UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

ANDRÉA DOS SANTOS LIMA

CONSTRUÇÃO E AFERIÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE TEMPERABILIDADE

MARABÁ
2012

ANDRÉA DOS SANTOS LIMA

CONSTRUÇÃO E AFERIÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE TEMPERABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, Campus de Marabá, Universidade Federal do Pará. Orientador: Prof. M.Sc. Luis Fernando Nazaré Marques.

MARABÁ
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca II da UFPA. CAMAR, Marabá, PA

Lima, Andréa dos Santos
Construção e aferição de um dispositivo para a realização de ensaios de temperalidade / Andréa dos Santos Lima ; orientador, Luís Fernando Nazaré Marques. — 2012.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2012.

1. Aço - Metalurgia. 2. Aço - Tratamento térmico. 3. Martensita. I. Marques, Luís Fernando Nazaré, orient. II. Título.

CDD: 21. ed.: 669.1

ANDRÉA DOS SANTOS LIMA

CONSTRUÇÃO E AFERIÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE TEMPERABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, Campus de Marabá, Universidade Federal do Pará. Orientador: Prof. M.Sc. Luis Fernando Nazaré Marques.

Data de aprovação:_____ de _____ de 2012.

Banca examinadora:

_____- Orientador
Prof. M.Sc. Luis Fernando Nazaré Marques – UFPA

_____ - Membro interno
Prof. Dr. Luiz Moreira Gomes – UFPA

_____ - Membro interno
Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra – UFPA

Aos meus Pais!

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida e por todas as coisas boas que tem acontecido na minha vida.

Aos meus pais, Dorinha e Ezequias, pelo incentivo, apoio e amor dedicado em todos os anos de minha vida.

Ao meu namorado Higor Cairo, companheiro e amigo, quem me ajudou muito a realizar esse trabalho.

Ao meu orientador professor Luis Fernando, pelo apoio acadêmico.

A todos os Professores que contribuíram para a minha formação profissional, em especial ao professor Márcio Mafra.

A faculdade de Engenharia de Materiais - FEMAT da UFPA pelo curso de Graduação.

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade a construção e a aferição de um dispositivo experimental Jominy. O propósito foi de construir um instrumento prático e confiável para realizar ensaios de temperabilidade em aços. A construção do dispositivo e as condições dos ensaios foram realizadas segundo a Norma NBR 6339/89 da ABNT, a qual descreve todo o procedimento para a realização do Ensaio Jominy. Foram confeccionados corpos de prova em aço ABNT 1045, os quais foram ensaiados utilizando a metodologia Jominy. Através da comparação entre as curvas de dureza obtidas e as já existentes na literatura para tal aço, o dispositivo construído denominado equipamento “Jominy” foi validado, sendo este um dos objetivos deste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Aços, Temperabilidade, Jominy.

ABSTRACT

This work aims at building and calibrating an experimental device Jominy. The purpose was to build a reliable and practical tool to perform tests on steel hardenability. The construction of the device and the conditions of the tests were performed according to NBR 6339/89 ABNT, which describes the entire procedure for the realization of the Jominy test. Specimens were fabricated steel ABNT 1045, which were tested using the methodology Jominy. By comparing the curves obtained hardness and existing literature for such steel, the device built equipment called "Jominy" was validated, this being one of the objectives of this work.

KEYWORDS: Steels, Hardenability, Jominy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma dos principais tratamentos térmicos aplicados aos aços.....18
Figura 2 - Produtos da têmpera oriundos da transformação da austenita.....19
Figura 3 - Dureza para 50% de martensita versus % C. 20
Figura 4 - Diagrama TTT do aço SAE/ABNT 1045.....21
Figura 5 - Desenho esquemático (em corte) do dispositivo para o ensaio Jominy....24
Figura 6 - Curva de Temperabilidade.....25
Figura 7 - Temperabilidade de diversos aços AISI.....25
Figura 8 - Posição na curva Jominy versus diâmetro de barras redondas nos diversos meios de resfriamento.....27
Figura 9 - Procedimento Experimental. 29
Figura 10 - Desenho do dispositivo, dimensões em milímetros. 30
Figura 11 - Dispositivo Jominy em construção. 30
Figura 12 - Dispositivo construído. 31
Figura 13 - Instalação do dispositivo no laboratório: (a e b) Ajuste da tubulação; (c e d) Teste do dispositivo; (e) Dispositivo instalado.....32
Figura 14 - Desenho do corpo de prova (dimensões em milímetros).....34
Figura 15 - Corpo de prova usinado. 34
Figura 16 - Corpo de prova austenitizado à temperatura de 845 ℃. 35
Figura 17 - Corpo de prova nos primeiro instantes do ensaio. 36
Figura 18 - Corpo de prova retificado e posições de medição ao longo do seu comprimento a partir da extremidade temperada, dimensões em mm.....36
Figura 19 - Durômetro utilizado para medir os níveis de dureza dos corpos de prova. 37
Figura 20 - Curva de dureza versus distância obtida no ensaio de temperabilidade Jominy para o aço ABNT 1045.....38
Figura 21 - Faixa de temperabilidade da literatura versus dados obtidos no ensaio para um aço ABNT 1045. 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo do dispositivo e acessórios. 33
Tabela 2 - Composição química do aço ABNT 1045.....33
Tabela 3 - Temperaturas de normalização e autenitização para têmpera dos aços com temperabilidade garantida. 35
Tabela 4 - Média das durezas obtidas em cada ponto dos corpos de prova. 37

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Carbono
CAD	Desenho Assistido por Computador
CFC	Cúbico de Face Centrada
Cu	Cobre
Fe_3C	Cementita
H	Severidade de têmpera
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
P	Fósforo
S	Enxofre
Si	Silício
SAE	Society of Automotive Engineers
TCC	Tetragonal de Corpo Centrado
TRC	Transformação por Resfriamento Contínuo
TTT	Tempo – Temperatura – Transformação
UFPA	Universidade Federal do Pará
Ø	Diâmetro
α-Fe_3C	Perlita

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **13**

2 OBJETIVOS **15**

2.1 OBJETIVO GERAL **15**

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS **15**

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **16**

3.1 DEFINIÇÕES BÁSICAS **16**

3.1.1Temperabilidade **16**

3.1.2 Severidade de têmpera **16**

3.1.3 Importância do ensaio Jominy **17**

3.2 O ESTADO DA ARTE **17**

3.2.1Tratamento térmico dos aços **17**

3.2.2 Têmpera **18**

3.2.3 Dureza e temperabilidade **19**

3.2.4 Fatores que influenciam a temperabilidade **20**

3.2.4.1 Tamanho de grão austenítico **21**

3.2.4.2 Teor de carbono **22**

3.2.4.3 Elementos de liga **22**

3.2.4.4 Austenitização/ Homogeneidade da austenita **22**

3.2.4.5 Temperatura e tempo de austenitização **23**

3.2.5 Medição de temperabilidade **24**

3.2.5.1 Ensaio Jominy **24**

3.2.5.2 Aplicação prática do ensaio Jominy **26**

4 MATERIAIS E MÉTODOS **28**

4.1 MATERIAIS **28**

4.2 METODOLOGIA **28**

4.2.1 Construção do dispositivo **29**

4.2.1.1 Montagem e instalação do dispositivo 30
4.2.2 Custo do dispositivo e acessórios 33
4.2.3 Preparações das amostras 33
4.2.4 Ensaio 34
4.2.5 Análise dos níveis de dureza 37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 38
5.1 CURVA DE TEMPERABILIDADE OBTIDA NO ENSAIO 38
6 CONCLUSÃO 40
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 41
8 REFERÊNCIAS 42

1 INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas e desempenho em serviço de um metal ou liga metálica dependem da sua composição química, estrutura cristalina, histórico de processamento e dos tratamentos térmicos realizados. De forma simplificada, os tratamentos podem ser descritos como ciclo de aquecimento e resfriamentos controlados (em material metálico) que causam modificações na microestrutura e propriedades mecânicas dos mesmos (CALLISTER, 2002; CANALE, 2004).

Entretanto, essa mudança de propriedades mecânicas, principalmente em relação ao tratamento térmico denominado têmpera, ocorre de maneira diferente para cada material. E é a partir disso que se define a temperabilidade dos aços como sendo a capacidade ou habilidade de aumento de resistência mecânica (por exemplo, aumento da dureza) através da forma martensítica (que é uma estrutura que apresenta dureza elevada). Uma liga que possui uma alta temperabilidade forma martensita não apenas na superfície, mas em elevado grau também em todo seu interior e comprimento (CHIAVERINI, 1986; CIMM, 2012).

Os métodos mais utilizados para avaliar a temperabilidade de um aço são o ensaio de temperabilidade Grossmann e Jominy. O ensaio Jominy, também chamado de ensaio de resfriamento da extremidade, é atualmente um dos testes mais utilizados na prática industrial para a avaliação da temperabilidade. Como será visto adiante, ao se resfriar um corpo de prova a partir de uma extremidade tem-se, portanto, diferentes taxas de resfriamento ao longo do comprimento deste corpo de prova. E o conceito básico é que se a dureza for homogênea ao longo de todo comprimento, a temperabilidade do material é elevada. Mas, se a dureza na extremidade oposta ao resfriamento diminuir muito, a temperabilidade do material ensaiado é baixa.

Conhecendo-se as durezas obtidas ao efetuar-se um ensaio de Jominy de um aço e as condições de resfriamento dos diferentes pontos do corpo de prova, pode-se conhecer a dureza que se obtém no interior de peças resfriadas nas mesmas condições. Deste modo as curvas de Jominy podem ser utilizadas para se predizer a distribuição de dureza em barras de aço de diferentes dimensões, resfriadas em vários meios de resfriamento.

Uma vez encontrada a velocidade de resfriamento em uma determinada posição da barra pode-se utilizar um gráfico de ensaio Jominy de um aço específico

para saber a dureza a ser obtida. Desta maneira pode-se prever o perfil de durezas de uma barra temperada em um meio de resfriamento qualquer, sem que se tenha que recorrer ao corte da mesma.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Busca-se, de maneira geral, a construção e a aferição de um dispositivo utilizado para realizar ensaios de temperabilidade em aços.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Escolha de um modelo de dispositivo para realizar Ensaio Jominy
- ✓ Desenvolvimento do modelo do dispositivo em CAD;
- ✓ Construção do dispositivo desenvolvido;
- ✓ Ensaio de temperabilidade da amostra (aço ABNT 1045) no dispositivo desenvolvido;
- ✓ Correlação da dureza obtida experimentalmente com as apresentadas na literatura para tal amostra.
- ✓ Aferição do dispositivo desenvolvido.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DEFINIÇÕES BÁSICAS

3.1.1Temperabilidade

Temperabilidade é definida como a propriedade que determina a capacidade de endurecimento do aço verificada através da profundidade e distribuição da dureza, obtida por tratamento térmico de têmpera [NBR 8653, 1998].

Segundo Costa e Mei (2006), a temperabilidade é a habilidade do aço de adquirir dureza ao longo de sua seção transversal, e é a capacidade do aço de formar martensita a uma determinada profundidade em uma peça.

Temperabilidade ou profundidade de penetração da têmpera segundo Colpaert (2008) e Costa (2006), é a característica que define a variação de dureza desde a superfície até o núcleo da peça quando temperada. Está associada à capacidade de determinado aço formar martensita e, portanto, à velocidade crítica de têmpera. O tamanho de grão austenítico e a homogeneidade da microestrutura inicial (austenita) têm efeito sobre a temperabilidade do aço.

