

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA – COMEC
ENGENHARIA MECÂNICA**

CARLOS EDUARDO DA CUNHA

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE APARATO JOMINY,
SEGUNDO NORMA ASTM A255-02**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2017

CARLOS EDUARDO DA CUNHA

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE APARATO JOMINY,
SEGUNDO NORMA ASTM A255-02**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Coordenação de Mecânica – COMEC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Ma. Sandra Mara Kaminski Tramontin

PONTA GROSSA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE APARATO JOMINY, SEGUNDO
NORMA ASTM A255-02**

por

CARLOS EDUARDO DA CUNHA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 22 de maio de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Ma. Sandra Mara Kaminski Tramontin
Orientadora

Prof. Dr. Luciano Augusto Lourençato
Membro Titular

Prof. Dr. Anderson Geraldo Pukasiewicz
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi muito importante não só pelo que representa na minha formação acadêmica, como também futuramente profissional e, com certeza só foi possível graças a muitas pessoas que contribuíram para que tudo acontecesse, sem as quais eu não poderia deixar de registrar aqui minha gratidão.

Agradeço a Deus por ter chegado até aqui e poder realizar com sucesso este projeto.

Agradeço a minha orientadora professora Sandra Mara Kaminski Tramontin que em todas as etapas esteve presente e dedicou seu conhecimento para a realização deste projeto.

Gostaria também de deixar o meu agradecimento aos professores da UTFPR-PG Davi Fusão, Luciano Augusto Lourençato e também ao Eriel Biagini Sabino que contribuíram com o processo de construção do aparato, disponibilizando seu tempo e conhecimento.

Agradeço em especial aos meus pais José Carlos da Cunha e Luzia Aparecida da Cunha que juntamente com as minhas irmãs Camila e Sidineia sempre me deram total apoio e incentivo. Também deixo meu agradecimento aos meus amigos e todas as pessoas que foram importantes durante minha graduação.

EPÍGRAFE

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin.

RESUMO

CUNHA, Carlos Eduardo da. **Projeto, Construção e Validação de Aparato Jominy, Segundo Norma ASTM A255-02**. 2017. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Este trabalho teve o objetivo de projetar e construir um equipamento de ensaio Jominy. O ensaio Jominy tem a finalidade de determinar a temperabilidade dos materiais. Para tanto, foi feito inicialmente todo um levantamento de dados sobre o conceito de temperabilidade, desde as microestruturas do aço, até o ensaio Jominy. Em seguida realizou-se o dimensionamento e construção do aparato, levando-se em consideração materiais e facilidade de construção. Para validar o projeto necessitou-se de testes que geram curvas de temperabilidade que condizem com dados literários já existentes. Portanto, após a construção realizou-se o ensaio com o equipamento, seguido da medição de dureza dos corpos de prova e comparação das curvas de temperabilidade geradas com dados presentes na literatura para assim validar o equipamento construído. Assim sendo, o aparato de ensaio Jominy construído possibilitou a obtenção de dados condizentes com a literatura, o que permitiu validá-lo.

Palavras-chave: Ensaio Jominy, Temperabilidade, Aço, Martensita.

ABSTRACT

CUNHA, Carlos Eduardo da. **Design, Construction and Validation of Jominy Apparatus, According to ASTM A255-02**. 2017. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

This work aimed to design and build a Jominy test equipment. The Jominy test is intended to determine the temperability of the materials. To do so, it was initially done a survey of data on the concept of temperability, from the steel microstructures to the Jominy test. Next, the sizing and construction of the apparatus was carried out, taking into account materials and ease of construction. To validate the project we needed tests that generate temperature curves that match existing literary data. Therefore, after the construction, the test was carried out with the equipment, followed by the measurement of hardness of the specimens and comparison of the temperature curves generated with data present in the literature to validate the built equipment. Thus, the Jominy test apparatus constructed allowed the obtaining of data consistent with the literature, which allowed to validate it.

Keywords: Jominy test, Hardenability, Steel, Martensite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de equilíbrio ferro-carbeto de ferro.	17
Figura 2 - Fotomicrografia da austenita (ampliação de 325X).....	19
Figura 3 - Fotomicrografia da ferrita (ampliação de 90X).	19
Figura 4 - Representação do diagrama TTT de um aço eutetóide.	21
Figura 5 - Representação esquemática da transformação martensítica.	22
Figura 6 - Fotomicrografia da martensita ampliada 1220X.....	23
Figura 7 - Diagrama de transformação para resfriamento contínuo.	24
Figura 8 - Resfriamento contínuo e microestruturas formadas.....	24
Figura 9 - Curvas de distribuição de dureza em uma barra de 1,5/8” de diâmetro, mostrando o efeito dos elementos de liga Cr e Ni sobre a temperabilidade, em comparação com um aço carbono comum.....	27
Figura 10 - Faixa de endurecibilidade de aço SAE 1045.	29
Figura 11 - Curvas de endurecibilidade para quatro ligas da série 8600 contendo o teor de carbono indicado.	29
Figura 12 - Curvas de endurecibilidade para cinco ligas de aço diferentes, todas contendo 0,4%p C.....	30
Figura 13 - Dispositivo Jominy para determinação da endurecibilidade dos aços. ...	31
Figura 14 - Ensaio de dureza a partir da extremidade temperada ao longo de um chanfro plano e polido.	32
Figura 15 - Temperaturas de normalização e austenitização.....	32
Figura 16 - Modelo de suporte para teste e dimensões da amostra e do orifício de jato de água. (a) Dimensões em polegadas. (b) Dimensões em milímetros.	33
Figura 17 - Esboço do aparato Jominy no programa SolidWorks.	35
Figura 18 - Estrutura do aparato de ensaio Jominy desmontado.....	39
Figura 19 - Suporte para o corpo de prova.	39
Figura 20 - Apoio do suporte de corpo de prova.	40
Figura 21 - Sistema de alimentação de água.....	40
Figura 22 - Aparato de ensaio Jominy.....	41
Figura 23 - Aparato de ensaio Jominy (sistema completo).	42
Figura 24 - Válvulas de controle de altura da água.....	43
Figura 25 - Desenho do corpo de prova.....	44

