Melhoria da resistência a fluência
- Modificação de propriedades elétricas e magnéticas
- Remoção de gases após operações de recobrimento por meio de processos galvânicos (desidrogenação).

Tratamento térmico pode ser descrito como um ciclo controlado de aquecimento e resfriamento do metal, objetivando a modificação de sua microestrutura e conseqüentemente a mudança nas propriedades mecânicas do mesmo [6]. A Figura 2.2 mostra a influência dos tratamentos térmicos sobre a resistência a tração de um aço.

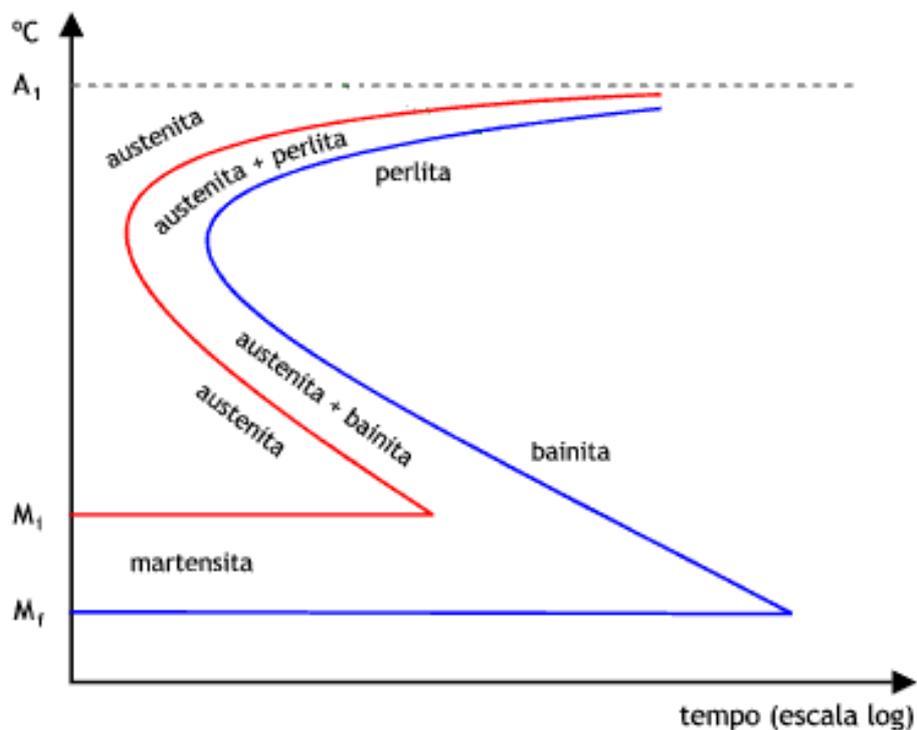
Figura 2.2 - Efeito de diferentes tratamentos térmicos sobre a resistência a tração.



Fonte:[7].

As operações de tratamento térmico dependem principalmente do processo de resfriamento do material, através do tempo em que esse resfriamento leva para ocorrer resulta em diferentes transformações microestruturais. Para compreender melhor os processos que ocorrem no tratamento térmico utiliza-se o diagrama denominado TTT, que relaciona o tempo, a temperatura e a transformação que ocorre em decorrência dessas grandezas. A figura 2.3 mostra um exemplo de diagrama TTT.

Figura 2.3 - Exemplo de diagrama TTT com as principais zonas de transformação.



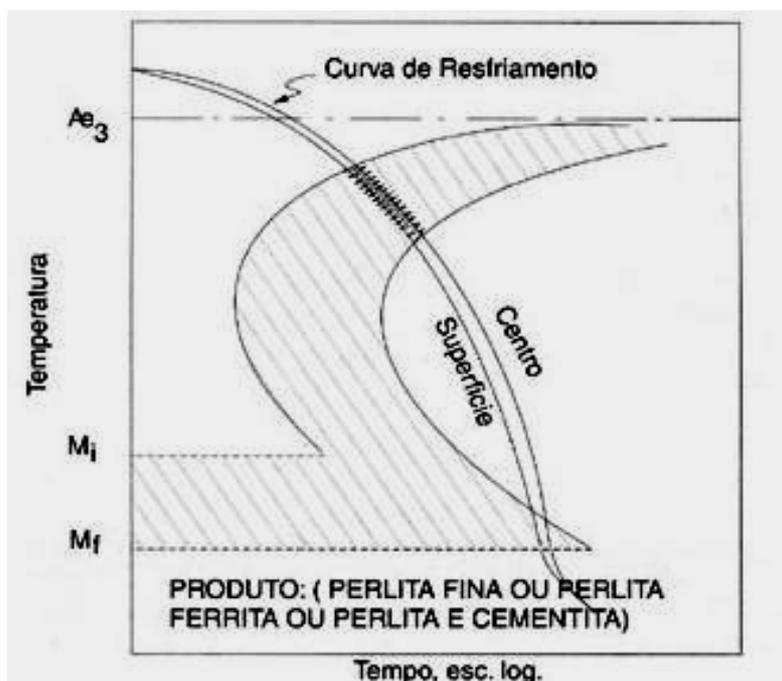
Fonte:[8].

Temos as seguintes definições: Linha A_1 (para aços hipoeutetóides) tem-se a transformação da austenita que ocorre na parte superior e a temperatura crítica inferior e a temperatura abaixo da qual não existe a transformação da austenita. As curvas mostram o início e fim da transformação da austenita (gráfico de temperatura de transformação versus tempo em escala logarítmica na abscissa). Esses diagramas podem ser usados para selecionar aços visando uma especificação definida.

2.3 NORMALIZAÇÃO

A normalização consiste em refinar e homogeneizar a estrutura dos aços melhorando as propriedades obtidas através do recozimento. Após a austenização o resfriamento geralmente ocorre ao ar ou dentro do forno. A Figura 2.4 representa o tratamento térmico de normalização [8].

Figura 2.4 - Representação esquemática da normalização.



Fonte:[8].

2.4 TÊMPERA

O tratamento térmico de têmpera consiste no aquecimento do metal acima da temperatura de austenitização seguido de um resfriamento rápido. A velocidade de resfriamento é necessária para evitar a transformação da austenita em ferrita ou cementita mais perlita, com isso obtém-se a estrutura metaestável denominada martensita [9].

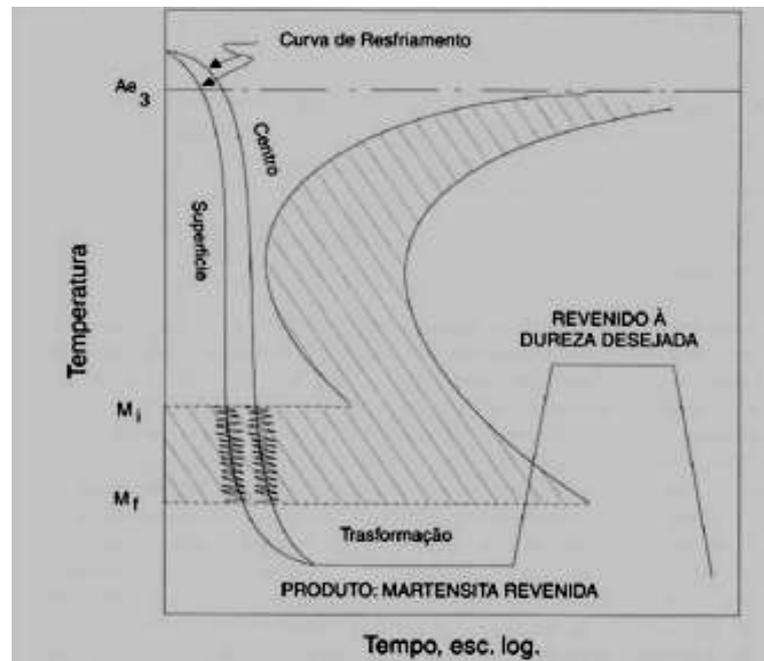
Como na têmpera o constituinte final esperado é a martensita, sob o ponto de vista de propriedades mecânicas, deve verificar-se o aumento da dureza até uma determinada profundidade [2].