Krauss (2005) apresenta o conceito de temperabilidade como à susceptibilidade ao endurecimento por resfriamento rápido, ou a propriedade, em ligas ferrosas, que determina a profundidade e distribuição de dureza produzida por têmpera. A principal causa do endurecimento é a formação e presença de martensita. Então, pode-se definir também que a temperabilidade é a capacidade de um aço se transformar parcial ou totalmente de austenita para martensita a uma dada profundidade, quando resfriado sob certas condições.

3.1.2 Severidade de têmpera

É a capacidade do meio refrigerante em extrair calor rapidamente a partir da superfície do aço. Toma-se como referência a água a 18ºC, cuja severidade é definida como H = 1. Dos quatro meios de têmpera mais comumente empregados (salmoura, água, óleo e ar), a salmoura é a que produz a têmpera mais severa, seguida pela água, óleo e o ar. A severidade de têmpera é muito influenciada pela de agitação do meio.

3.1.3 Importância do ensaio Jominy

Dados de um ensaio Jominy podem ser usados para determinar se um aço pode ser suficientemente endurecido em diferentes meios para diferentes diâmetros. Utilizando este procedimento se chega a determinar com boa aproximação a dureza de cilindros de aço temperados, ligando os ensaios de Jominy com os resultados obtidos ao estudar o resfriamento contínuo desde uma temperatura alta, de cilindros de aço de diversos diâmetros. A velocidade de resfriamento de uma peça depende do tamanho desta, do meio de resfriamento e da temperatura de têmpera. Quando a dimensão de uma peça aumenta, a taxa de resfriamento na superfície e interior da mesma diminui. O normal e mais econômico é selecionar o aço de mais baixo teor de carbono que produzirá a dureza indicada, usando o meio de têmpera indicado. Pode-se perceber a partir disso a importância de um dispositivo Jominy para realizar ensaio de temperabilidade em aços.

3.2 O ESTADO DA ARTE

3.2.1Tratamento térmico dos aços

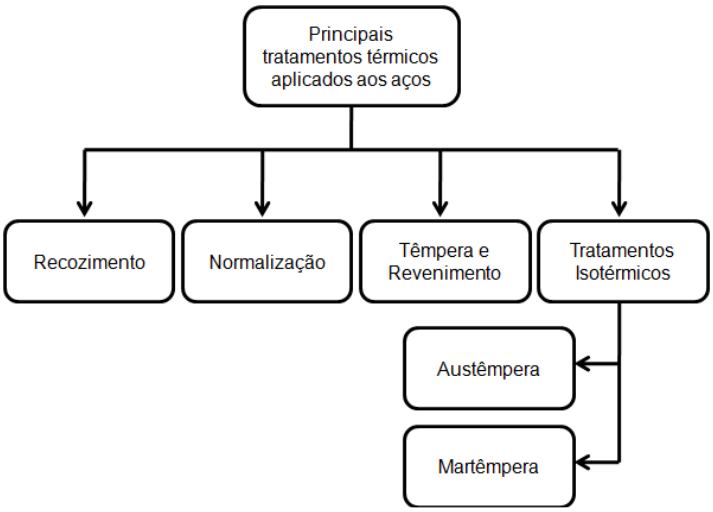
Tratamento térmico é o conjunto de operações usadas para alterar as propriedades físicas e/ou químicas de um material, conferindo-lhe características determinadas, que consiste no aquecimento e resfriamento de um material sob condições controladas de tempo, temperatura, atmosfera e velocidade de resfriamento, ou seja, é o processo de aquecer e resfriar controladamente um material visando modificar suas propriedades mecânicas (UNTERWIESER et al., 1982).

As propriedades dos aços estão diretamente ligadas à sua estrutura, e, portanto, os tratamentos térmicos visam, em maior ou menor escala, modificá-las. As principais razões para se aplicar esse processo são a remoção das tensões internas oriundas de processos de fabricação precedentes, o aumento ou redução de dureza do material ou sua resistência mecânica e a melhoria da ductilidade, usinabilidade e resistência ao desgaste e à corrosão.

Estes diferentes arranjos da estrutura cristalina dos aços equivalem a diferentes fases ou microconstituintes, sendo que para a obtenção de cada fase há um tipo de tratamento térmico específico (BORTOLETO, 2010).

Em geral, alguns dos tratamentos térmicos aplicados aos aços são simplificados no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma dos principais tratamentos térmicos aplicados aos aços.



Fonte: O Autor.

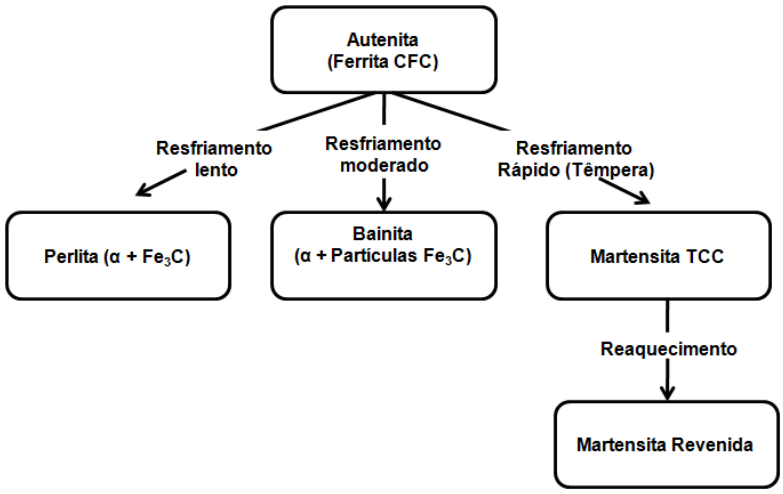
3.2.2 Têmpera

Dentre os tratamentos térmicos, é comum o uso do processo de têmpera, que consiste em um resfriamento rápido e controlado do material, que anteriormente foi aquecido visando a austenitização total ou parcial deste. Ou seja, procede-se com o aquecimento do material em forno até atingir a temperatura de austenitização do aço principalmente para que os carbonetos dos elementos de liga se dissolvam e, em seguida, resfria-se a peça tratada em meio refrigerante adequado.

Tomando como exemplo o caso de aços hipoeutetóides, e considerando que o material é mantido em processo de aquecimento até que se obtenha uma homogeneidade nos valores das temperaturas, acima da temperatura de austenitização, consegue-se fazer com que o material esteja austenítico. Segue-se, então, um resfriamento, de tal forma que se consiga evitar a transformação da austenita nos seus produtos de decomposição de mais alta temperatura (ferrita ou cementita + perlita), dando lugar preferencialmente a transformações em martensita. Dependendo da velocidade de resfriamento a que é submetido material, obtém-se

uma determinada proporção entre as diferentes fases do material, o que determinará as características físicas e mecânicas para o material, entre as quais se pode citar dureza, tenacidade, ductilidade, entre outras (ASM, 1990). Na Figura 2 têm-se os produtos da têmpera oriundos da transformação da austenita em diferentes tipos de resfriamento.

Figura 2 - Produtos da têmpera oriundos da transformação da austenita.



Fonte: O Autor.

3.2.3 Dureza e temperabilidade

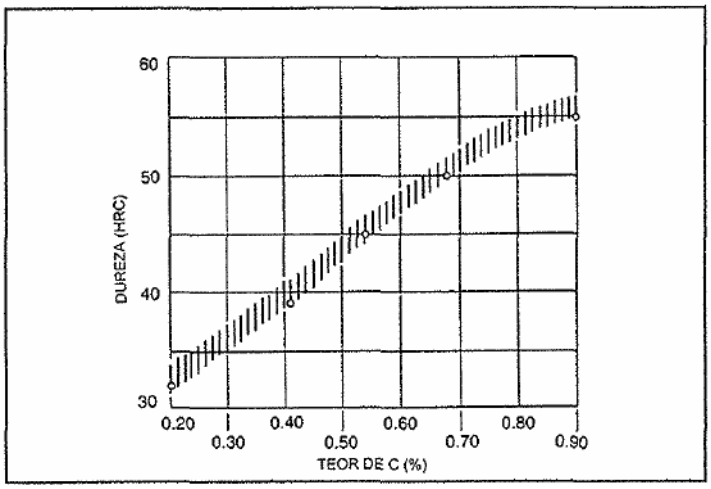
Temperabilidade não deve ser confundida com dureza ou dureza máxima. A dureza máxima depende do teor de C enquanto a temperabilidade depende também de outros fatores.

A Figura 3 apresenta a correlação entre %C versus dureza para microestrutura com 50% de martensita. A variação no tipo de microestrutura não martensítica contribui para a variabilidade de dureza. Esta microestrutura pode ser ferrita, perlita, bainita ou misturas dessas.

Segundo Grossmann e Bain (1972), a penetração do endurecimento (distribuição de dureza) produzido pela formação de martensita em um aço temperado depende de três fatores:

- Sua temperabilidade (composição química e tamanho de grão austenítico);
- Severidade do meio de têmpera;
- Tamanho da peça.

Figura 3 - Dureza para 50% de martensita versus % C.



Fonte: Krauss, 1990.

A expressão quantitativa da temperabilidade depende do método de ensaio utilizado para sua determinação e está vinculada à severidade do meio de têmpera empregado.

3.2.4 Fatores que influenciam a temperabilidade

A temperabilidade do aço é influenciada pelos fatores que modificam a taxa de nucleação e crescimento de fases não martensíticas, sendo os principais:

- Tamanho de grão austenítico;
- Composição química da austenita;
- Homogeneidade da austenita;
- Inclusões não metálicas;
- Carbonetos não solubilizados.

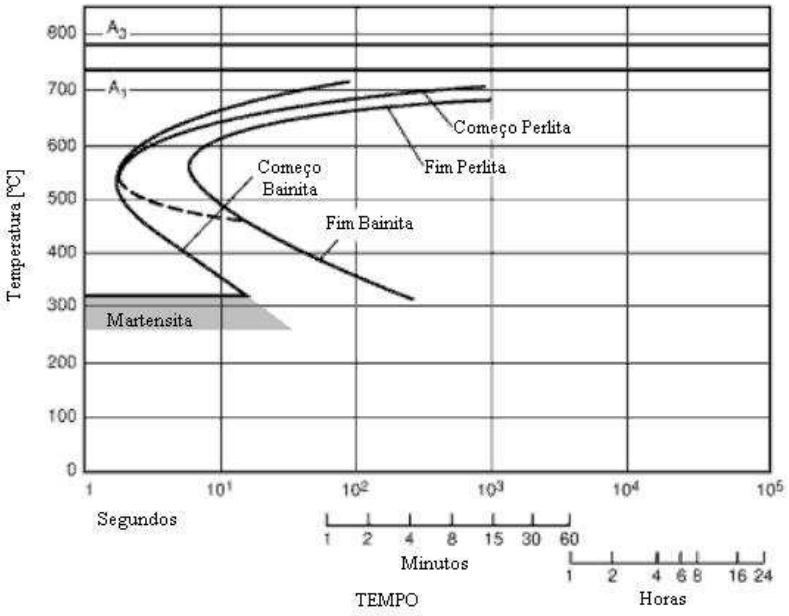
O efeito dos elementos na taxa de resfriamento pode ser verificado pelos diagramas TTT e TRC, que mostram curvas de início e fim de transformação da austenita (gráfico de temperatura de transformação versus tempo em escala logarítmica na abscissa). Esses diagramas podem ser usados para selecionar aços visando uma especificação definida. A Figura 4 mostra um exemplo do diagrama TTT.

Em resfriamento contínuo (curva TRC) é necessário um maior tempo para haver a transformação da austenita em ferrita + carboneto que em resfriamento isotérmico (curva TTT). O motivo para isto é que o corpo de prova antes do início da

transformação estará em temperatura superior à prevista pela transformação isotérmica. Como em resfriamento contínuo um aumento de tempo significa queda de temperatura, o ponto onde a transformação da austenita começa estará localizado à direita e abaixo em relação à curva TTT (REED-HILL & ABBASCHIAN, 1994; HÖMBERG, 1996).