Figura 26 - Usinagem dos corpos de prova. (a) Aço SAE 1045. (b) Aço SAE 4340.	44
Figura 27 - Corpos de prova usinados.	45
Figura 28 - Forno tipo mufla (processo de normalização).	46
Figura 29 - Corpos de prova após processo de normalização.	46
Figura 30 - Ensaio Jominy aço SAE 1045.	47
Figura 31 - Equipamento de ensaio de dureza (marca Pantec modelo RBS).	48
Figura 32 - Corpo de prova do aço SAE 4340 logo após a medição de dureza.	48
Figura 33 - Gráfico da curva de temperabilidade experimental do aço SAE 1045. ...	50
Figura 34 - Gráfico de comparação entre a curva de temperabilidade obtida na literatura e a experimental do aço SAE 1045.	51
Figura 35 - Gráfico da curva de temperabilidade experimental do aço SAE 4340. ...	54
Figura 36 - Gráfico de comparação entre a curva de temperabilidade obtida na literatura e a experimental do aço SAE 4340.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ligas de aço e seus elementos de liga.	30
Tabela 2 - Preços dos equipamentos.....	36
Tabela 3 - Valores totais de orçamento com as respectivas chapas.....	36
Tabela 4 - Orçamento dos materiais utilizados.	38
Tabela 5 - Materiais para o sistema de alimentação	43
Tabela 6 - Resultados do Ensaio de Dureza do Aço SAE 1045.....	49
Tabela 7 - Limites máximo e mínimo de dureza para o aço SAE 1045.....	50
Tabela 8 - Resultados do Ensaio de Dureza do Aço SAE 4340.....	52
Tabela 9 - Limites máximo e mínimo de dureza para o aço SAE 4340.....	53

LISTA DE SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CCC	Cúbica de Corpo Centrado
CFC	Cúbica de Face Centrado
HRC	Escala de dureza Rockwell C
ITT	Curva de transformação isotérmica
M _i	Início da transformação martensítica
M _f	Final da transformação martensítica
TCC	Tetragonal de Corpo Centrado
TTT	Diagrama Tempo, Temperatura e Transformação

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono
Fe ₃ C	Cementita
α	Ferrita
γ	Austenita
δ	Ferrita
Cr	Cromo
Ni	Níquel
Mo	Molibdênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 AÇO	16
2.1.1 Diagrama ferro-carbeto de ferro	16
2.1.2 Diagrama TTT (Temperatura, Tempo e Transformação).....	20
2.1.3 Martensita	22
2.1.4 Diagrama de transformação por resfriamento contínuo.....	23
2.2 TEMPERABILIDADE	25
2.2.1 Fatores que influenciam na temperabilidade	26
2.2.2 Curvas de temperabilidade	28
2.3 NORMALIZAÇÃO	30
2.4 ENSAIO JOMINY	31
2.4.1 Vantagens e desvantagens do ensaio Jominy.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 ANÁLISES DE EQUIPAMENTOS DE ENSAIOS JOMINY	35
3.2 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO APARATO JOMINY	37
3.2.1 Seleção de materiais	37
3.2.2 Construção do aparato de ensaio Jominy	38
3.2.3 Remodelamento do sistema	41
3.2.4 Corpo de prova	44
3.3 NORMALIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	45
3.4 ENSAIO JOMINY	46
3.5 ENSAIO DE DUREZA.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1 AÇO SAE 1045	49
4.2 AÇO SAE 4340	52
5 CONCLUSÕES	56
6 REFERÊNCIAS.....	57
ANEXO A – DESENHOS DO PROJETO	59

1 INTRODUÇÃO

O aço é encontrado em diversas áreas de aplicações, tais como: meios de transportes, estruturas, casas, prédios, ferramental agrícola, equipamentos tecnológicos, tubulações e máquinas em geral. Com uma área tão grande de utilização, se torna impossível visualizar um mundo sem o aço, visto que somos tão dependentes desse material que tornou possível muitas das evoluções tecnológicas no decorrer dos anos.

A combinação de porcentagens de carbono e elementos de liga que permitem obter aços de baixo, médio e alto teor de carbono, e também aços de baixa e alta liga possibilitam a utilização do aço em diversas áreas. Além disso, a microestrutura final alcançada dessas combinações somada ao seu resfriamento, irão determinar características exclusivas de um determinado aço. Características essas que vão determinar suas propriedades, como o grau de dureza do material, e que permitem saber para qual situação esse aço pode ser mais bem aproveitado.

Entre as microestruturas que são obtidas do aço está a martensita, sendo caracterizada como a que possui maior dureza dentre as demais. A martensita é obtida por meio de um resfriamento rápido, porém como o resfriamento não é uniforme ao longo de toda secção do material, pode ocorrer que um determinado aço analisado não seja totalmente martensítico ao longo de sua secção, e isso pode comprometer a utilização do mesmo dependendo do motivo para o qual ele foi designado.

Nesse contexto se torna importante conhecer toda a microestrutura do material ao longo da secção como uma maneira de prevenir falhas. E para o caso da formação de estrutura martensítica mede-se a temperabilidade do aço, ou seja, a capacidade de formar martensita de acordo com a profundidade do material.

A temperabilidade é obtida por meio de alguns tipos de ensaios, e dentre eles destaca-se o ensaio Jominy que será objeto de estudo do presente trabalho. O ensaio Jominy foi criado por Walter Jominy e consiste no aquecimento do aço com dimensões pré-determinadas até a temperatura de austenitização, e em seguida é feito seu resfriamento por meio de um jato de água controlado que será lançado em uma das extremidades do material. Finalmente são medidos valores de dureza ao longo do comprimento do corpo de prova. Esses valores geram curvas de dureza que são específicas de cada aço e que são de grande avaliação para obtenção de dados que

conforme já mencionado ajudam na delimitação do campo de utilização de um determinado aço.

Assim sendo, o principal foco do presente trabalho se caracteriza pelo projeto, construção de um aparato de ensaio Jominy e sua validação com ensaios que se provem coerentes. Portanto, será realizada uma busca de dados sobre o aparato Jominy, seu princípio de funcionamento, e por seguinte elaboração de um projeto para construção do mesmo. Por fim serão também analisados materiais e equipamentos para a execução da construção.

1.1 JUSTIFICATIVA

A construção do aparato contribuirá no âmbito acadêmico da UTFPR-PG para a realização de ensaios práticos, possibilitando fazer correlações entre dados já existentes na literatura de curvas de temperabilidade com os dados obtidos na prática. Também será útil para obtenção de novos dados de um determinado aço submetido ao ensaio, gerando mais fonte de informação na área em questão.