Resultam também da têmpera redução da ductilidade (baixos valores de alongamento e estrição), da tenacidade e o aparecimento de apreciáveis tensões internas. Tais inconvenientes são atenuados ou eliminados pelo revenido. Para que a têmpera seja bem sucedida vários fatores devem ser levados em conta.

Inicialmente, a velocidade de resfriamento deve ser tal que impeça a transformação da austenita nas temperaturas mais elevadas, em qualquer

parte da peça que se deseja endurecer. A Figura 2.5 representa o tratamento térmico de têmpera.

Figura 2.5 - Representação esquemática do tratamento térmico de têmpera.



Fonte: [8].

2.4.1 Têmpera e Velocidade de Resfriamento

A velocidade de resfriamento é um fator preponderante no processo de têmpera, por isso adota-se o valor de Velocidade crítica que corresponde a velocidade necessária para que toda a estrutura obtida na peça seja martensítica [2]. A velocidade de resfriamento depende do meio utilizado para a realização da têmpera, que pode ser Óleo, Água ou Salmoura, na sequência da menor para a maior taxa de resfriamento, sendo que estas taxas ainda podem ser ampliadas ao promover a agitação do meio.

Quanto maior a severidade da têmpera tanto maior será a obtenção de martensita na peça e maior também será a tensão residual, podendo resultar em trincas ou empenamentos [2].

2.3 REVENIDO

O revenido é o tratamento térmico que normalmente sempre acompanha a têmpera, pois elimina a maioria dos inconvenientes produzidos por esta, além de, aliviar ou remover as tensões internas, corrige as excessivas dureza e fragilidade do material, aumentando sua ductibilidade e resistência ao choque [2].

O aquecimento na martensita permite a reversão do reticulado instável ao reticulado estável cúbico centrado, produz um reajuste interno que aliviam as tensões e, além disso, uma precipitação de partículas de carbonetos que cresce e se aglomeram de acordo com a temperatura e o tempo [8].

Conforme as temperaturas de revenido verificam-se as seguintes transformações [2].

- Entre 25° e 100°C, ocorre segregação ao 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° a 250°C, às vezes chamado primeiro estágios do revenido - ocorre precipitação de carboneto de ferro do tipo epsilon, de fórmula Fe_2C_5 , 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° a 300°C, às vezes chamado de segundo estágio do revenido - ocorre transformação de austenita retida em bainita; a transformação ocorre somente em aços-carbono de médio e alto teor de carbono; a dureza Rockwell continua a cair;

- Entre 250° a 350°C, às vezes é chamado de terceiro estágio do revenido - forma-se um carboneto metaestável, de fórmula Fe_5C_2 ; quando ocorre esta transformação, verifica-se em aços de alto carbono; a estrutura visível ao microscópio é uma massa escura, que era chamada "troostita", denominação não mais utilizada; a dureza Rockwell continua caindo, podendo atingir valores pouco acima a 50;

- Entre 400° a 600°C, ocorre uma recuperação da subestrutura de discordância; os aglomerados de Fe₃C passam a uma esferoidal, ficando mantida uma estrutura de ferrita fina acicular; a dureza Rockwell cai para valores de 45° a 25°;

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

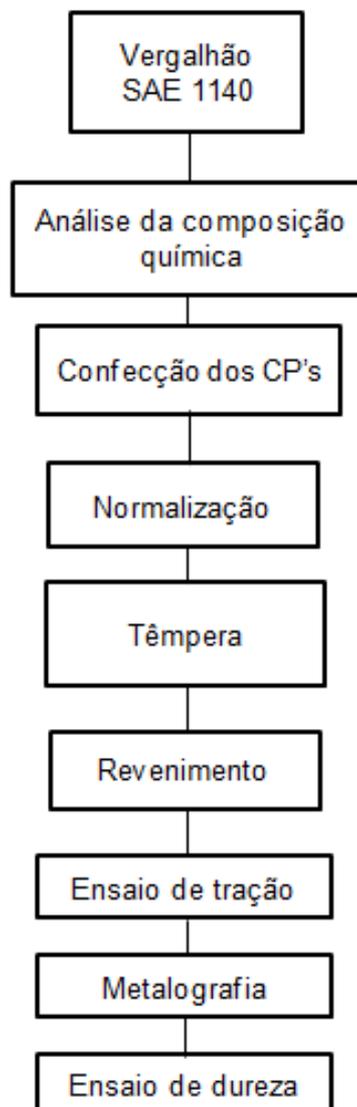
- Finalmente, entre 600° a 700°C, ocorre recristalização de crescimento de grão; a cementita precipitada apresenta forma nitidamente esferoidal; a ferrita apresenta forma equi-axial; a estrutura é frequentemente chamada “esferoidita” e caracteriza-se por ser por muito tenaz e de baixa dureza, variando de 5 a 20 Rockwell C.

Pelo que acaba de ser exposto, percebe-se que a temperatura de revenido pode ser escolhida de acordo com a combinação de propriedades mecânicas que se deseja no aço temperado.

3 METODOLOGIA

Para as análises experimentais, foram confeccionadas amostras do aço 1140 e pós tratamento para devida comparação entre resultados para se analisar os efeitos do tratamento térmico nas amostras em diferentes temperaturas, tempos e velocidade de resfriamento, conforme esquema da Figura 3.1, que posteriormente passaram por ensaio de tração, ensaio de dureza, metalografia.

Figura 3.1 – Atividades realizadas.