A transformação austenita→ferrita + carboneto (cementita) é controlada pela difusão de átomos de carbono, processo dependente do tempo e irreversível. A transformação austenita→martensita não envolve difusão e é dependente da temperatura de tal maneira que a fração volumétrica de martensita só aumenta durante o estágio não isotérmico do processo de resfriamento, não se alterando durante o estágio isotérmico. Para aumentar a temperabilidade do aço é necessário mover o “nariz” da curva TTT ou TRC para a direita.

Figura 4 - Diagrama TTT do aço SAE/ABNT 1045.



3.2.4.1 Tamanho de grão austenítico

A temperabilidade aumenta com o aumento do tamanho de grão austenítico. Quando não há perigo de trincas na têmpera e onde considerações de engenharia permitem, pode ser mais prático usar aços com grão grosso do que aços ligados (mais caros) para obter maior temperabilidade.

A transformação austenita→ferrita + cementita é uma reação que ocorre por nucleação e crescimento. A nucleação da ferrita e da cementita ocorre em sítios de

nucleação heterogêneos tais como os contornos de grão. A velocidade de nucleação será tanto maior quanto mais fino for o grão austenítico, pois maior superfície total estará disponível para nucleação de ferrita. A velocidade de crescimento da perlita não é sensivelmente modificada pelo tamanho de grão austenítico (KRAUSS, 1990).

3.2.4.2 Teor de carbono

É o elemento químico mais importante na temperabilidade. Aumenta a temperabilidade do aço retardando a formação da ferrita e perlita. Níveis elevados de carbono reduzem a temperatura de formação de martensita e a transformação de austenita para martensita pode ser incompleta, levando a austenita retida. Nessa microestrutura, composta de martensita e austenita, há uma queda na dureza, embora a dureza da fase martensítica seja elevada.

3.2.4.3 Elementos de liga

A mais importante função dos elementos de liga em aços para tratamento térmico é aumentar a temperabilidade, o que torna possível o endurecimento de seções maiores e possibilita também o uso de têmpera em óleo para reduzir distorção e trincas de têmpera. Esses deslocam a curva TRC para a direita, atrasando, assim, a transformação austenita→ferrita + perlita e/ou bainita, o que permite a formação de mais martensita para uma taxa particular de resfriamento.

- ✓ Mo é mais efetivo que o Cr devido sua completa dissolução na austenita, mas acima de 0,50% tem seu efeito reduzido ao precipitar o C, formando o carboneto de Mo (CHUEN,1979).
- ✓ Mn e Ni: Estabilizam a austenita e retardam o início de formação da perlita. Deslocam o nariz da curva TRC para a direita, mas não modificam a curva. O Mn é mais efetivo.
- ✓ Si, Ni e Cu: tem fraca influência no aumento da temperabilidade.
- ✓ P e S: O P aumenta a temperabilidade e o S diminui.

3.2.4.4 Austenitização/ Homogeneidade da austenita

A composição química da austenita no momento da têmpera pode não ser necessariamente a mesma revelada pela análise química do aço devido à presença de carbonetos não dissolvidos. Com isso nem o elemento de liga nem o carbono deste carboneto contribuem para a temperabilidade. Uma boa homogeneidade pode ser conseguida através de um aquecimento adequado a uma temperatura ligeiramente acima da temperatura de transformação (SIEBERT et al., 1977).

3.2.4.5 Temperatura e tempo de austenitização

Temperatura: Alta temperatura de austenitização resulta em austenita mais homogênea, o que reduz os sítios de nucleação para transformação austenita →ferrita + carboneto, assim aumentando a temperabilidade. Um aumento na temperatura de austenitização aumenta o tamanho de grão. Como os constituintes nucleiam-se no contorno de grão, haverá um aumento na temperabilidade, mas redução de tenacidade após a têmpera (LARSSON et al., 1990; MELLOY, 1977b).

Quanto mais alta a temperatura de austenitização, maior a quantidade de calor a ser extraído na têmpera e, assim, haverá redução na temperabilidade (SIEBERT et al., 1977).

O efeito positivo da homogeneidade é maior que o efeito negativo da diminuição da taxa de resfriamento (LARSSON et al., 1990).

Tempo: O maior tempo de permanência na temperatura de austenitização influencia a temperabilidade, primeiramente porque é necessário tempo para adquirir homogeneidade da austenita. Por esta razão, a microestrutura prévia da parte a ser endurecida é importante: aços de médio teor de C recozidos são constituídos de ferrita e perlita (distribuição não homogênea de C) enquanto que no estado temperado e revenido tem-se uma distribuição uniforme de finos carbonetos na ferrita, o que leva a tempos diferentes para difusão do C. Regra prática: Aquecer durante 1 hora/polegada de espessura da peça na temperatura de austenitização é o tempo suficiente (MELLOY, 1977b).

Inclusões não metálicas, nitretos e carbonetos não solubilizados: uma dispersão fina de partículas promove nucleação de ferrita e carbonetos durante a transformação, o que leva à diminuição da temperabilidade.

3.2.5 Medição de temperabilidade

A temperabilidade pode ser medida pela profundidade de endurecimento que a peça atinge quando temperada. O ensaio Jominy é o mais usado para medição de temperabilidade.

3.2.5.1 Ensaio Jominy

O Ensaio Jominy consiste em aquecer um corpo de prova cilíndrico padronizado até a temperatura de austenitização, quando então é rapidamente resfriado por meio de um dispositivo especial, conforme o esquema da Figura 5. A extremidade inferior é resfriada rapidamente mediante a ação de um jato de água com vazão específica e em temperatura ambiente. Assim, a taxa de resfriamento assume um valor máximo na extremidade que está sendo temperada, diminuindo em função da posição deste ponto ao longo do comprimento do corpo de prova. São feitas posteriormente, medições de dureza ao longo do corpo de prova em intervalos de 1/16”. e inseridas em relação à distância da extremidade temperada conforme mostrado na Figura 6.

Figura 5 - Desenho esquemático (em corte) do dispositivo para o ensaio Jominy.

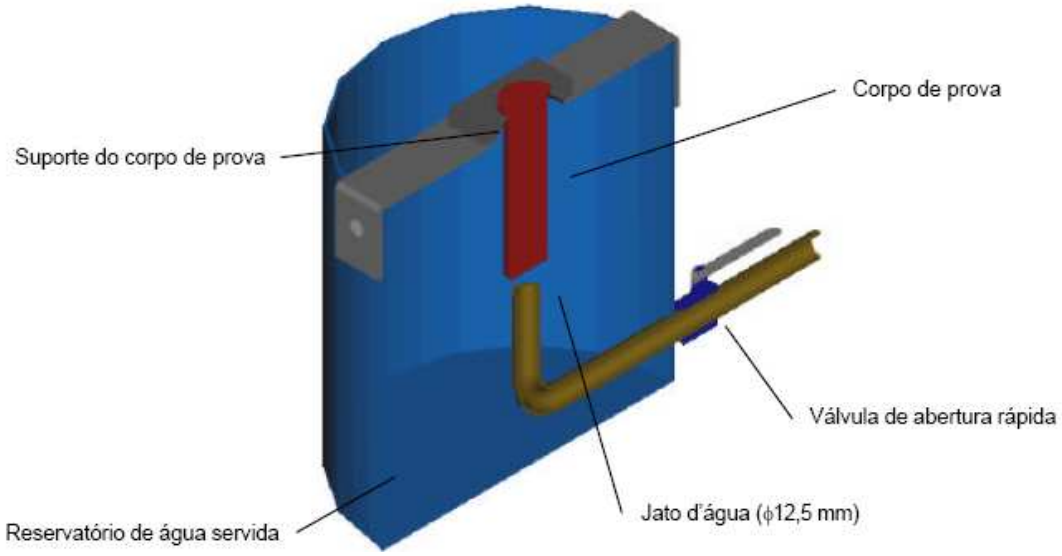
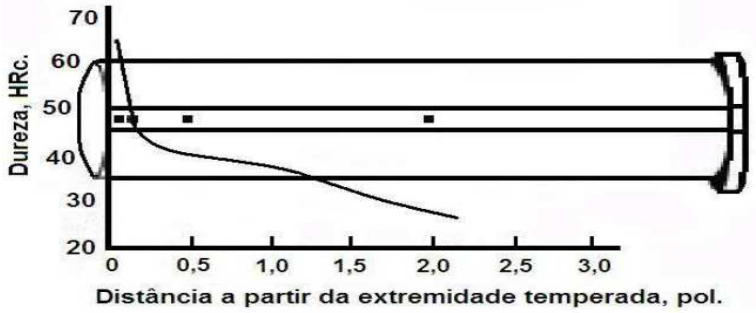


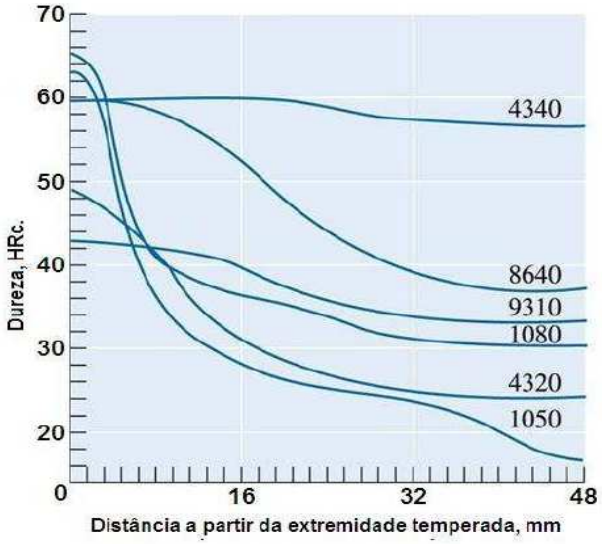
Figura 6 - Curva de Temperabilidade.



Fonte: Adaptação de Costa e Mei, 2006.

Assim diferentes aços podem ser comparados quanto à sua temperabilidade. Os mais temperáveis tendem a manter dureza mesmo para posições distantes da extremidade temperada, como é o caso do aço AISI 4340 da Figura 7.

Figura 7 - Temperabilidade de diversos aços AISI.



Fonte: Adaptado de Askeland, 1984.

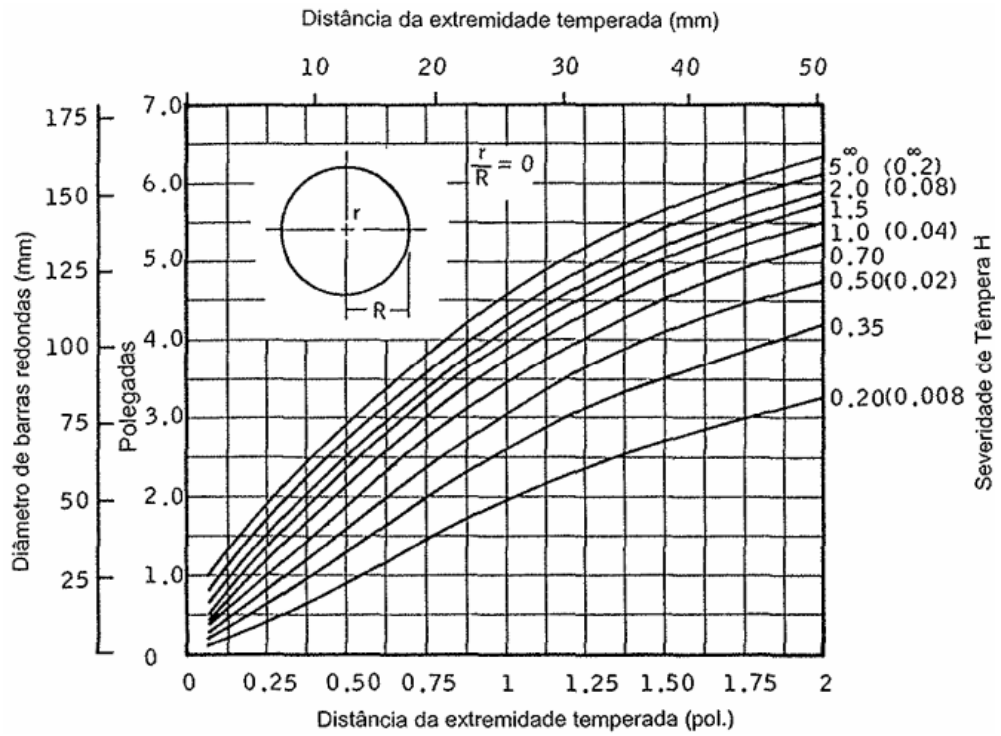
A grande vantagem do ensaio Jominy é a de se obter em uma única barra diferentes velocidades de resfriamento, que produzirão diferentes durezas ao longo do eixo do corpo de prova. Cada posição da barra Jominy tem uma taxa de resfriamento conhecida e independe do tipo de aço.