O conhecimento prévio da microestrutura, bem como seu grau de temperabilidade é importante do ponto de vista prático para seleção correta do aço que será empregado em um determinado meio. Toda via o fator temperabilidade pode ser influenciado por fatores como elementos de liga, e o conhecimento desta temperabilidade obtida por meio do equipamento de ensaio Jominy permitem levantamento de dados que possibilitem um dimensionamento de projeto mais adequado, evitando assim problemas futuros de falhas devido a um mau dimensionamento, como também problemas de custo através de um superdimensionamento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

- Projeto, construção e validação de aparato Jominy, segundo norma ASTM A255-02.

1.2.2 Objetivos específicos

- Pesquisa de materiais que possam ser utilizados para confecção do aparato;
- Realização de ensaios práticos;
- Validação através da comparação entre as curvas de temperabilidade obtidas experimentalmente com as curvas descritas na literatura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AÇO

O aço está presente em tudo ao nosso redor, sendo que sua facilidade de se combinar elementos de liga com porcentagens de carbono faz com que sua aplicabilidade seja imensa. Para tanto esse material importantíssimo no cenário global é composto em sua maior parte de ferro e carbono, com presença também de elementos de liga. A porcentagem de carbono varia de 0,008% alcançado a temperatura ambiente, até cerca de 2,11% que pode ser atingida sob a temperatura de 1148°C (CHIAVERINI, 1996).

Existem algumas maneiras de se classificar o aço, e para tanto Chiaverini (1996) considera dois tipos fundamentais de aço, sejam: aço-carbono ou liga de ferro carbono que possuem carbono variando de 0,008% até 2,11% e também elementos residuais incorporados devido ao processo de fabricação. Estes são subdivididos em aços de baixo, médio e alto teor de carbono; a outra definição é o aço liga ou aço-carbono que contém elementos de liga em quantidade acima do que é considerado comum, ou seja, adicionados intencionalmente para se conseguir uma propriedade específica. Estes são classificados em aços de baixo teor de liga e alto teor de liga.

Os aços também podem ser classificados em aços doces que possuem até 0,25% de carbono, aços meio duros com carbono variando de 0,25% até 0,50%, e ainda em aços duros com carbono acima de 0,50%. Os elementos de liga que são frequentemente usados nas ligas de aço são: níquel, cromo, manganês, silício, vanádio, tungstênio, molibdênio e nióbio. Já com relação às impurezas e elementos residuais: fósforo, enxofre, manganês, silício, nitrogênio, estanho, oxigênio e alumínio são os mais encontrados (STROHAECKER; FRAINER, 2003).

2.1.1 Diagrama ferro-carbeto de ferro

O diagrama ferro-carbeto de ferro permite compreender as estruturas do aço para determinadas temperaturas e porcentagens de carbono, variando de 0 a

6,7%, ou seja, de ferro puro a Fe_3C (cementita). Nesse intervalo existe a formação de outras fases obtidas por meio de um resfriamento lento, fases essas que podem ser vistas no diagrama representado na figura 1.

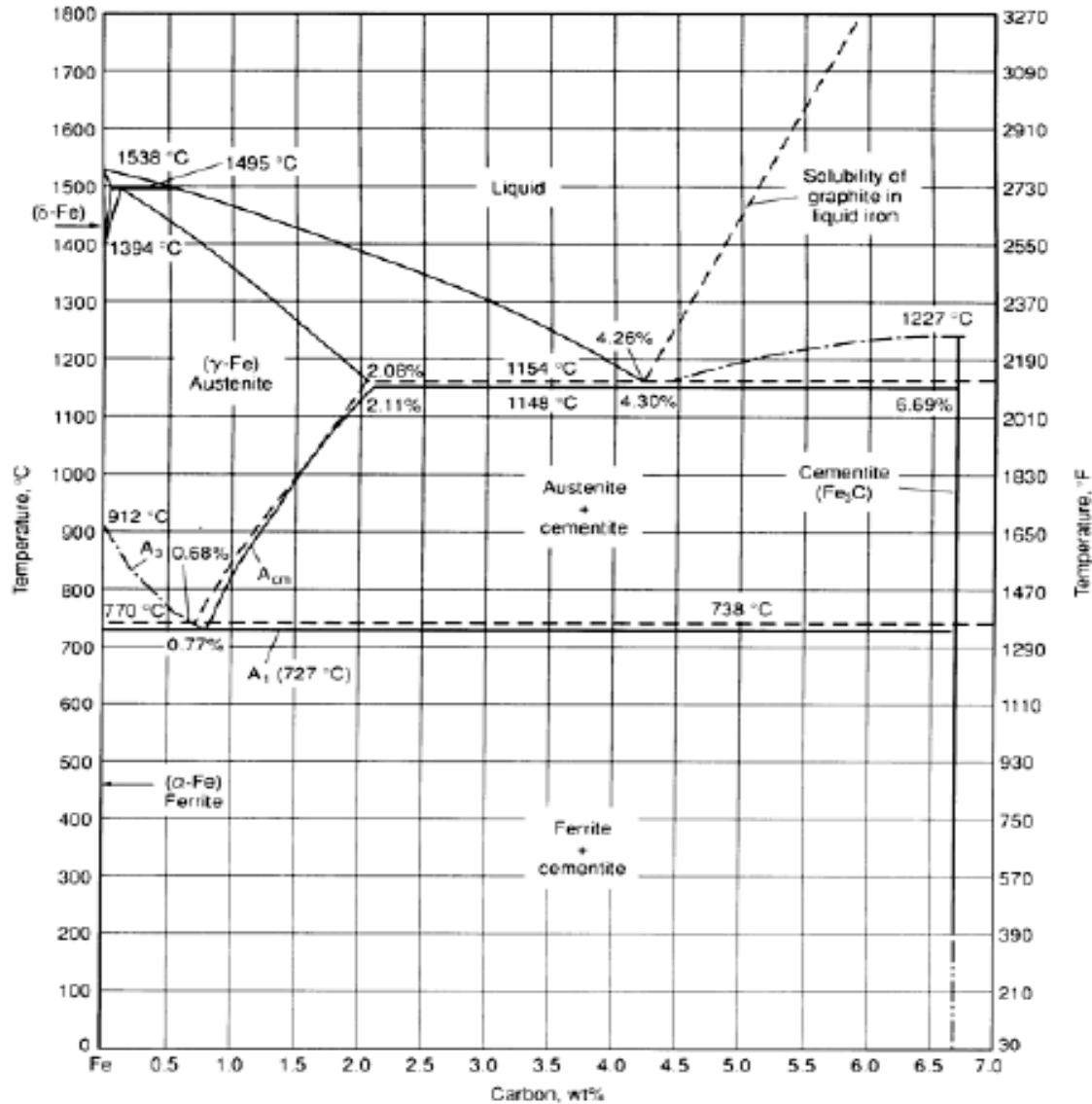


Figura 1 - Diagrama de equilíbrio ferro-carbeto de ferro.