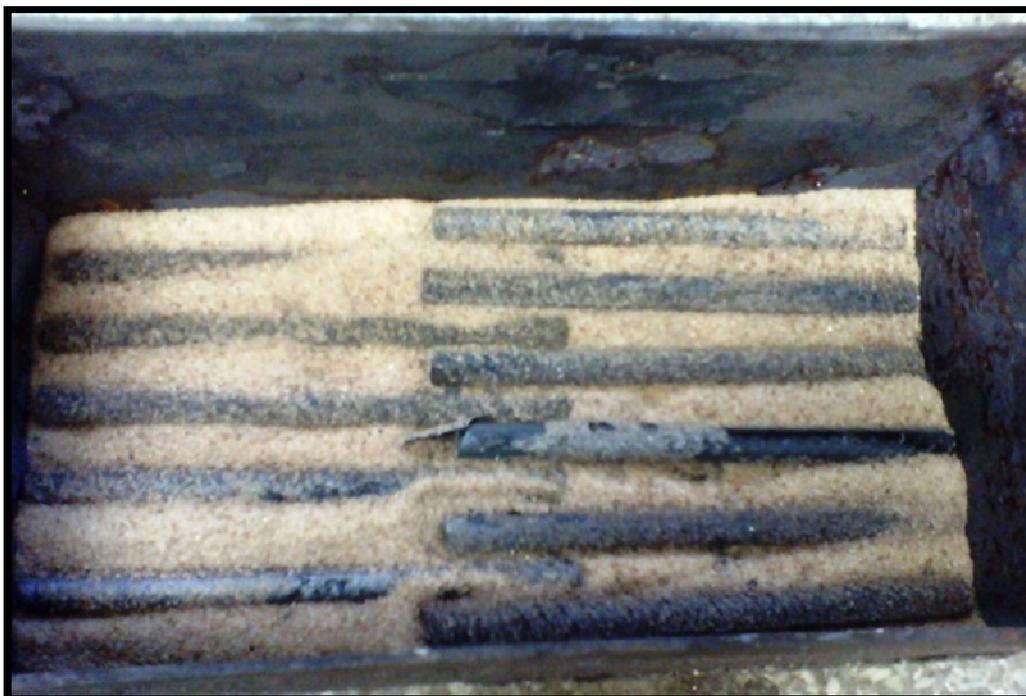


Fonte: Autor

3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A partir de um vergalhão de aço SAE 1140 de 22 metros por 6mm de diâmetro, foram cortadas quarenta amostras de comprimento aproximado de 100mm de acordo com a NBR 6207 [11]. De acordo com esta norma não foi necessário a realização de usinagem para a confecção dos CP's. Como se trata de muitas amostras foi necessário uma técnica para armazenar no forno as peças para serem uniformemente tratadas, neste processo foi utilizado uma caixa de ferro resistentes as temperaturas de cada processo e areia passante na peneira de 100 Mesh devidamente livre de umidade através do processo de secagem em forno mufla á 200°C por 12 horas. A areia foi utilizada para evitar o contato dos CP's uns com os outros. Para melhor entendimento a Figura 3.2 abaixo mostra o esquema descrito a cima.

Figura 3.2 - Esquema de armazenagem de CP's realização de tratamento térmico.



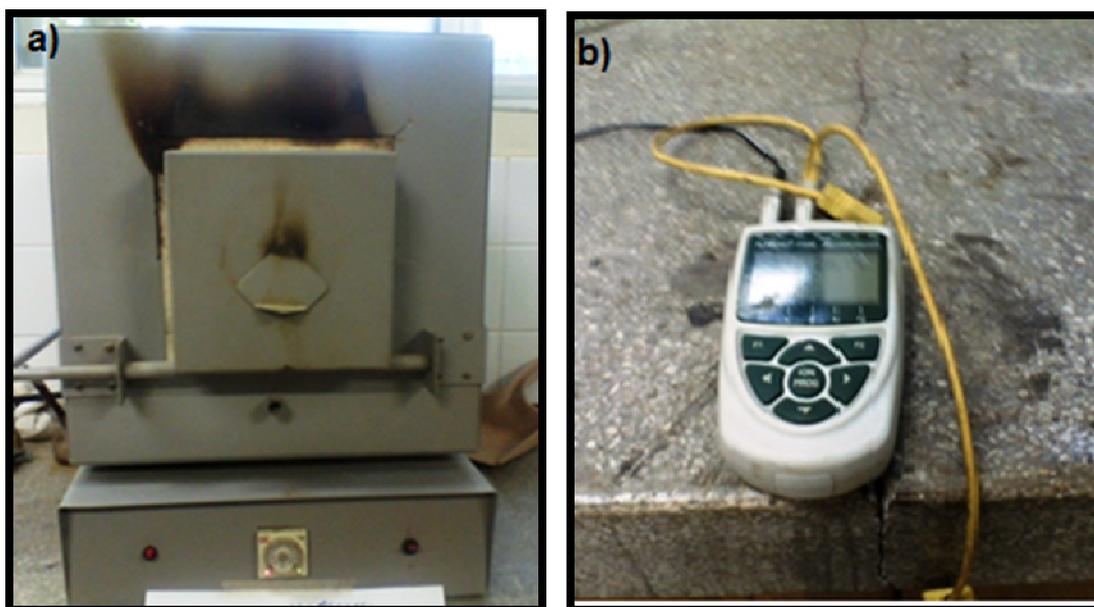
Fonte: Autor.

3.2 TRATAMENTOS TÉRMICOS

3.2.1 Normalização

O forno do tipo mufla, ideal para processo laboratorial, visto na Figura 3.3, foi ligado e ajustado de acordo com as temperaturas que se desejava chegar. Foram levadas ao forno duas partes de quarenta amostras cada á 880°C e 930°C respectivamente. Após aguardar aproximadamente 5 horas para que o forno atingisse a temperatura desejada verificou-se com um termopar (também visto na figura 3.3), logo atingiu-se a temperatura ideal e por 45 minutos a uma temperatura constante e retirados a seguir. Repetiu-se a operação para cada temperatura obtendo-se 80 amostras.

Figura 3.3 - a)Forno tipo mufla e b)controle de temperatura.

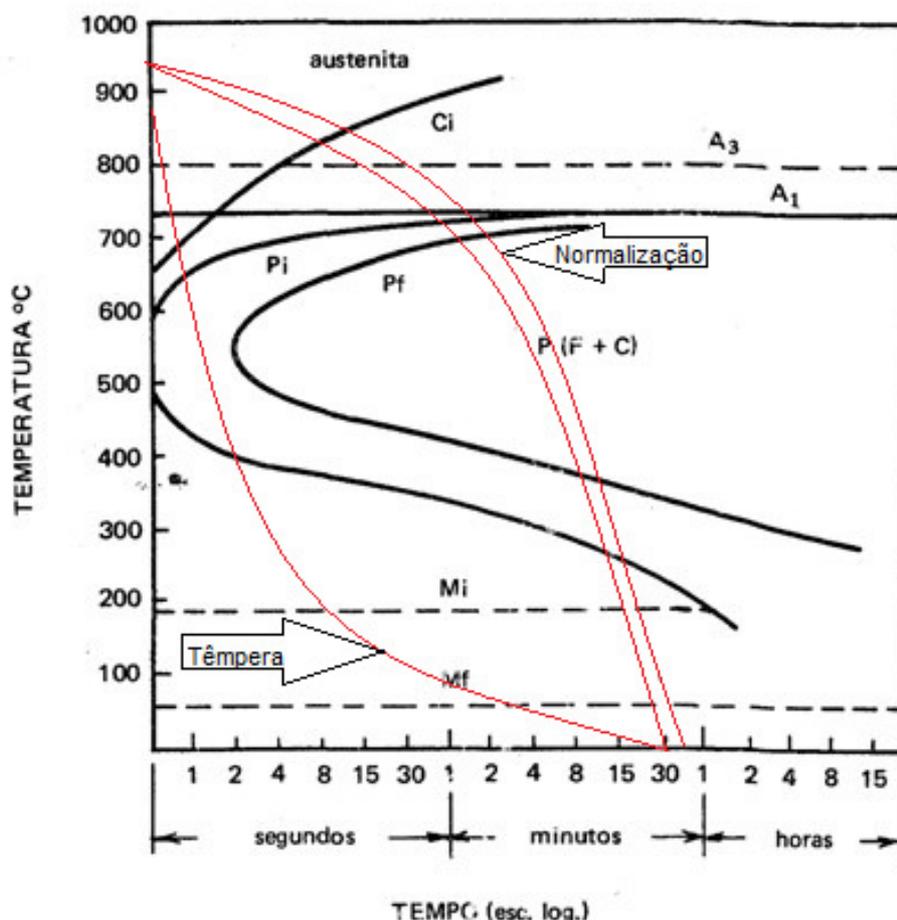


Fonte: Autor.