3.2.5.2 Aplicação prática do ensaio Jominy

Compete ao engenheiro a aplicação de conhecimentos adquiridos com a teoria associados à experiência, a fim de obter-se o melhor desempenho possível dos materiais selecionados para a fabricação de componentes mecânicos e estruturais, tudo isso aliado, preferencialmente, a um menor custo.

Conhecendo-se as durezas obtidas ao efetuar-se um ensaio de Jominy de um aço e as condições de resfriamento dos diferentes pontos do corpo de prova, pode-se conhecer a dureza que se obtém no interior de peças resfriadas nas mesmas condições. Deste modo as curvas Jominy podem ser utilizadas para se predizer a distribuição de dureza em barras de aço de diferentes dimensões, resfriadas em vários meios de resfriamento. As velocidades de resfriamento nos vários pontos do corpo de prova Jominy podem ser comparadas com as velocidades de resfriamento em barras de vários diâmetros resfriadas em vários meios de resfriamento. Esta comparação pode ser feita pelo uso do gráfico da Figura 8. Este gráfico é conhecido como *"gráfico de Lamont"* e serve para que se possam encontrar as velocidades de resfriamento em diversas posições de uma barra, desde o centro até a superfície, quando resfriada em condições normais, isto é, mergulhando-a totalmente no meio de resfriamento. Uma vez encontrada a velocidade de resfriamento em uma determinada posição da barra pode-se utilizar um gráfico de ensaio de Jominy de um aço específico para saber a dureza a ser obtida.

Figura 8 - Posição na curva Jominy versus diâmetro de barras redondas nos diversos meios de resfriamento.



Fonte: Siebert et al.,1977.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Na etapa de construção do dispositivo foram utilizados os seguintes componentes de construção:

- Válvulas de abertura rápida ¾";
- Tubo em aço galvanizado ¾";
- Joelho em aço galvanizado diâmetro interno de 12,5 mm;
- Mangueira polimérica utilizada para o escape e alimentação de água;
- Chapa em aço carbono;
- Parafusos.

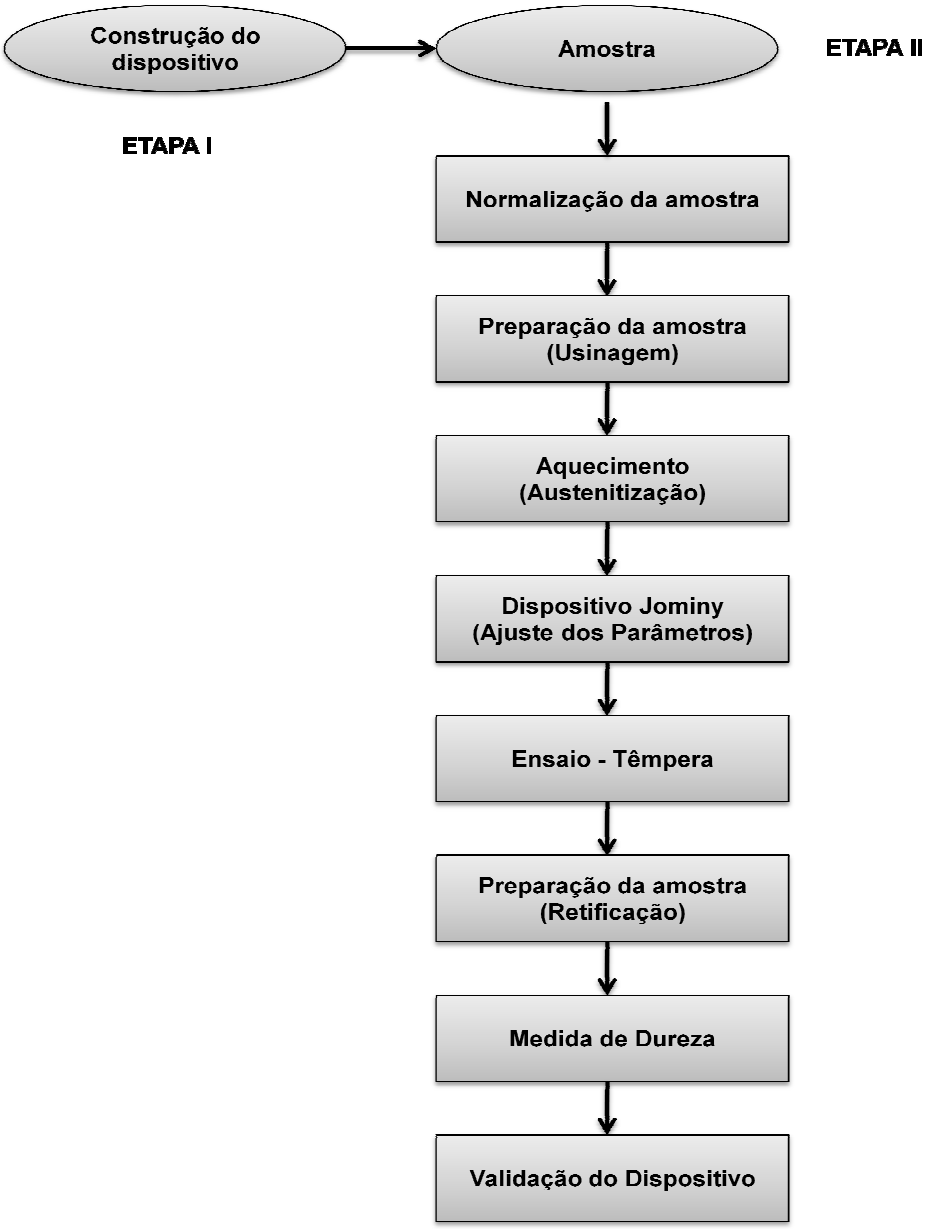
Para a execução dos ensaios utilizaram-se amostra de aço ABNT 1045 e os equipamentos que estão listados logo abaixo.

- Forno para o tratamento térmico de austenitização com Tmáx = 1200℃;
- Dispositivo Jominy para a têmpera;
- Torno convencional (solicitou-se usinagem de terceiros);
- Retificadora Plana (solicitou-se usinagem de terceiros);
- Durômetro portátil da marca PROCEQ, modelo EQUOTIP 3, com dispositivo de impacto D.

4.2 METODOLOGIA

A metodologia seguida para execução desse trabalho encontra-se resumidamente descrita através do fluxograma da figura 9.

Figura 9 - Procedimento Experimental.

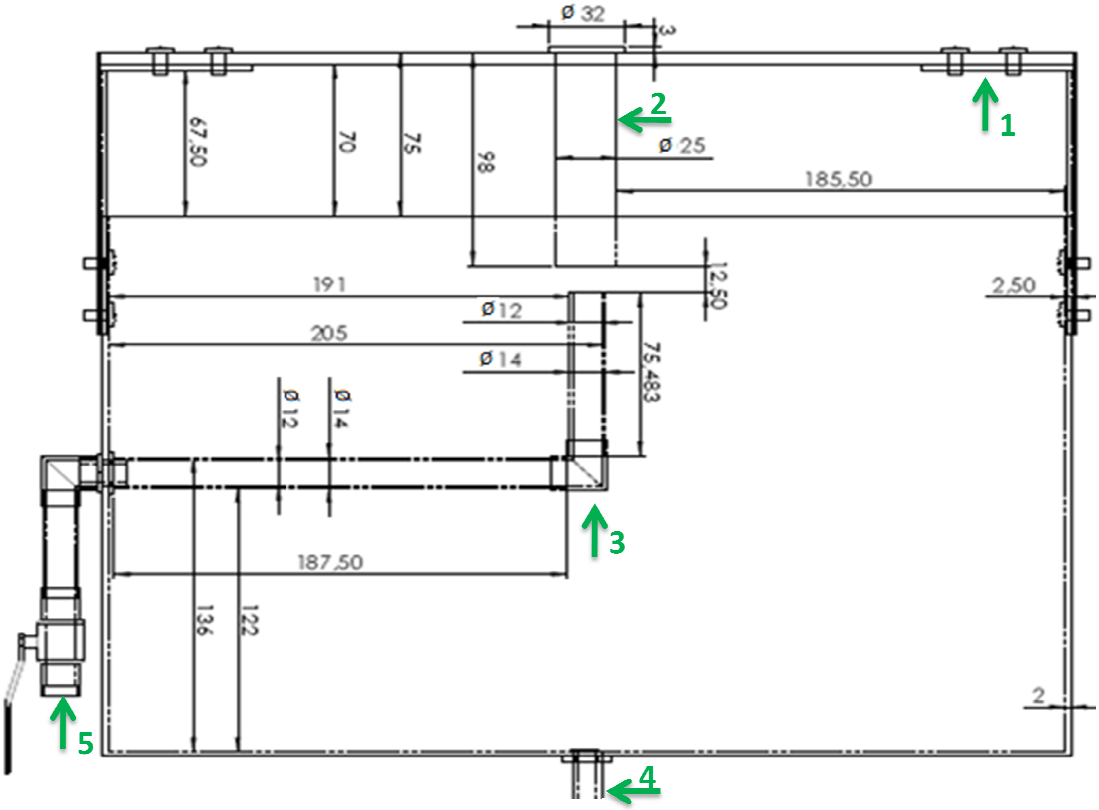


Fonte: O Autor.

4.2.1 Construção do dispositivo

O dispositivo Jominy foi projetado e construído segundo a Norma NBR 6339/89 da ABNT. A escolha de cada item do dispositivo, ainda na etapa do projeto, foi feita de forma a se ter um dispositivo eficiente, robusto e duradouro, que ficasse operacional por vários anos, sem a necessidade de manutenção frequente. A Figura 10 apresenta o detalhamento do dispositivo desenvolvido.

Figura 10 - Desenho do dispositivo, dimensões em milímetros.



Fonte: O Autor.
1 – Suporte do corpo de prova ajustado com parafusos; 2 – Corpo de prova suspenso pelo flange; 3 – Tubulação de alimentação de água; 4 – Abertura para o escape da água servida e 5 – Válvula de abertura de água.

4.2.1.1 Montagem e instalação do dispositivo

Inicialmente uma chapa de aço carbono de 4,76 mm de espessura foi curvada (calandrada) e posteriormente soldada na lateral e no fundo obtendo uma forma cilíndrica (25 altura x 40 diâmetro), conforme a Figura 11.

Figura 11 - Dispositivo Jominy em construção.

Fonte: O Autor.