Fonte: ASM Metals Handbook volume 4.

De um lado do diagrama tem-se ferro puro que possui solubilidade máxima de carbono de 0,008% a temperatura ambiente, na outra extremidade encontra-se o carboneto de ferro ou cementita com 6,7% de carbono. Um dos pontos importantes a se considerar do diagrama ferro-carbeto de ferro é o ponto eutetóide, no qual há 0,77% de carbono, e para tanto aços com essa quantidade de carbono são chamados de aços eutetóides. Se a quantidade de carbono for inferior, ou seja, de 0,008% até 0,77% os aços são chamados de hipoeutetóides, e se for acima até um valor máximo

de 2,11% são conhecidos como hipereutetóides. Finalmente valores de porcentagem de carbono acima de 2,11% representam um material conhecido como ferro fundido (SILVA; MEI, 1988).

No diagrama também podemos visualizar a linha Curie na faixa de temperatura de 770°C que indica mudança nas propriedades do ferro, e assim sendo abaixo dela o ferro é ferromagnético e acima paramagnético. Outros pontos importantes do diagrama que merecem atenção são as linhas solidus e liquidus, que são de simples compreensão. Entre as linhas coexistem fases sólida e líquida, e acima da linha liquidus só existirá fase líquida e abaixo da linha solidus a fase sólida estará predominante. Os valores para a mudança de estado dos compostos são diferentes, e variam de acordo com faixa de temperatura e porcentagem de carbono (SILVA; MEI, 1988).

Toda via é importante destacar as formas estáveis presentes no diagrama ferro-carbono, elas por sua vez são obtidas para algumas faixas de temperatura e porcentagens de carbono que podem ser mais bem compreendidas analisando o gráfico. Essas microestruturas possuem características específicas, e uma delas é o rearranjo dos átomos da estrutura. Assim sendo, destacam-se a ferrita ou ferro α presente desde a temperatura ambiente até 912°C, que por sua vez possui uma estrutura CCC (Cúbica de Corpo Centrado). Já acima da faixa de temperatura da ferrita e que se faz presente até 1394°C encontra-se a fase conhecida como ferro γ ou austenita. A austenita possui uma estrutura cristalina diferente da ferrita, a CFC (Cúbica de Face Centrada). No entanto há uma nova mudança de fase e de estrutura cristalina, dando origem a um composto conhecido como ferrita δ que possui estrutura CCC e está presente desde 1394 °C até o ponto de fusão a 1538°C (CALLISTER, 2008).

De acordo com Strohaecker e Frainer (2003) a solução de carbono no ferro é formada por solução sólida intersticial, ou seja, o carbono ocupa os espaços vazios deixados no arranjo atômico do ferro. Estes espaços são maiores ou menores dependendo da estrutura cristalina, sendo maiores em estruturas CFC do que em CCC.

Dessa forma, a solubilidade máxima de carbono tanto na ferrita, quanto na austenita é dependente da estrutura cristalina, de modo que a pouca solubilidade da ferrita se deve ao fato de a estrutura cristalina CCC apresentar espaços pequenos e alongados entre os átomos, o que dificulta o acomodamento de átomos de carbono,

visto que oferece certa resistência para que o mesmo ocupe os espaços vazios. No entanto, para a austenita a solubilidade é maior, e isso se deve ao fato de que a estrutura cristalina CFC possui maiores espaços entre os átomos, isto é, maiores interstícios, o que facilita a acomodação do carbono nos espaços vazios. Porém ainda assim ocorrem deformações na estrutura cristalina, já que os átomos de carbono são pouco maiores que os interstícios que irão ocupar (VAN VLACK, 2000).

As figuras 2 e 3 representam fotomicrografias da austenita e da ferrita.

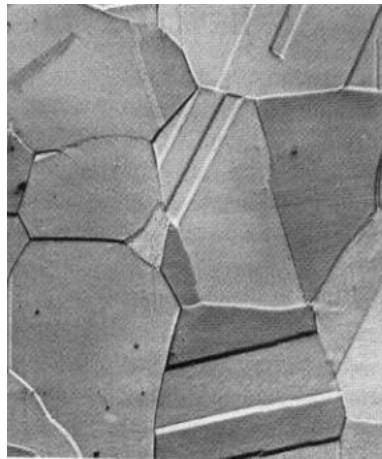


Figura 2 - Fotomicrografia da austenita (ampliação de 325X).
Fonte: Callister (2008).



Figura 3 - Fotomicrografia da ferrita (ampliação de 90X).
Fonte: Callister (2008).

Existe ainda a formação de uma nova microestrutura nas ligas de ferro-carbono. À medida que um aço se resfria ocorrem mudanças na microestrutura, conforme pode ser observado no diagrama. Ao atravessar a linha solidus ele é inteiramente solidificado apresentando uma forma alotrópica diferente conforme a concentração de carbono. Com a queda da temperatura abaixo de 727°C ocorre a

coexistência de ferrita e cementita, e, não há tempo destes elementos assumirem posições específicas que os diferencie, e assim eles encontram-se misturados devido a ocorrência de uma mudança brusca e repentina. Portanto, ocorre a formação de uma nova microestrutura conhecida por perlita, e, esta apresenta uma composição distribuída em lâminas delgadas das fases ferrita e cementita. Toda via, vale ressaltar que a presença da perlita está relacionada à porcentagem de carbono, de modo que, ferro comercialmente puro apresenta a forma estável ferrita; aços hipoeutetóides apresentam em sua composição ferrita e perlita; aços eutetóides, apresentam em sua composição somente perlita; e aços hipereutetóides são formados por perlita e cementita (CHIAVERINI, 1996).

2.1.2 Diagrama TTT (Temperatura, Tempo e Transformação)

As microestruturas que se formam no diagrama ferro-carbeto de ferro são obtidas mediante um resfriamento muito lento, porém se aumentarmos essa velocidade de resfriamento a partir da austenita através de um meio que possibilite uma maior dissipação de calor, isto é, resfriando mais rapidamente o material, por exemplo, em água, óleo ou qualquer outro meio, pode-se afinal obter outras microestruturas diferentes. Essas novas microestruturas são visualizadas no diagrama TTT (Temperatura, Tempo e Transformação) e possuem outras propriedades específicas aumentando a gama de aplicação para o aço, de acordo com a característica que se deseja para uma determinada aplicação (SILVA; MEI, 1988).