Foram escolhidas duas temperaturas diferentes; todas acima da linha de temperatura crítica A3, no diagrama Fe-C, para garantir a completa austenitização da microestrutura em dois tempos diferentes para formar diferentes tamanhos de grão de austenita, os quais, em consequência, resultam em diferentes tamanhos de grão de perlita e ferrita após o

resfriamento. Na figura 3.4 podemos entender melhor os tratamentos realizados de acordo com o diagrama de fases Fe-C.

Figura 3.4 – Diagrama de fases Fe-C e as curvas TTT(em vermelho)



Fonte: Autor.

As linhas em vermelho representam as curvas de resfriamento dos tratamentos de normalização e têmpera realizado nos aços hipoeutetóides através do diagrama TTT.

3.2.2 Têmpera

Na têmpera foi utilizada uma temperatura de austenitização de 870° utilizando-se do mesmo forno, foram colocadas vinte amostras em cada recipiente totalizando quarenta amostras, a necessidade dessa divisão deu-se ao tempo de retirada do forno, pois após a temperatura atingida manteve-se

constante a dois tempos, depois resfriados a uma velocidade suficiente rápido, o meio de arrefecimento usado para obter este efeito foi a água, para evitar as transformações perlíticas e bainíticas nas peças em questão, obtendo-se a estrutura martensítica. O processo foi repetido para diferentes temperaturas de normalização totalizando 80 amostras divididas em quatro partes de 20. Na tabela 3.5 mostra a distribuição das amostras temperadas.

Tabela 3.5 – Distribuição das peças temperadas.

Temperatura (°C)	Tempo (minutos)	N° de CP's
870°	30	40
870°	45	40

Fonte: Autor.

Neste processo, o processo de resfriamento se deu de modo rápido, mergulhando os corpos de prova em água, facilitando a retirada do recipiente em que foram mergulhados e devidamente separados.

3.2.3 Revenido

O revenido é o tratamento térmico que normalmente sempre acompanha a têmpera, pois elimina a maioria dos inconvenientes produzidos por esta, além de, aliviar ou remover as tensões internas, corrige as excessivas dureza e fragilidade do material, aumentando sua ductibilidade e resistência ao choque.

O processo de revenido se deu á temperatura de 380° em tempos de 30 e 45 minutos. Devido as variedades de temperaturas e tempos utilizados em outros tratamentos foi necessário dividir em grupos de 10 peças que sofreram diferentes tipos e níveis de tratamento. Como se vê na tabela 3.6. A tabela 3.7 especifica o tratamento e os devidos grupos de 10 peças que chamamos de condições A, B e assim respectivamente.

Tabela 3.6 – Especificação de cada tratamento.

Tratamentos	Normalização	Têmpera	Revenido
Temperaturas	T1=930°/T2=890°	T=870°	T=380°
Tempo	t= 45 minutos	t1= 30mim. t2= 45min.	t1= 30mim. t2= 45min.

Fonte: Autor.

Tabela 3.7 – Especificação dos grupos e seus respectivos tratamentos.

Condições	Tratamentos			N° de CP's
1	N(930,45)	T(870,30)	R(380, 45)	10
2	N(930,45)	T(870,30)	R(380, 30)	10
3	N(930,45)	T(870,45)	R(380, 45)	10
4	N(930,45)	T(870,45)	R(380, 30)	10
5	N(880,45)	T(870,30)	R(380, 45)	10
6	N(880,45)	T(870,30)	R(380, 30)	10
7	N(880,45)	T(870,45)	R(380, 45)	10
8	N(880,45)	T(870,45)	R(380, 30)	10
9	Peças não tratadas termicamente			10
				Total: 90

Tratamentos: **N: normalização; T: têmpera; R: revenido/(Temperatura em graus, tempo em minutos).**

Fonte: Autor.

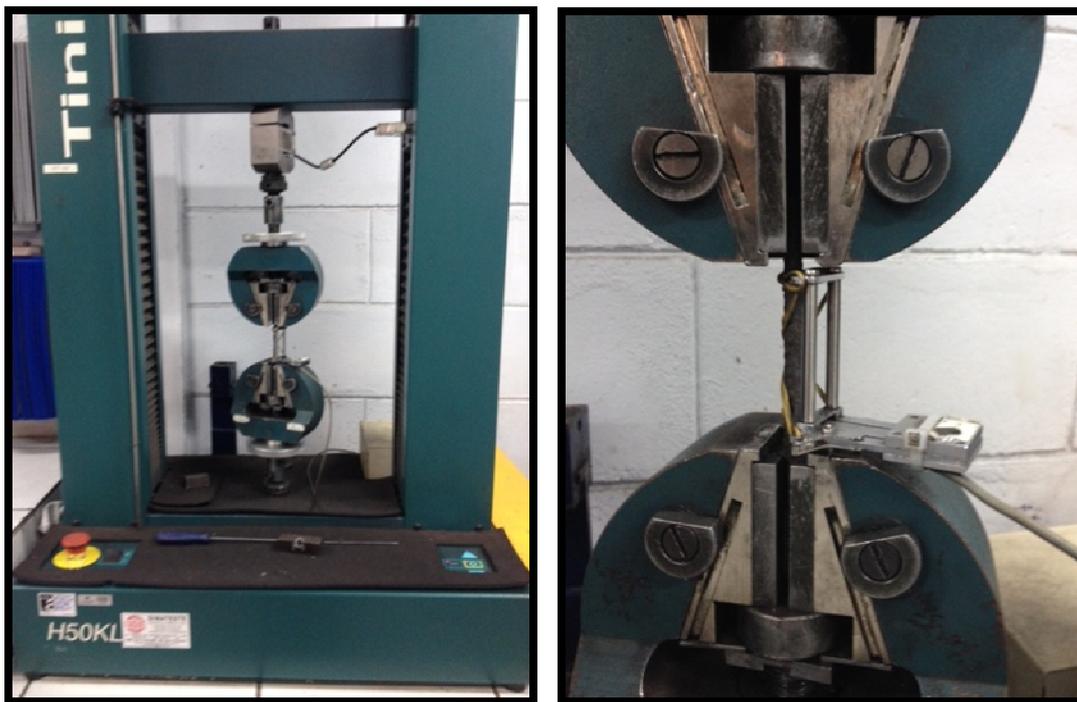
3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

Para realização do ensaio de tração, foram utilizadas três normas: ABNT NBR ISO 6892 que tem como objetivo especificar o ensaio de tração em materiais metálicos e as propriedades mecânicas que podem ser determinadas a temperatura ambiente; ABNT NBR 6207 com o objetivo de prescrever o método para o ensaio em arames de aço e ABNT NBR 7480 de aço destinado a armaduras de concreto armado e suas especificações [10], [11] e [12].

O ensaio de tração consiste em solicitar o corpo de prova com esforço de tração, geralmente até a ruptura, com o propósito de se determinar uma ou mais das propriedades mecânicas [10].