O dispositivo foi projetado com o objetivo de ensaiar corpos de prova do tipo convencional (Ø 25,4 mm x 101 mm) e reduzido (Ø 19 mm x 101 mm), diâmetro e comprimento, respectivamente. Para isso, fabricaram-se duas peças (suporte do corpo de prova). No centro de cada uma dessas peças foi feito um furo com diâmetro de acordo com o diâmetro de cada corpo de prova a ser usado nos ensaios. Essas peças são facilmente ajustadas ao dispositivo com parafusos que fazem a sua fixação, conforme Figura a 12.

Para a tubulação de alimentação de água do dispositivo usou-se um tubo galvanizado com diâmetro de ¾ de polegada ligeiramente soldado em uma de suas extremidades a um joelho em aço galvanizado com orifício de saída de água de 12,5 mm de diâmetro, interior do dispositivo, e a outra extremidade acoplada a dois registros de abertura de água, parte externa do dispositivo. Esses registros foram usados com o objetivo de controlar a coluna de água, assegurar uma vazão constante e dá uma aplicação instantânea do jato de água.

Figura 12 - Dispositivo construído.

Fonte: O Autor.

1 – Registro que dá a aplicação instantânea do jato de água; 2 – Registro que controla a altura da coluna de água; 3 – Mangueira para o escape da água servida; 4 – Quadripé para apoio do dispositivo; 5 – Suporte para o corpo de prova.

Na parte inferior do dispositivo foi feito um furo onde foi acoplada uma mangueira para o escape da água servida no ensaio.

Para garantir o equilíbrio do dispositivo e facilitar a realização dos ensaios foi feito um quadripé com 0,90 metros de altura (altura da bancada do laboratório), este possuindo duas alças para auxiliar a condução do dispositivo.

Na construção do dispositivo Jominy, um dos detalhes mais importantes de ajuste, está relacionado ao alinhamento do corpo de prova ao jato de água que fará o seu resfriamento. Por norma, o dispositivo deve manter o corpo de prova suspenso pelo flange e bem centrado em relação ao tubo onde sairá a água para a tempera.

Na Figura 13 tem-se o dispositivo Jominy em algumas de suas fases de instalação no laboratório de Solidificação e Tratamento térmico da UFPA (Universidade Federal do Pará).

Figura 13 - Instalação do dispositivo em laboratório: (a e b) Ajuste da tubulação; (c e d) Teste do dispositivo; (e) Dispositivo instalado.

Fonte: O Autor.

4.2.2 Custo do dispositivo e acessórios

Na tabela 1 tem-se a relação de preços dos materiais utilizados para a fabricação do dispositivo e execução do ensaio.

Tabela 1 - Custo do dispositivo e acessórios.

Quantidade	Item	Valor Unitário		Valor Total	
1	Dispositivo Jominy	R$	400,00	R$	400,00
1	Barra de aço 1045	R$	47,94	R$	47,94
3	Usinagem do C. P	R$	25,00	R$	75,00
2	Retificação do C. P	R$	12,50	R$	25,00
1	Registro com alavanca	R$	10,90	R$	10,90

Fonte: O Autor.

4.2.3 Preparações das amostras

O aço utilizado para a confecção dos corpos de prova foi o ABNT 1045 (média temperabilidade). A composição química esperada para tal aço é dada conforme a tabela 2.

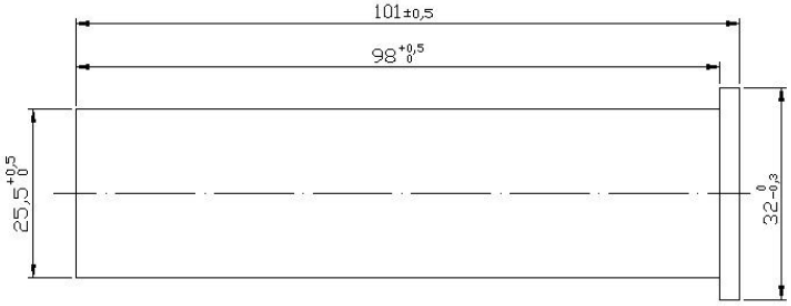
Tabela 2 - Composição química do aço ABNT 1045.

	COMPOSIÇÃO QUÍMICA							
	C	**Mn**	**P**	**S**	**Si**	**Ni**	**Cr**	**Mo**
ABNT 1045	0,43/0,50	0,60/0,90	0,04	0,05	-	-	-	-

Fonte: ABNT NBR NM 87/2000.

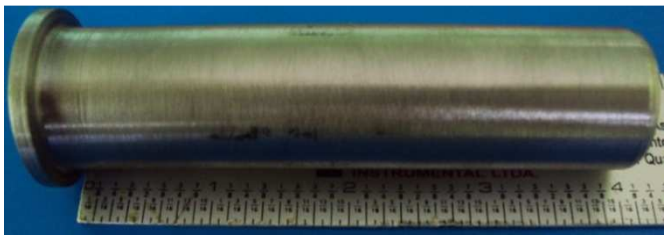
Em trinta centímetro de uma barra de aço ABNT 1045 fez-se um tratamento térmico de normalização, conforme temperatura especificada na Tabela 3. Usinou-se a partir desta, dois corpos de prova do tipo convencional para a realização do ensaio de temperabilidade. Na Figura 14 tem-se as dimensões seguidas e na Figura 15 o corpo de prova usinado.

Figura 14 - Desenho do corpo de prova (dimensões em milímetros).



Fonte: ABNT NBR 6339/89.

Figura 15 - Corpo de prova usinado.



Fonte: O Autor.

4.2.4 Ensaio

Uma vez que os corpos de prova foram usinados, seguiu-se o procedimento para o início do ensaio. Inicialmente um dos corpos de prova foi aquecido à temperatura de têmpera (Tabela 3). Após quatro horas do início do aquecimento, o forno atinge a temperatura de austenitização programada. Atingindo essa temperatura o corpo de prova permaneceu no forno por mais uma hora, esse tempo de permanência segue-se de acordo com o diâmetro do corpo de prova (25,5mm), conforme a Norma NBR 6339/89. Na Figura 16 tem-se o corpo de prova aquecido à temperatura de aproximada 845 ℃, pronto para o iní cio do ensaio Jominy.

Tabela 3 - Temperaturas de normalização e austenitização para têmpera dos aços com temperabilidade garantida.

Série "H"	Composição (%C)	Temperatura de austenitização (°C) para normalização (A)	Temperatura de austenitização (°C) para a têmpera (A)
10XX-13XX-15XX 32XX-41XX-43XX 51XX-61XX (B) 86XX-87XX	C≤0,25	925	925
	0,25<C<0,36	900	870
	C≥0,36	870	845
48XX (C) 92XX	C≤0,25	925	845
	0,25<C≤0,36	900	815
	0,36<C<0,50	870	800
	C>0,50	900	870

Fonte: ABNT NBR 6339/89.

Figura 16 - Corpo de prova austenitizado à temperatura de 845 ℃.

Fonte: O Autor.

Decorrido o tempo para a completa austenitização (uma hora), o corpo de prova foi então retirado do forno e resfriado com um jato de água em sua extremidade (no dispositivo construído) durante dez minutos, e em seguida completou-se o resfriamento até a temperatura ambiente (ao ar ou em água, de acordo com o prescrito por norma). O tempo de retirada do corpo de prova do forno e início da têmpera pela água foi no máximo de 5 segundos. Foi feito o mesmo

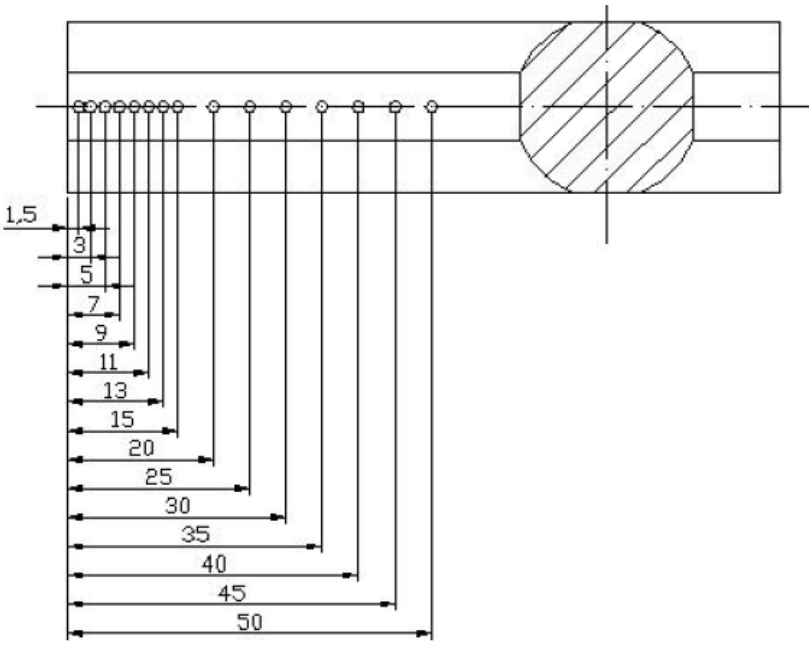
procedimento para o outro corpo de prova. Na Figura 17 tem-se um corpo de prova nos primeiros segundos do ensaio.

Figura 17 - Corpo de prova nos primeiro instantes do ensaio.

Fonte: O Autor.

Na seqüência retificaram-se os planos necessários, conforme apresentado na Figura 18, para a medição dos níveis de dureza com profundidades entre 0,5 e 0,9 mm nos dois corpos de prova.

Figura 18 - Corpo de prova retificado e posição de medição ao longo do seu comprimento a partir da extremidade temperada, dimensões em mm.



Fonte: ABNT NBR 6339/89.

4.2.5 Análise dos níveis de dureza

As medidas dos níveis de dureza foram feitos ao longo do comprimento dos dois corpos de prova com um durômetro portátil de marca PROCEQ, modelo EQUOTIP 3, conforme mostrado na figura 19.

Figura 19 – Durômetro portátil utilizado para medir os níveis de dureza dos corpos de prova.

Fonte: Sinobrás, 2012.

Foram realizadas duas medições de dureza em cada parte retificada dos corpos de prova, ou seja, quatro medições. Na tabela a seguir são dadas as médias de dureza obtidas em cada distância dos dois corpos de prova para cada medição.

Tabela 4 - Média das durezas obtidas em cada ponto dos corpos de prova.

DISTÂNCIA (mm)	DUREZA PEÇA (HRC)		
	1° MÉDIA	2° MÉDIA	MÉDIA GERAL
1,5	50,9	50,4	50,65
3	47,6	48,2	47,9
5	44,1	45,4	44,75
7	37	37,8	37,4
9	33,7	32,9	33,3
11	32,8	32,1	32,45
13	29,1	28,7	28,9
15	27,3	27,6	27,45
20	25,8	26,2	26
25	24,2	23,9	24,05
30	_	_	_
35	_	_	_
40	_	_	_
45	_	_	_
50	_	_	_

Fonte: Sinobrás, 2012.