Conforme descrito anteriormente à medida que um aço eutetóide se resfria lentamente de austenita passando pela faixa de temperatura de 727°C , ele dará origem a uma estrutura com 100% de perlita. Entretanto, se aumentarmos essa velocidade de resfriamento surge uma nova microestrutura, conhecida como martensita. O controle da velocidade permite a coexistência de perlita e martensita, mas aumentando cada vez mais essa velocidade de resfriamento, chegará um ponto em que somente existirá martensita (CHIAVERINI, 1996).

O diagrama TTT representado na figura 4 torna possível verificar a formação não somente da martensita, como também de outras microestruturas que serão discutidas mais adiante.

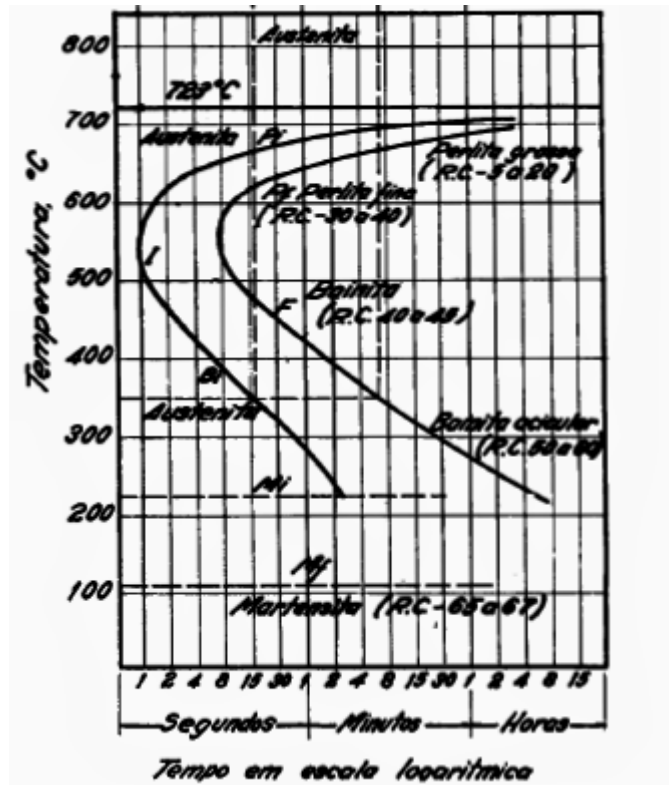


Figura 4 - Representação do diagrama TTT de um aço eutetóide.
Fonte: Chiaverini (1996).

Analisando o diagrama podem-se perceber as diferentes microestruturas que se formam de acordo com a temperatura e a variação da velocidade de resfriamento. Assim sendo, a ordem de resfriamento mais lento ao mais rápido dá origem a perlita grossa, depois perlita fina, bainita e martensita. De acordo com Chiaverini (1996) podemos tirar as seguintes conclusões:

- Um pouco abaixo da temperatura de 727°C por meio de um resfriamento lento forma-se a perlita grossa, e, essa por sua vez possui o menor valor de dureza entre os outros micro constituintes de 5 a 20 Rockwell C;

- Na faixa de 550°C, forma-se uma perlita de granulação mais fina, que apresenta um valor de dureza pouco maior que a perlita grossa. Sua dureza vai de 30 a 40 Rockwell C ou cerca de 400 Brinell.

- Entre as faixas de 550°C a 200°C forma-se a bainita, que por sua vez tem características distintas de acordo com a temperatura. Assim sendo, a 450°C, forma-se um agregado de ferrita em forma de pena e carboneto de ferro muito fino, e a 200°C

a microestrutura passa a ser em forma de agulhas com coloração escura. A bainita possui dureza de 40 a 60 Rockwell C.

- Com faixa de temperatura de início de 200°C e fim de transformação de 100°C forma-se a martensita através de um resfriamento rápido. Esta por sua vez tem o maior valor de dureza.

2.1.3 Martensita

Conforme Colpaert (1977), a formação da martensita depende exclusivamente da temperatura atingida e não do tempo. A transformação ocorre muito rápida por meio de cisalhamento com escorregamento de planos cristalinos e não por nucleação e crescimento, ou seja, não envolve difusão igual às outras microestruturas.

De acordo com Nunura (2009):

Em ligas ferro carbono e aços, a austenita é a fase de origem que se transforma para martensita no resfriamento. A transformação martensítica não envolve difusão como já foi mencionado, de forma que a martensita tem exatamente a mesma composição de fase de origem ou austenita, isto é, até 2,11% em peso de carbono, dependendo da composição da liga. Visto que a difusão é suprida, usualmente por rápido resfriamento, os átomos de carbono não são “repartidos” entre a ferrita e a cementita. Ao invés disso, estes ficam presos nos interstícios octaédricos de uma estrutura cúbica de corpo centrado, produzindo assim uma nova fase, a martensita. A solubilidade do carbono nesta estrutura, então, é grandemente excedida quando a martensita se forma, produzindo distorção e criando uma nova estrutura, isto é, a tetragonal de corpo centrado (TCC), na qual o parâmetro c da célula unitária é maior de que os outros dois parâmetros a conforma a figura 5. Com uma maior concentração de carbono na martensita, mais sítios intersticiais são preenchidos, aumentando a tetragonalidade.

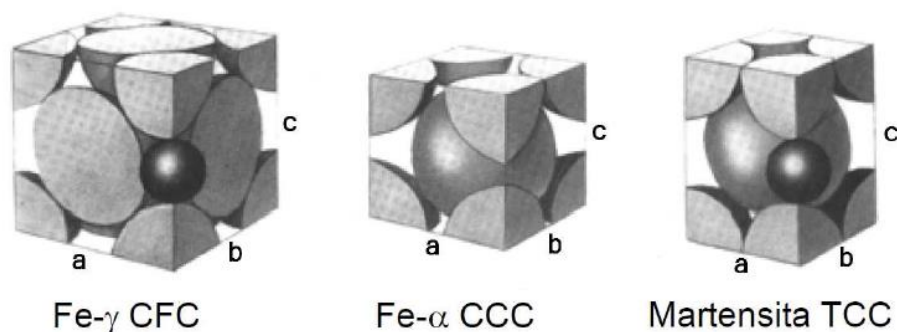


Figura 5 - Representação esquemática da transformação martensítica.
Fonte: Nunura (2009).