O ensaio de tração foi conduzido em uma máquina universal Tini H50KL (figura 3.5) com capacidade de carga de 100KN, em temperatura ambiente com uma velocidade de 5 mm/min.

Figura 3.5 – Máquina de ensaio de tração.



Fonte: Sinobrás,2014.

3.4 ANÁLISE METALOGRAFICA

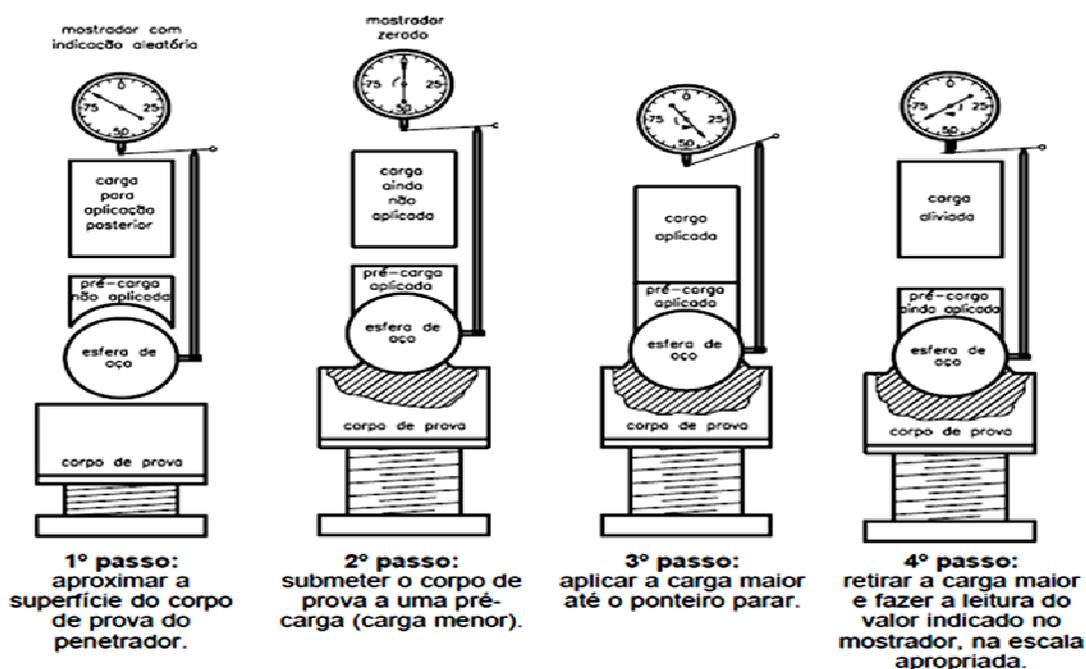
A análise metalográfica foi realizada no laboratório de preparação de amostras e metalografia da FEMAT/UNIFESSPA, seguindo as etapas de lixamento, começando pela lixa d'água 80, 100, 200, 320, 400, 600 e polimento com lixa de polir de nº 1200 e 1500 e com pasta de diamante, ataque químico com nital 3% e análise em microscópio óptico.

3.5 ENSAIO DE DUREZA

O ensaio de dureza foi realizado no laboratório de ensaios destrutivos da FEMAT/UNIFESSPA, Neste ensaio, a carga é aplicada em etapas, ou seja, primeiro se aplica uma pré-carga, para garantir um contato firme entre o penetrador e o material ensaiado e, depois, aplica-se a carga do ensaio propriamente dita. A leitura do grau de dureza é feita diretamente num mostrador acoplado à máquina de ensaio, de acordo com uma escala predeterminada, adequada à faixa de dureza do material.

As etapas do processo podem ser vistas na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Etapas do processo do ensaio de dureza.



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

O aço 1140 é um aço resulfurado com médio teor de carbono, cujas propriedades mecânicas permitem que este seja utilizado em aplicações de média requisição. A composição da amostra foi conferida assim que o vergalhão foi retirado da linha de produção do aço 1140 produzido pela empresa Sinobrás S.A., retirou-se uma pequena parte para “queima” para revelar a composição química da amostra. Nas tabelas abaixo se tem os principais componentes que caracterizam a o aço 1140 e seus respectivos resíduos tabela [4.1] e tabela [4.2].

Tabela 4.1 – Principais elementos da amostra.

Corrida	Tipo de Aço	Area	C	Mn	S	Fe
1301449	SI-1140-D	FINAL	0,42	0,90	0,017	97,920

Fonte: Sinobrás, 2013.

Tabela 4.2 – Elementos secundários.

Corrida	Tipo de Aço	Si	P	Cr	Mo	Ni	V	Al	Cu	Ti	Nb	Sn	N
1301449	SI-1140-D	0,22	0,007	0,06	0,02	0,09	0,034	0,002	0,26	0,00	0,030	0,02	0,000

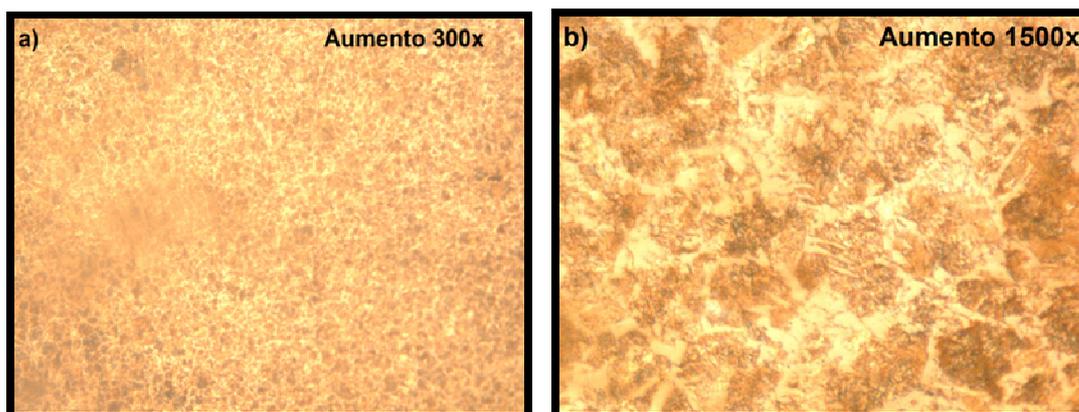
Fonte: Sinobrás, 2013.

4.2 MICROSCOPIA OPTICA

Para realizar o trabalho de metalografia foram retiradas uma peça de cada condição de tratamento realizado e preparadas por processo de embutimento com resina polimérica para se iniciar o processo de lixamento, polimento e ataque químico. As imagens apresentadas nesse tópico tratam de análises metalograficas realizadas no aço 1140 não tratado e tratado termicamente. O principal objetivo da microscopia foi identificar e avaliar, de maneira qualitativa, os microconstituintes dos aços hipoeutetóides,

apresentando uma estrutura perlítica e ferrítica bastante grosseiras, caracterizando assim o aço 1140 não tratado mostrado na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Micrografia aço 1140 não tratado, apresentando microestrutura grossierira de perlita e ferrita, com aumentos de: (a) 300x e (b) 1500X. Ataque nital 3%.