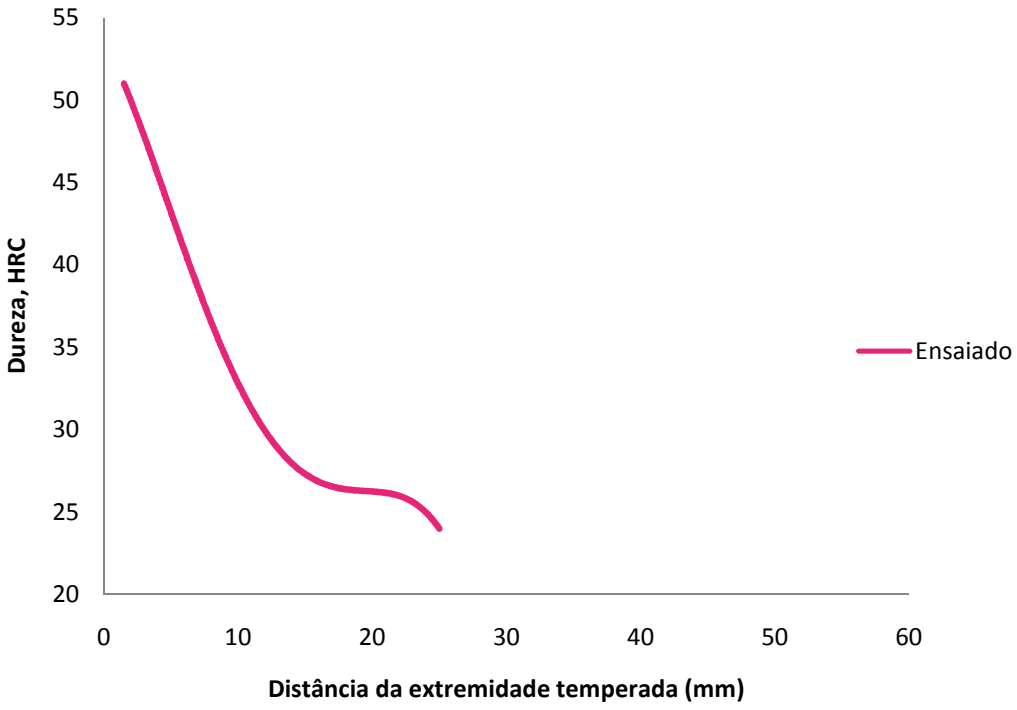
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois de realizado o ensaio previsto para o levantamento da curva de temperabilidade Jominy para o aço selecionado, partiu-se para a avaliação do resultado obtido.

5.1 CURVA DE TEMPERABILIDADE OBTIDA NO ENSAIO

Como resultado dos ensaios realizados, obteve-se a curva de temperabilidade do aço relacionado para a produção deste trabalho. A partir dos dois corpos de prova ensaiados, geraram-se através da média dos resultados, a curva de temperabilidade mostrada na Figura 20, tendo como orientação, as posições de medição de dureza definidos pela Norma NBR 6339/89.

Figura 20 - Curva de dureza versus distância obtida no ensaio de temperabilidade Jominy para o aço ABNT 1045.

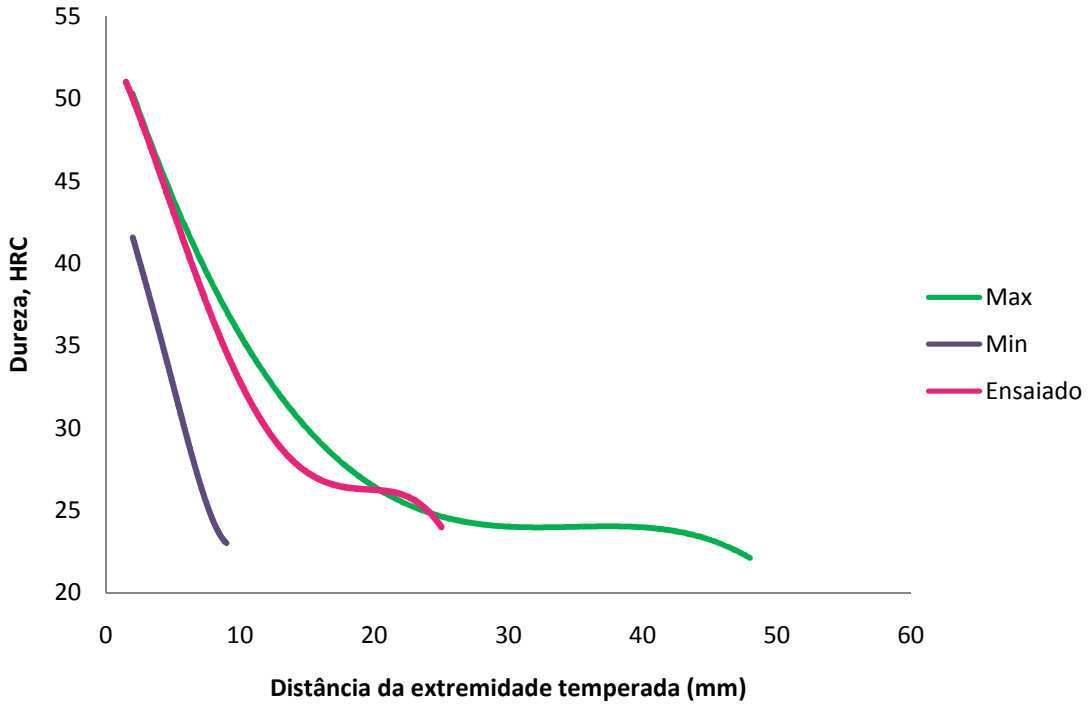


Fonte: O Autor.

Com o objetivo de comparar o resultado obtido experimentalmente com o publicado por outras fontes, partiu-se para pesquisas de dados, associando-se valores máximos e mínimos de temperabilidade do aço estudado. A partir das

informações contidas na literatura (COSTA E MEI, 2006), traçou-se o gráfico mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Faixa de temperabilidade da literatura versus dados obtidos no ensaio para um aço ABNT 1045.



Fonte: O Autor.

O gráfico acima indica que a amostra de aço ABNT 1045 ensaiada apresentou valores de dureza dentro das faixas de temperabilidade publicadas na literatura, com valores de dureza muito próximos aos limites máximos.

6 CONCLUSÃO

A partir das investigações constatadas na amostra de aço ABNT 1045 através do ensaio Jominy (no dispositivo construído) e da análise de dureza dos corpos de prova, observou-se que os resultados de dureza obtidos estão dentro das faixas de valores permissíveis quando comparados com os publicados na literatura, onde são levados em considerações os valores máximos e mínimos de dureza aceitáveis para tal aço, logo o dispositivo construído realizou seu propósito com êxito, estando, portanto aferido.

A proposta de construir um dispositivo para realizar ensaios de temperabilidade Jominy em aços foi executada com sucesso. O dispositivo construído terá grande importância à universidade, visto que o mesmo já se encontra instalado no laboratório de solidificação e tratamento térmico da UFPA possibilitando à comunidade acadêmica uma complementação prática e uma consolidação das teorias aplicadas nas disciplinas de tratamento térmico, contribuindo também para a realização de trabalhos de pesquisas.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando que esta linha de trabalho de determinação de temperabilidade Jominy sofrerá continuidade, sugere-se fazer um estudo da composição química dos aços antes de se realizar o ensaio Jominy, com finalidade de verificar se o mesmo corresponde à faixa de elementos químicos designados por norma.

Em uma próxima etapa de trabalho pode-se diversificar os materiais a ser utilizado nos ensaios, aumentar o número de corpos de prova a ensaiar e determinar os parâmetros de revenimento para cada material.

Sugere-se também fazer um estudo do efeito da composição química sobre a dimensão da estrutura martensítica formada ao longo do corpo de prova.

8 REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 87. **Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química.** ABNT, 2000.

ASKELAND, D. R. **The science and engineering of materials,** 3ª Edição, Cap. 12, p. 331 – 381, 1984.

AMERICAN society for metals. **Metals Handbook.** 9ª Edição. ASM, Metals Park, 1990.

BORTOLETO, E. M. **Modelamento numérico-computacional das transformações de fase nos tratamentos térmicos de aços.** Originalmente apresentado como dissertação de mestrado**,** Escola Politécnica da Universidade de São Carlos, 2010.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução***.* 5ª Edição, LTC, São Paulo, 2002.

CANALE, L. **Temperabilidade.** Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. **Materiais didáticos relacionados à disciplina de materiais.** Disponível em: http://www.cimm.com.br. Acesso em março 2012.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica.** 2ª Edição, São Paulo, 1986.

CHUEN, S. L. K. **Estimativa da temperabilidade do aço SAE 8620 a partir da composição química e do tamanho de grão austenítico**. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado**,** Escola de Engenharia da UFMG, 1979.

COSTA, A. L. V. C; MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais.** Segunda Edição, Editora Blucher. São Paulo, 2006.

COLPAERT, P. H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns.** Quarta Edição. Revisão Técnica: André da Costa e Silva. Editora Blucher. São Paulo, Brasil. 2008.

GROSSMANN, M. A. & BAIN, E. C. Templabilidad. In: GROSSMANN, M. A., BAIN, E. C. **Princípios de tratamento térmico.** 1st ed. Madrid: Editorial Blume, 1972. Cap. IV, pp. 77-126.

HÖMBERG, D. **A numerical simulation of the Jominy end-quench test.** Acta mater, v. 44, nº 11, 1996, p. 4375-4385.

KRAUSS [2005]. **Steels:** Processing, Structure and Performance**.** Second Edition. ASM International, 2005.

KRAUSS, G. Hardness and Hardenability. In: KRAUSS, G. **Steels:** Heat treatment and processing principles. 2nd ed. Ohio: ASM International, 1990. Chap. 6, pp. 145-178.

LARSSON, M., JANSSON, B., BLOM, R and MELANDER, A. **Influence of austenitizing and quenching temperature on jominy hardenability of a case hardening and a boron steel**. Scandinavian Journal of Metallurgy, 19 (1990) 51-63.

MELLOY, G. F. **Factors affecting hardness and hardenability.** ASM, Metals Park, Ohio, 1977b.

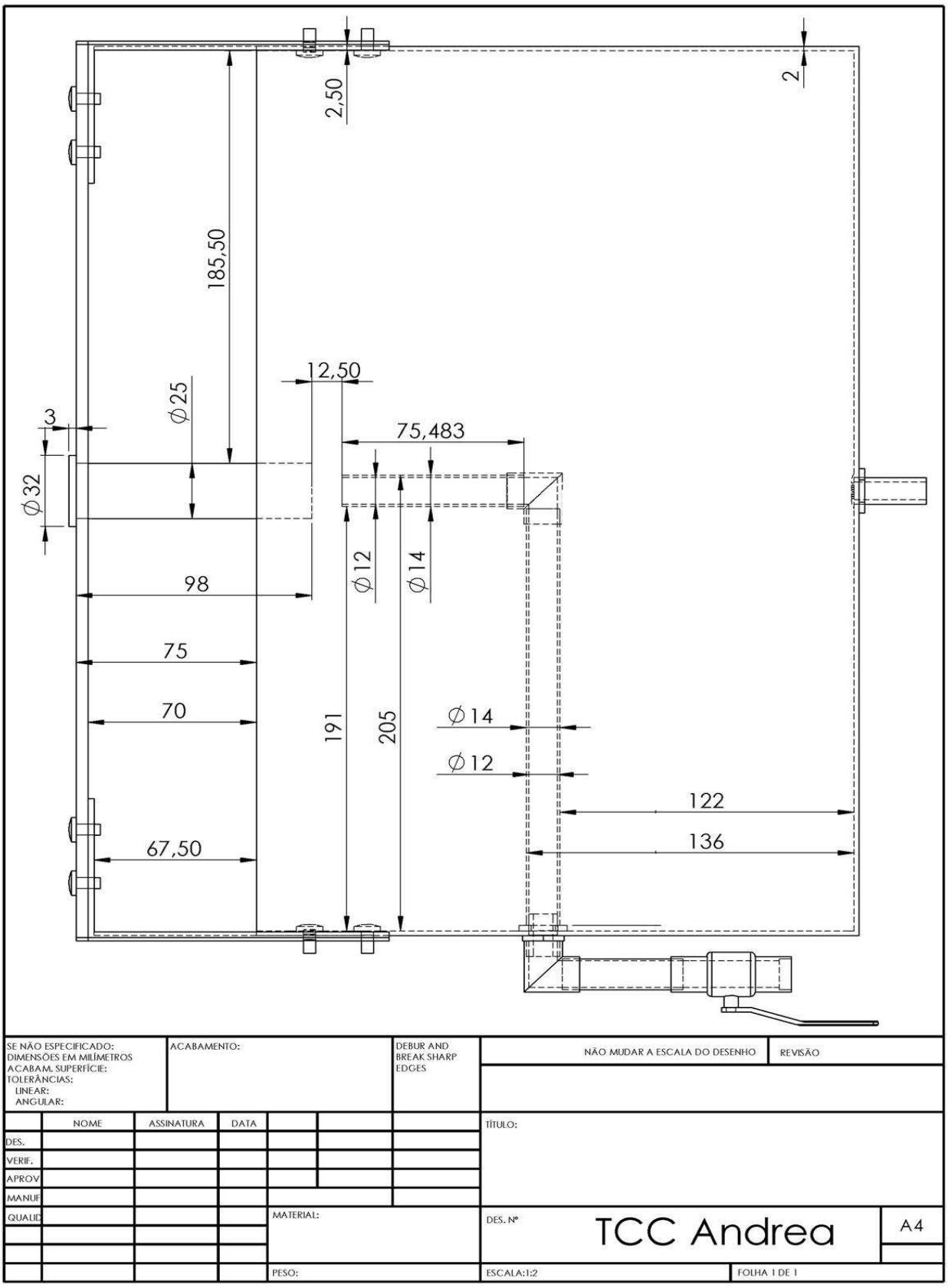
REED-HILL, R. E. & ABBASCHIAN, R. The Hardening of Steel. In: REED-HILL, R. E., ABBASCHIAN, R. **Physical metallurgy principles.** 3rd. ed. Boston: PWS Publishing Company, 1994. Chapter 19, p. 632-687.