A martensita como já mencionada apresenta elevada dureza e resistência, fatores estes que podem ser atribuídos à: tamanho de grãos pequenos que dificultam a movimentação das discordâncias; tensões internas; e também ao fato do carbono presente na estrutura trabalhar com um efeito de solução sólida, dificultando assim a movimentação das discordâncias. Entretanto com esses benefícios também tem os pontos negativos, que é a fragilidade, apresentando assim pouca ductilidade (CHIAVERINI, 1996). A figura 6 apresenta uma fotomicrografia da martensita ampliada 1220x.



**Figura 6 - Fotomicrografia da martensita ampliada 1220X.
Fonte: Callister (2008).**

2.1.4 Diagrama de transformação por resfriamento contínuo

O diagrama TTT considera a temperatura constante, porém a maioria das operações ocorre com resfriamento contínuo até a temperatura ambiente, e, para tanto se utiliza um diagrama com certas modificações com relação ao diagrama isotérmico. A figura 7 traz uma comparação entre o resfriamento isotérmico (em pontilhado) e o resfriamento contínuo. Pode-se perceber algumas alterações como na temperatura crítica, que por sua vez é menor, e, também há um deslocamento para direita, ou seja, no resfriamento contínuo os tempos para início e fim da formação das microestruturas é retardado (CALLISTER, 2008).

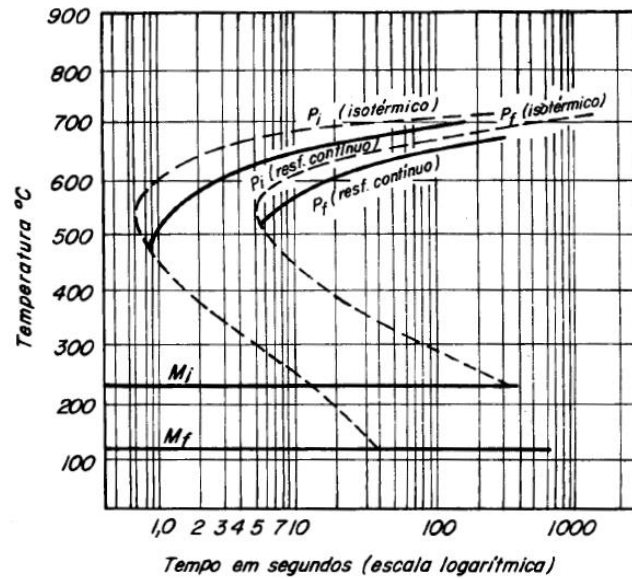


Figura 7 - Diagrama de transformação para resfriamento contínuo.
Fonte: Chiaverini (1996).

O início da transformação de cada microestrutura ocorre quando se atinge a primeira curva, e o final quando se chega à outra curva de resfriamento contínuo. Resfriamento muito lento obtém-se perlita grossa, e assim conforme vai aumentando a taxa de resfriamento forma-se perlita fina, perlita junto com martensita e somente martensita (CALLISTER, 2008). A figura 8 caracteriza as microestruturas que se formam no diagrama.

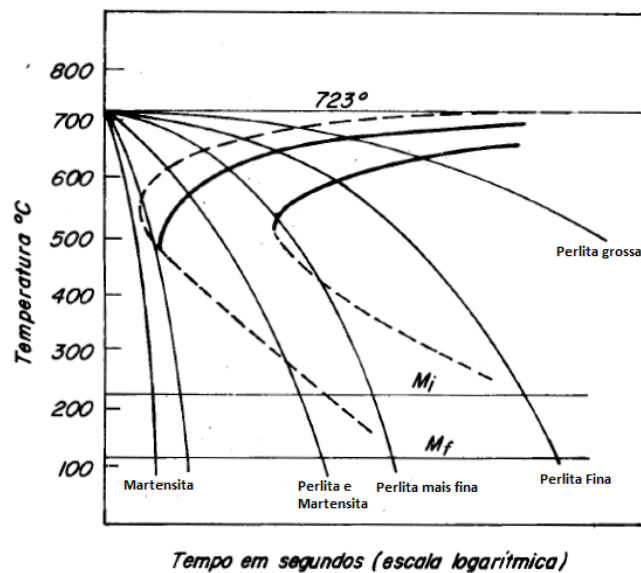


Figura 8 - Resfriamento contínuo e microestruturas formadas.
Fonte: Adaptado de Chiaverini (1996).

A coexistência de perlita e martensita ocorre porque não há a total formação de perlita, visto que se inicia a formação de perlita, mas esta é interrompida

antes de ser completada, de modo que o restante de austenita dá origem a martensita. No entanto, a formação de somente martensita se forma quando a curva de resfriamento não toca a curva C, porém ela pode tangenciá-la, e, isso nos dá uma precisão do tempo máximo que pode ser utilizado para a formação da martensita, isto é, a velocidade pode ser reduzida. Essa velocidade é conhecida como velocidade de têmpera, e se caracteriza como a menor velocidade que deve ser atingida para se conseguir formar somente martensita através de resfriamentos mais lentos (CHIAVERINI, 1996).

Em resumo os meios utilizados para o resfriamento, sendo este realizado com o auxílio de: forno, óleo, ar e água, é que vão determinar a velocidade com que o material é resfriado, possibilitando assim obter um aço com as características que se necessita. Por exemplo, para um aço com elevada dureza, opta-se por resfriamento rápido, geralmente com o auxílio de água, para se obter estrutura martensítica. A martensita possui o grau mais elevado de dureza, mas ao mesmo tempo pouca ductilidade, e, ainda deve-se levar em consideração que o resfriamento muito rápido pode trazer problemas como tensões internas, fissuras e empenamento (CHIAVERINI, 1996).

2.2 TEMPERABILIDADE

Conforme já mencionado aço pode ser utilizado em diversas áreas de atuação devido à facilidade em se conseguir propriedades específicas combinando alguns fatores como: elementos de liga, taxas de carbono, velocidades de resfriamento e outros meios que garantem um material com elevada dureza e resistência mecânica, por exemplo. Dentre as propriedades que são alvo de interesse para algumas aplicações das ligas de aço está a temperabilidade ou endurecibilidade (DOBRZANSKI; SITEK, 1998).