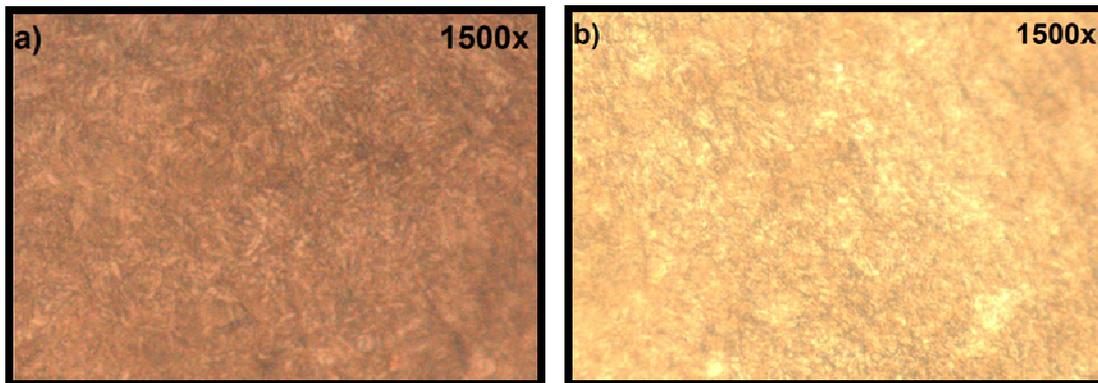


Fonte : Autor

Os aços médio carbono possuem em sua estrutura ferrita (ferro alfa) e perlita (ferro gama), porém ao contrário dos aços baixo carbono este possui a perlita em maior quantidade e a ferrita em menor quantidade, sendo assim verificamos que o mesmo possui propriedades e estrutura inversa a do aço baixo carbono, ou seja apresentam a melhor combinação de tenacidade / ductilidade e resistência mecânica / dureza. Nas imagens acima verificamos a existência de ferrita (partes claras) e perlita (partes escuras), nestes aços já é possível verificarmos que existe mais carbono, pois neste a perlita é mais presente do que a ferrita.

Na figura 4.2 (abaixo) apresentam as microestruturas dos aços tratados termicamente de acordo com as condições de tempo e temperatura realizados nos tratamentos de normalização, têmpera e revenido, ou seja, como se fez 8 condições diferentes, obtemos as imagens de cada condição, na qual veremos primeiramente as condições 1 e 2 respectivamente. Na qual fica bem evidente a realização dos tratamentos térmicos, principalmente a têmpera, pois este apresenta a estrutura martensítica em sua microestrutura.

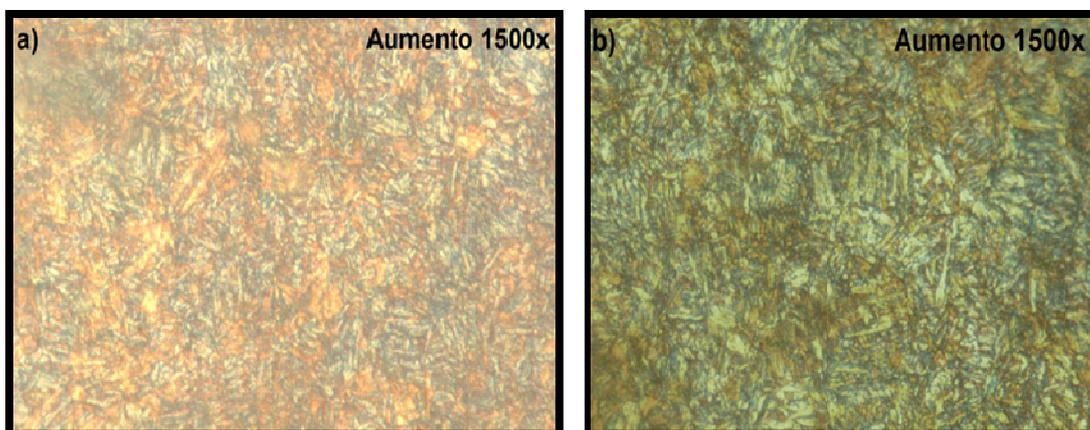
Figura 4.2 - Micrografia aço 1140, apresentando peças tratadas nas condições 1 (a) aumento 1500x e 2 (b) aumento 1500x . Ataque nital 3%.



Fonte: Autor.

Na figura 4.3, se apresentam as micrografias das condições 3 e 4 e se fazendo uma análise da microestrutura também detectamos a presença de uma estrutura metaestável denominada martensita.

Figura 4.3 - Micrografia aço 1140, apresentando peças tratadas nas condições 3 (a) aumento 1500x, 4 (b) aumento 1500x. Ataque nital 3%.

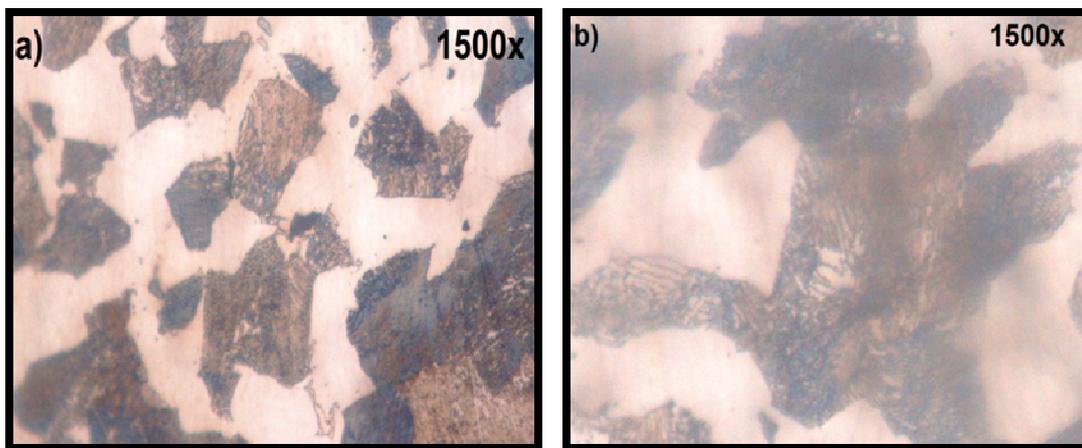


Fonte: Autor

Nas microestruturas dos aços tratados termicamente observadas acima, identificamos uma similaridade nas amostras micrográficas devido o aparecimento da martensita, esta se deu devido o efeito do resfriamento da liga hipoeutetóide que promove o cisalhamento dos planos atômicos em temperaturas onde a difusão é menor, constitui-se de finas placas de ferrita supersaturada de carbono.