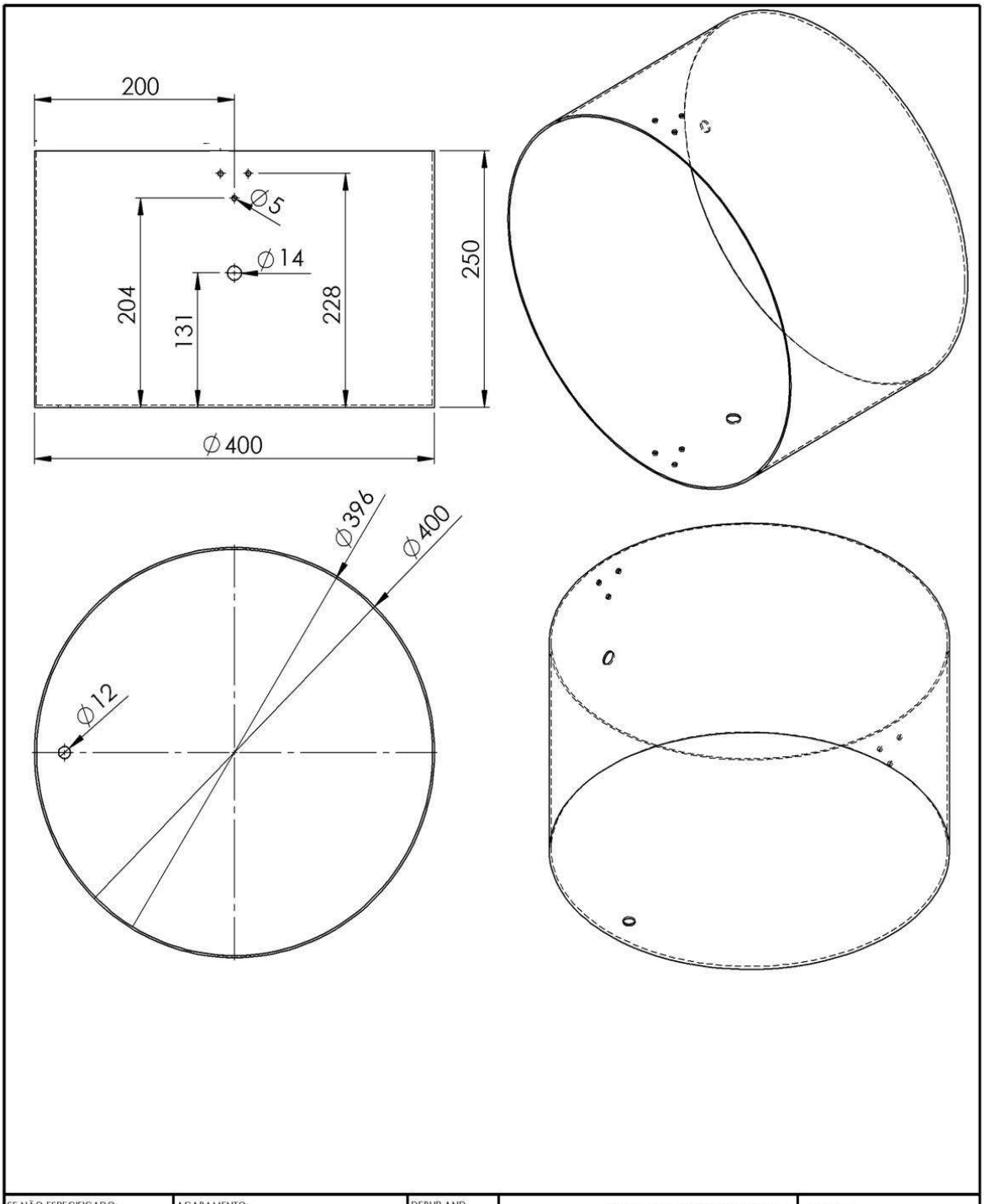
SIEBERT, C. A., DOANE, D. V., AND BREEN, D. H. **The Hardenability of Steels:** Concepts, Metallurgical Influences and Industrial Applications. ASM, Metals Park, Ohio, 1977. 218p.

SINOBRÁS - Siderúrgica Norte Brasil S.A. Marabá, 2012.

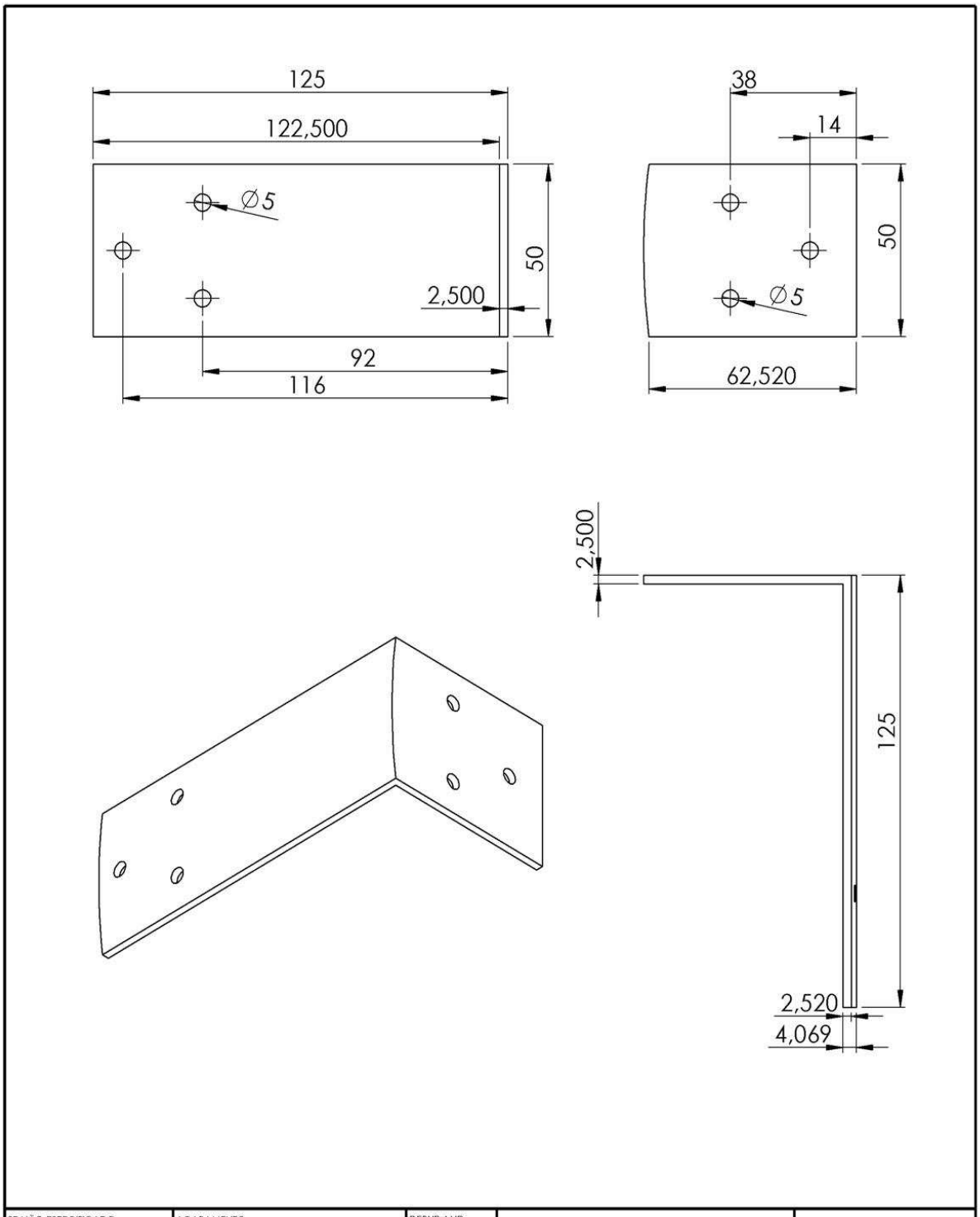
UNTERWIESER, P. M.; HOWARD E. B., JAMES J. K, **Heat Treaters Guide:** Standard Practices and procedures for Steel, ASM International, ISBN 0-87170-141-3, 493 Pages, 1982.