A temperabilidade dos aços, segundo Arroyo et al. (2002), “está diretamente relacionado com a capacidade que os mesmos têm de endurecer da superfície em direção ao núcleo, considerando-se a quantidade de martensita formada durante a têmpera”. De acordo com Dobrzanski e Sitek (1998), temperabilidade é definida como “susceptibilidade do aço a têmpera, é demonstrada pelo aumento de

dureza devido à têmpera, em função das condições de austenitização e taxa de resfriamento”.

Para Chiaverini (1996), temperabilidade “é a capacidade do aço endurecer ou à profundidade de endurecimento”. Ou ainda “endurecibilidade é um termo usado para descrever a habilidade de uma liga em ser endurecida pela formação de martensita como resultado de um dado tratamento térmico” (CALLISTER, 2008).

Já para Silva e Mei (2006) temperabilidade é “associado à capacidade de endurecimento do aço durante o resfriamento rápido (têmpera), ou seja, sua capacidade de formar martensita a uma determinada profundidade em uma peça”.

Toda via mesmo que temperabilidade esteja relacionado com dureza, há uma grande diferença, isto é, não quer dizer que um aço com alta temperabilidade possua elevada dureza, e sim que este possui boa capacidade de adquirir dureza ao longo do seu comprimento. Portanto, temperabilidade trata-se de uma medida do grau de dureza de acordo com a profundidade da peça (VAN VLACK, 2000).

2.2.1 Fatores que influenciam na temperabilidade

Para se conseguir martensita, além de um resfriamento rápido podem-se alterar outras variáveis que tem grande influência na temperabilidade, e desta forma, conforme Silva e Mei (2006), “para se aumentar a temperabilidade do aço, deve-se retardar a formação da ferrita, cementita, perlita e bainita, ou seja, deve-se deslocar a curva ITT para tempos mais longos”. Fazendo isso a velocidade de resfriamento pode ser diminuída.

Outros fatores podem afetar a temperabilidade dos aços, tais como: tamanho de grão austenítico, composição química da austenita, homogeneidade da austenita, inclusões não metálicas e carbonetos não solubilizados. Com relação aos elementos de liga, com exceção do cobalto, eles influenciam de maneira positiva na temperabilidade, visto que deslocam a curva de resfriamento contínuo para a direita retardando a formação de outras microestruturas, ou seja, são necessários tempos mais longos para início da transformação. Sendo assim, os elementos de liga diminuem as chances de formação de perlita e ferrita, contribuindo para obtenção de

martensita, e dentre os que mais se destacam estão: manganês, cromo e molibdênio (CRUZ, 2005).

A figura 9 faz uma comparação entre a adição de alguns elementos de liga com a dureza obtida conforme o diâmetro de uma determinada barra.

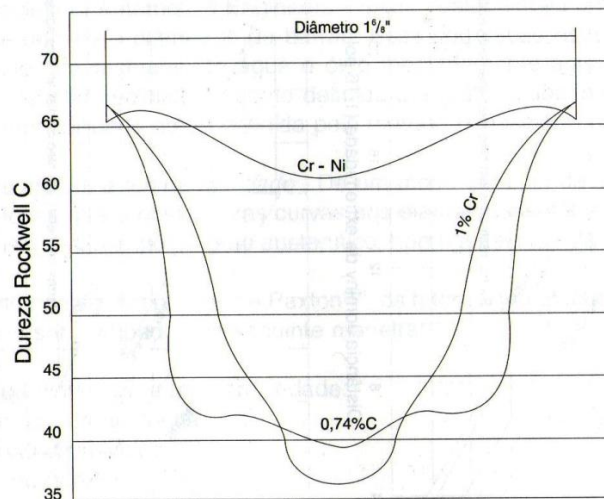


Figura 9 - Curvas de distribuição de dureza em uma barra de 1,5/8" de diâmetro, mostrando o efeito dos elementos de liga Cr e Ni sobre a temperabilidade, em comparação com um aço carbono comum.

Fonte: Chiaverini (1996).

Como se percebe os elementos de liga aumentam a temperabilidade, mas também há outros fatores que podem ajudar na formação da martensita, e também existem os que podem atrapalhar na obtenção da mesma. Com exceção da martensita, as outras microestruturas se formam por nucleação e crescimento, e assim basicamente quando se quer aumentar a temperabilidade utilizam-se meios que retardem ou impossibilitem essa nucleação, tais como: granulação grosseira e homogeneidade da austenita, além dos elementos de liga citados acima. Entretanto existem os fatores que favorecem a nucleação como inclusões e granulação fina (CHIAVERINI, 1996).

De acordo com Silva e Mei (2006), as áreas de nucleação heterogênea dos compostos difusionais ocorrem principalmente nos contornos de grão. Dessa forma, quanto maior o número contornos de grãos, maior será a formação de perlita, bainita, ferrita e cementita. Ou seja, granulação fina favorece a formação desses compostos difusionais, enquanto que, granulação grosseira por ter uma menor área de contornos de grão favorece no aumento da temperabilidade.

2.2.2 Curvas de temperabilidade

As curvas de temperabilidade mostram o grau de dureza de acordo com análises ao longo do corpo de prova temperado, e elas são diferentes para cada liga de aço devido aos fatores que podem influenciar na temperabilidade, e que podem ser exclusivos de cada um deles. Sabe-se que resfriamento rápido por meio de água tem grande influência na formação de martensita, e para tanto como no ensaio Jominy na extremidade o resfriamento é mais rápido se torna mais propício a formação de martensita. No entanto a taxa de resfriamento vai diminuindo ao longo da amostra e o grau de dureza também, ou seja, ocorre a formação de outras fases (CALLISTER, 2008).

O estudo das curvas de temperabilidade é muito importante para avaliação prática de um material, pois se conhecendo a distribuição de dureza ao longo de um corpo de prova, tem-se um forte parâmetro para se fazer uma correlação e descobrir a distribuição de dureza em peças, barras e chapas do mesmo material, mas de outras dimensões. No entanto vale ressaltar que só é possível desde que os mesmos tenham sido resfriados sob meios iguais (XAVIER et al., 2009).

Um ponto importante que não poder ser deixado de lado refere-se às variações que podem ocorrer para várias medições de um mesmo material, mas que são originados de lotes diferentes. Os resultados obtidos serão variados devido à heterogeneidade da composição química, estrutura, processo de fabricação e outros fatores que tornam necessário considerar uma faixa de dureza e não uma dureza única (SILVA; MEI, 2006)

A figura 10 mostra a faixa de curva de endurecibilidade para um aço SAE 1045, e a figura 11 apresenta curvas de endurecibilidade de diferentes ligas de aço da série 8600.