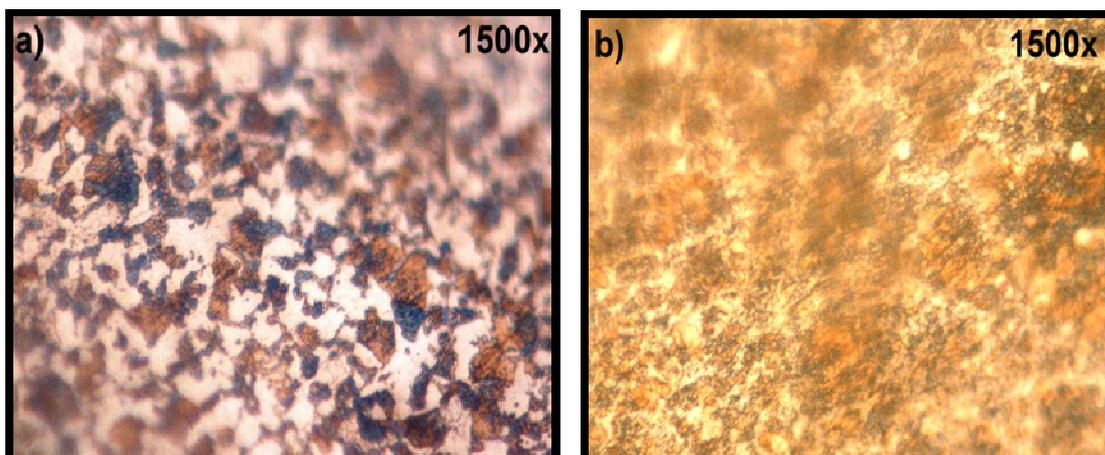
Nas micrografias que representam as condições 5 e 6 (Figura 4.4) e 7 e 8 (figura 4.5) houve diferenças entre as microestruturas apresentadas nas condições 1,2,3,4 (figuras 4.2 e 4.3, na página anterior). Em comparação, nota-se a presença da ferrita proeutetóide que se caracteriza como arranjo que se forma acima da temperatura de transição da fase α (arranjo cúbico de face centrada) no diagrama Fe-C.

Figura 4.4 – Micrografia aço 1140, apresentando peças tratadas nas condições 5 (a) aumento 300x e 6 (b) aumento 300x. Ataque nital 3%.



Fonte: Autor

Figura 4.5 - Micrografia aço 1140, apresentando a peça tratada na condições 7 (a) aumento 1500x, 8 (b) aumento 1500x. Ataque nital 3%.



Fonte : Autor.

Nas micrografias de condições 5,6 e 7 se vê claramente os contornos de grão representando uma estrutura fina e mais homogênea caracterizando a perlita e ferrita proeutetóide. Nas condições restantes se pode observar apenas a martensita devido a severidade elevada da têmpera nessas condições. Exceto na condição 8 onde nota-se o efeito do revenido, que se faz presente a troostita (pontos escuros), caracterizada por ser uma fase metaestável presente quando se trata aços de médio carbono. De maneira geral, as micrografias analisadas para as condições e processos de tratamento térmico empregados teve como evidenciar o resultado diferente em cada condição que se fez de tratamento térmico com valores de temperatura e tempo distintos.

Através das micrografias, observamos a diferença no efeito de cada parâmetro do tratamento, ou seja, o tempo de permanência em uma temperatura e modo de resfriamento causaram diferenças significantes para a microestrutura do aço 1140 tratados termicamente.

4.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

No ensaio de tração, foram ensaiados os 90 corpos de prova, sendo 9 condições diferentes, como vimos na tabela 3.7(visto anteriormente).

As propriedades mecânicas de tração do aço SAE 1140 está representado por limite de escoamento, tensão e deformação na tabela 4.4. Nesta tabela está representado somente as médias de cada condição, ou seja, foram ensaiados todos os corpos de provas tratados e não tratados, totalizando 90 peças sendo 10 de cada condição respectivamente.

Conseqüentemente, foi plotado gráficos para representar os valores de tensão/deformação (figura 4.6 e 4.7) nas peças tratadas e comparadas com os valores de tensão/ deformação das peças não tratadas. No qual se pode observar grande diferença de valores em consequência dos tratamentos realizados.

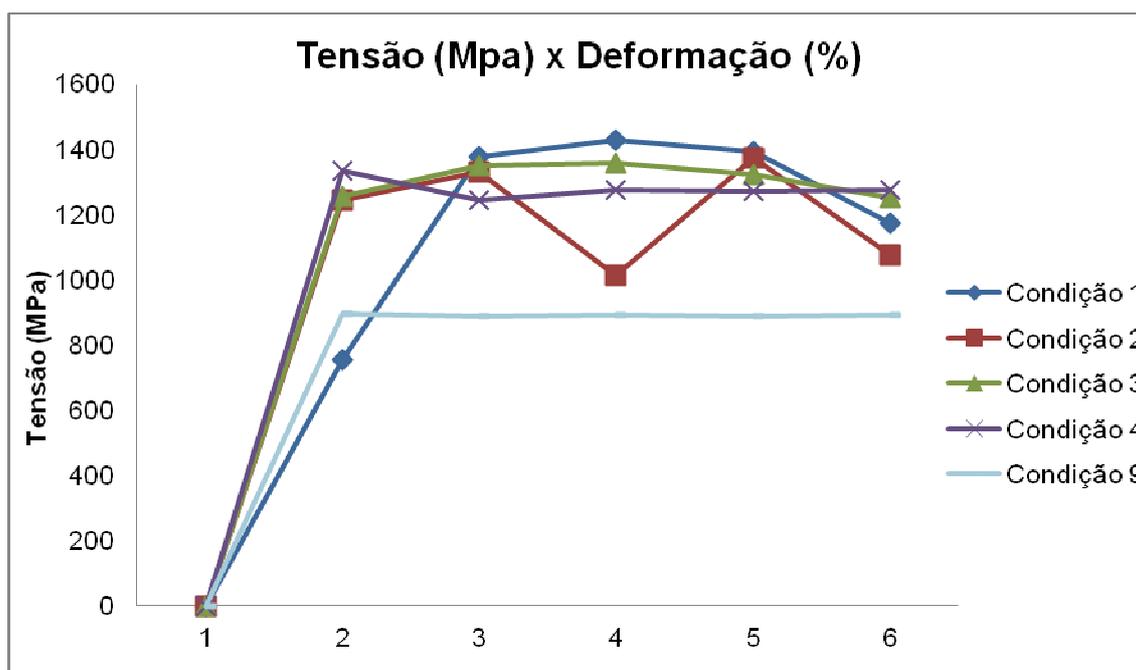
Tabela 4.3 – Propriedades mecânicas do aço 1140.

Condição	Limite de Escoamento (Mpa)	Limite de Resistência (Mpa)	Alongamento (%)
1	1222,04	1342,68	1,90
2	1200,11	1231,54	2,12
3	1191,60	1301,59	1,27
4	1232,70	1297,5	1,52
5	1153,14	1241,76	1,78
6	1288,22	1375,05	1,34
7	1166,28	1283,56	1,10
8	727,97	903,39	4,99
Não tratada	697,45	892,85	8,49

Fonte: Autor.

As curvas de tensão-deformação estão representadas nas figuras 4.6 (as condições de 1 a 4 e condição 9 representa a não tratada) na figura 4.7 (as condições de 4 a 8 4 e condição 9 representa a não tratada).

Figura 4.6 - Curvas tensão-deformação do aço 1140 nas condições 1, 2, 3, 4 e 9.