APÊNDICE A - Projeto do dispositivo

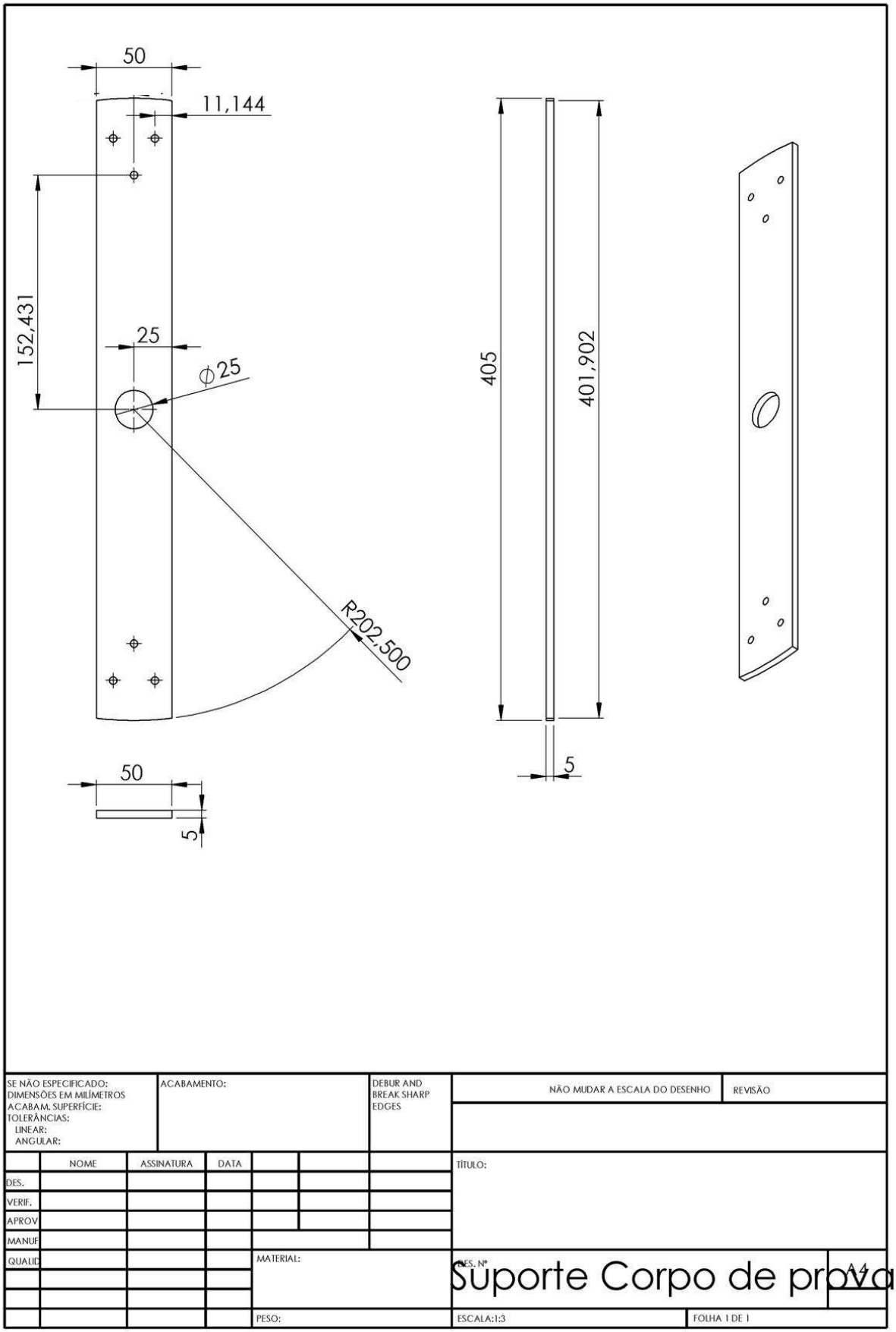


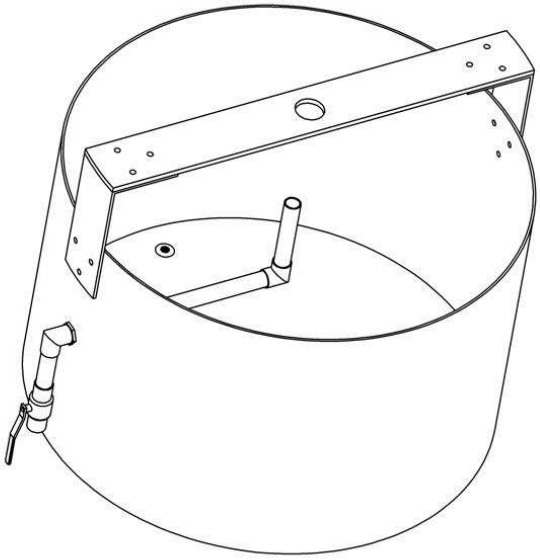


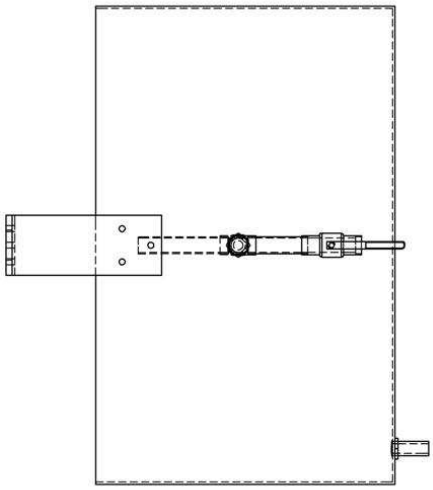
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:	ACABAMENTO:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
	NOME	ASSINATURA	DATA		TÍTULO:	
DES.						
VERIF.						
APROV						
MANUF						
QUALID				MATERIAL:	DES. Nº	A4
					Tambor	
				PESO:	ESCALA:1:5	FOLHA 1 DE 1

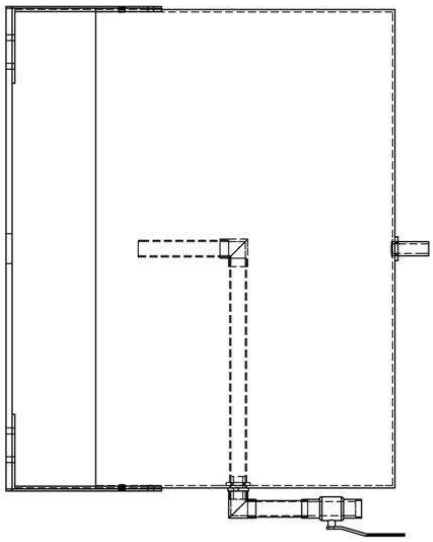


SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:	ACABAMENTO:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
	NOME	ASSINATURA	DATA		TÍTULO:	
DES.						
VERIF.						
APROV						
MANUF						
QUALID				MATERIAL:	DES. Nº Suporte Lateral	A4
				PESO:	ESCALA:2:3	FOLHA 1 DE 1


50
11,144
152,431
25
⌀25
R202,500
50
5
405
401,902
5
SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR:
ANGULAR:
ACABAMENTO:
DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES
NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO
REVISÃO
NOME
ASSINATURA
DATA
DES.
VERIF.
APROV
MANUF
QUALID
TÍTULO:
MATERIAL:
DES. Nº
Suporte Corpo de prova
A4
PESO:
ESCALA:1:3
FOLHA 1 DE 1







SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:	ACABAMENTO:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
	NOME	ASSINATURA	DATA		TÍTULO:	
DES.						
VERIF.						
APROV						
MANUF						
QUALID				MATERIAL:	DES. Nº MontagemAndrea	A4
				PESO:	ESCALA:1:5	FOLHA 1 DE 1

APÊNDICE B - Procedimento para a realização do ensaio

A seguir tem-se detalhado todos os passos a serem seguidos para a realização do ensaio Jominy segundo a Norma NBR 6339/89 da ABNT.

AMOSTRA

1. Escolha da amostra (aço);
2. Normalização da amostra conforme tabela 1.

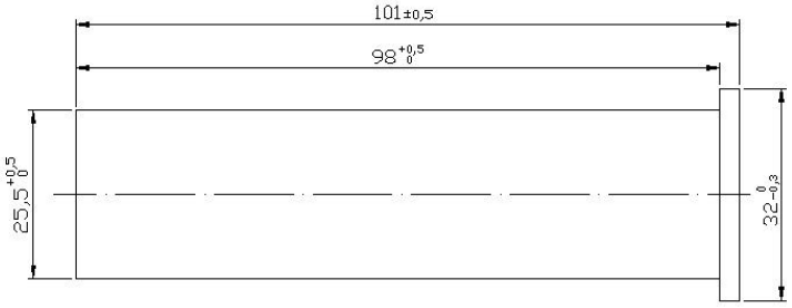
Tabela 1- Temperaturas de normalização e austenitização para têmpera dos aços com temperabilidade garantida.

Série "H"	Composição (%C)	Temperatura de austenitização (°C) para normalização (A)	Temperatura de austenitização (°C) para a têmpera (A)
10XX-13XX-15XX 32XX-41XX-43XX 51XX-61XX (B) 86XX-87XX	C≤0,25	925	925
	0,25<C<0,36	900	870
	C≥0,36	870	845
48XX (C) 92XX	C≤0,25	925	845
	0,25<C≤0,36	900	815
	0,36<C<0,50	870	800
	C>0,50	900	870

Fonte: ABNT NBR 6339/89.

3. Usinagem do corpo de prova, conforme dimensões especificadas na figura 1.

Figura 1 - Desenho do corpo de prova (dimensões em milímetros).



Fonte: ABNT NBR 6339/89.

AQUECIMENTO

4. Aquecimento do corpo de prova. A temperatura de austenitização para cada designação de aço e dada conforme Tabela 1 já mencionada.

Obs: Evitar qualquer carbonetação ou descarbonetação do corpo de prova.

5. Ao atingir a temperatura de austenitização programada, o corpo de prova deverá permanecer por mais 1h no forno.

REGULAGEM DO DISPOSITIVO

6. Regular a altura da coluna livre de água, deve ser 65 mm, através dos dois registros situados na lateral do dispositivo. O primeiro regula a altura da coluna de água e o segundo dá a aplicação instantânea do jato de água.
7. Verificar se o corpo de prova está concêntrico em relação à tubulação de saída de água.

RESFRIAMENTO PARA TÊMPERA DO CORPO DE PROVA

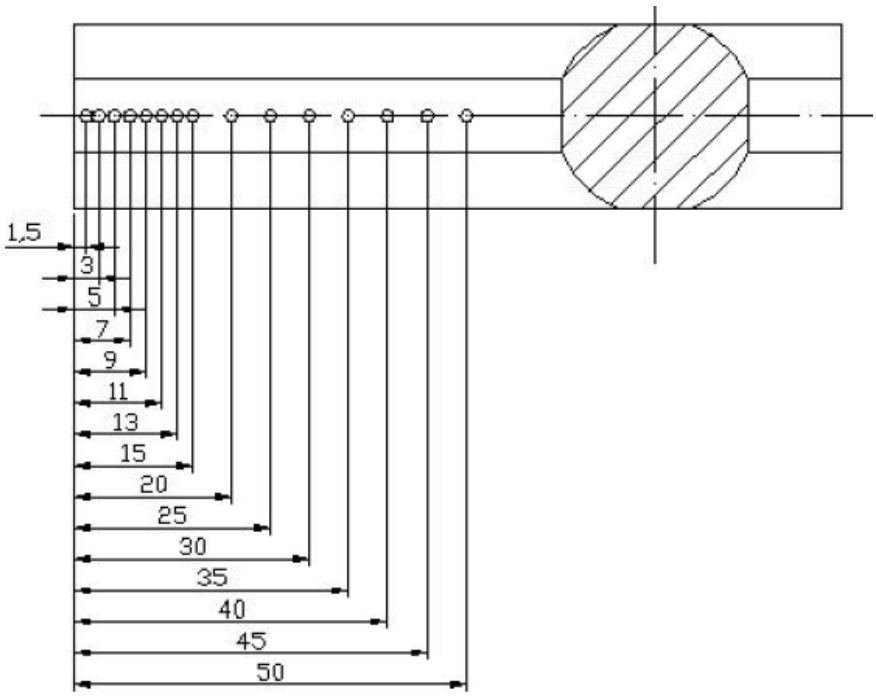
8. Proceder como segue:
   - ✓ O período de tempo entre a retirada do corpo de prova do forno e início de têmpera pela água deve ser no máximo de 5 seg;
   - ✓ Retirar o corpo de prova do forno e colocá-lo no dispositivo Jominy que deve estar seco;
   - ✓ Evitar agitação do ambiente em torno do corpo de prova durante a têmpera;
   - ✓ Deixa a água aplicada à superfície de têmpera do corpo de prova fluir durante 10 min;
   - ✓ Decorrido o período de tempo previsto, dar por encerrada a têmpera, podendo então o corpo de prova ser mergulhado em água ou deixado ao ar até atingir a temperatura ambiente.

DETERMINAÇÃO DA DUREZA

9. Retificar em todo seu comprimento o corpo de prova temperado, segundo duas superfícies paralelas a uma profundidade entre 0,5 e 0,9 mm. Depois de

retificado o corpo de prova medir dureza a partir da superfície temperada com intervalos em milímetros conforme Figura 2.

Figura 2 - Corpo de prova retificado e posição de medição ao longo do seu comprimento a partir da extremidade temperada, dimensões em mm.



Fonte: ABNT NBR 6339/89.

10. Utilizar durômetro em escala Rockwell C.
11. Gerar a curva de temperabilidade e comparar com a já existente na literatura para o aço em estudo.