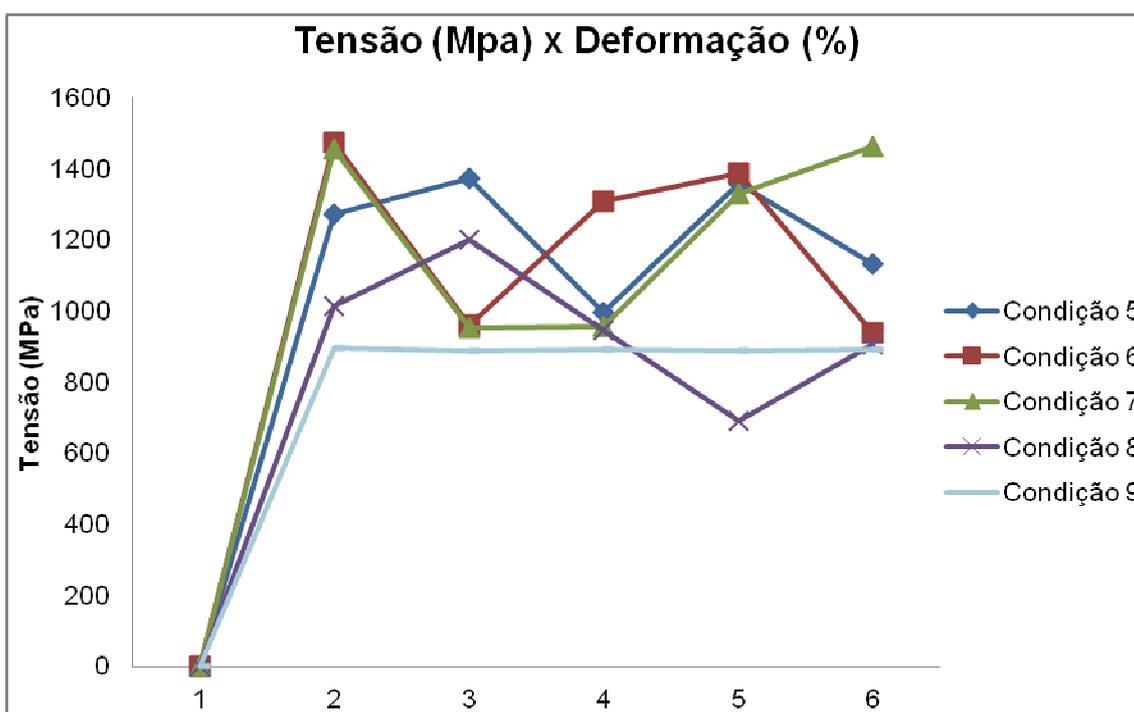


Fonte: Autor.

A figura 4.6 representa os valores de tensão/deformação no aço tratado nas condições de 1 á 4 e não tratado na condição 9. Comparando-as com a peça não tratada podemos observar aumentos nos valores de tensão/deformação, ou seja, as peças tratadas em questão sofreram um aumento em sua resistência mecânica.

Na figura 4.7 podemos comparar os valores das condições 5,6,7,8 e 9.

Figura 4.7 - Curvas tensão-deformação do aço 1140 nas condições 5, 6, 7, 8 e 9.



Fonte: Autor.

As curvas tensão/deformação representadas nas condições de 5 á 9 podemos observar valores de tensão mais próximos e até abaixo da linha que representa a condição do aço não tratado, isto significa que houve uma fragilidade maior na peça em relação dos parâmetros obtidos nas condições da figura 4.6. Contudo podemos concluir que nas condições 8 e 7 que estão bem próximas as da condição 9 que houve erro em consequência dos tratamentos realizados, pois não se obteve tanto efeito comparando-se os resultados das condições restantes.

4.4 ENSAIO DE DUREZA

Através desse procedimento, foi possível medir a dureza, sendo realizadas medidas em regiões diversas de cada condição para obter uma média. Como visto na tabela 4.5.

Tabela 4.4 – Representação dos valores de dureza Rockwell.

Condição	Leituras (HRBw)					Média (HRBw)	Média (HRC)
1	102	102	106,8	104,4	106,2	104,28	26,7
2	105,7	102,2	104,6	107,5	105,6	105,12	27,8
3	104,1	107,6	105,5	105,7	104,1	105,4	28,3
4	105,4	108,1	101,1	104,7	103,8	104,62	27,1
5	100,1	101,6	102,9	103,9	105,6	102,82	24,8
6	106,8	104,9	104,3	102,6	106	104,92	27,6
7	94,2	90,2	92,7	88,9	90,4	91,28	14,7
8	96,6	95,3	94,7	94,3	94,3	95,04	15,5
Não tratada	95,4	96,8	95,6	97,6	96,6	96,4	17,1

Fonte: Autor.

Através da tabela de dureza média das amostras, revela-se um aumento de dureza nas condições 1,2,3,4,5 e 6 que evidencia uma fragilidade na peça tratada. Devido a descarbonetação no tratamento térmico, nas condições 7 e 8 houve uma redução de dureza, tendo como referência a peça não tratada.

5 CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos com o aço 1140 foi possível concluir que o mesmo obteve dureza significativa quando submetido aos tratamentos térmicos de normalização, têmpera e revenido. É possível afirmar que o material pode sofrer um aumento na dureza devido às imagens das micrografias que revelam uma estrutura martensítica, caracterizando um material mais rígido.

As amostras tratadas sofreram uma diminuição da ductilidade como mostrou os resultados dos ensaios de tração, devido o aumento do limite de escoamento, resistência e uma diminuição significativa porcentagem de alongamento dos corpos de prova tratados comparando-os com as peças não tratadas. Ouve diferenças notáveis, devido a cada parâmetro de temperatura/tempo dos tratamentos realizados em diferentes condições.

No ensaio de dureza, as amostras de diferentes condições mostraram um aumento na dureza da peça, caracterizando um material frágil, porém, algumas peças tratadas de condições distintas sofreram uma redução de dureza, constatando descarbonetação e a não eficiência do tratamento na mesma, comparada com a peça não tratada.

Neste estudo podemos avaliar as características do aço 1140 mais sucintamente devido os diferentes parâmetros de tempo e temperatura de cada tratamento térmico realizado, como resultado obtivemos uma diminuição relativamente significativa da ductilidade e aumento da dureza do material.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando o objeto principal do estudo, o aço 1140, e suas propriedades descritas bem como as constatadas sugere-se a determinação da temperabilidade Jominy.

Considerando ainda o aço 1140, um estudo de outros tipos e parâmetros de tratamento térmico e termoquímico.

REFERÊNCIAS

[1] CAMARGO, S M; GUIMARÃES FILHO, M A; LOPES, R L; SANTOS, C de P; NOBRE, A J. Tratamentos térmicos: normalização, têmpera e revenido do aço 1140 fabricado em siderúrgica de Marabá-Pa. 2012 CONEM. São Luis, MA. Agosto 2012.

[2] CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 6. ed. São Paulo: ABM, 1988.

[3] ANDERSON, T L. **Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications**, Second Edition [s.l:s.n]. 1995.

[4] CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª. Edição /// Trad. Sérgio Murilo Stamile Soares, Rio de Janeiro, 2002

[5] PANDOLFO, D. **Estudo da Tenacidade ao impacto de um aço SAE 1020 Submetido a Tratamentos Térmicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6339**. Aço – Determinação da temperabilidade (Jominy). ABNT, 1989.

[7] VILA NOVA, O de S. **Análise da temperabilidade de um aço ABNT 1024 aplicado em vergalhão da empresa SINOBRAS S/A**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Pará, Marabá 2013.

[8] CHIAVERINI, V. **Tratamento Térmico das Ligas Metálicas**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2003.

[9] Armco Brasil. **Tratamentos térmicos**: têmpera e revenimento. Informativo quadrimestral “AÇÃO”, ano 1- nº 4. 2004.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6892**. Materiais Metálicos Ensaio de Tração á temperatura ambiente. ABNT, 2002.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6207**. Arame de Aço Ensaio de Tração. ABNT, 1982.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 7480**. Aço destinado a armaduras para estrutura de concreto armado – Especificação. ABNT 2008.