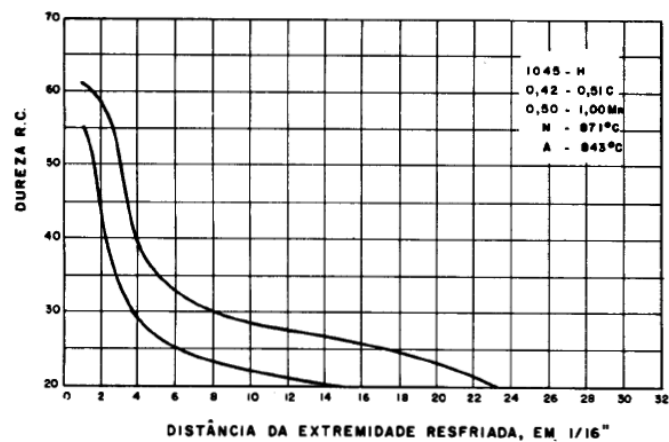


Figura 10 - Faixa de endurecibilidade de aço SAE 1045.
 Fonte: Chiaverini (1996).

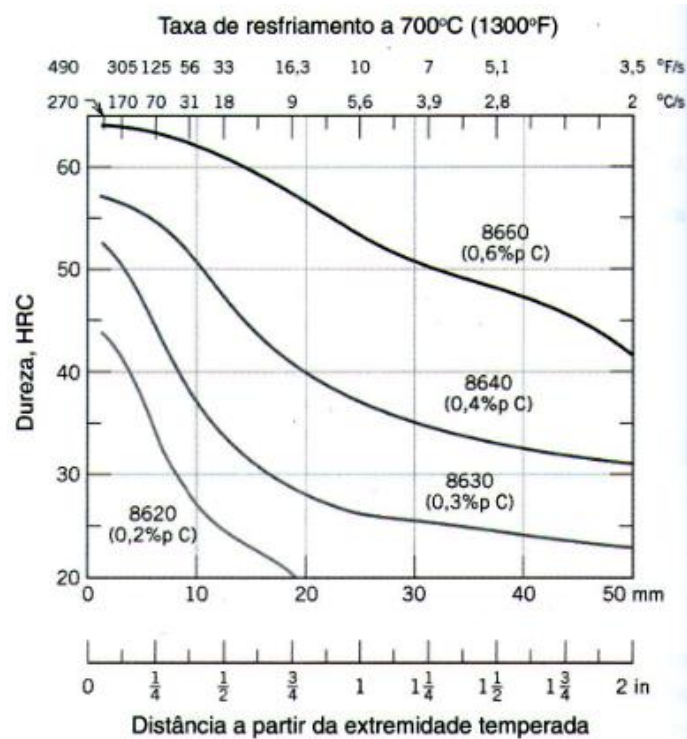


Figura 11 - Curvas de endurecibilidade para quatro ligas da série 8600 contendo o teor de carbono indicado.
 Fonte: Callister (2008).

Como já mencionado os elementos de liga influenciam na temperabilidade, a figura 12 representa curvas de endurecibilidade para diferentes ligas de aço, e seus respectivos elementos de liga estão presentes na tabela 1.

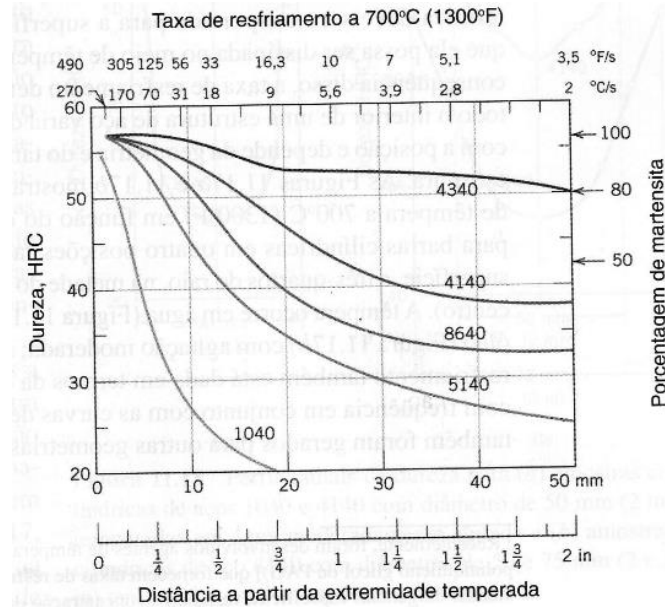


Figura 12 - Curvas de endurecibilidade para cinco ligas de aço diferentes, todas contendo 0,4%p C.
Fonte: Callister (2008).

Tabela 1 - Ligas de aço e seus elementos de liga.

Ligas de aço	Elementos de liga (%)
4340	1,85 Ni; 0,80 Cr e 0,25 Mo
4140	1,0 Cr e 0,20 Mo
8640	0,55 Ni; 0,50 Cr e 0,20 Mo
5140	0,85 Cr
1040	—

Fonte: Adaptado de Callister (2008).

2.3 NORMALIZAÇÃO

O processo de normalização consiste em aquecer o aço até a temperatura de austenitização e depois resfriá-lo ao ar. Quando se realiza tal processo tem-se geralmente a finalidade de homogeneizar a estrutura após o forjamento ou antes da têmpera ou revenimento. Além disso, a normalização também refina os grãos, melhora a usinabilidade e refina estruturas de peças fundidas (SILVA; MEI, 1988).

2.4 ENSAIO JOMINY

O ensaio Jominy trata-se de um método para medir a temperabilidade dos aços desenvolvido por Walter Jominy e padronizado pela ASTM. Conforme descreve a American Society for Testing and Materials, ASTM A255 (2002), o corpo de prova de 1 polegada de diâmetro (25,4 mm) e 4 polegadas de comprimento (101,6 mm) deverá ser pendurado pela sua extremidade superior. Para tanto deve ser previamente projetado para que isso seja possível, e, também deve ser feito de uma barra que tenha sofrido um processo de normalização, isto é, a barra deve ser aquecida durante 1 hora e resfriada ao ar. Contudo, para o ensaio o tempo de aquecimento (austenitização) é de 30 minutos, podendo em alguns casos ser de 35 minutos. Um exemplo de equipamento de ensaio Jominy e corpo de prova estão representados nas figuras 13 e 14. Já a temperatura de aquecimento tanto para o processo de normalização, quanto para a austenitização varia dependendo do tipo do aço e está representada na figura 15.

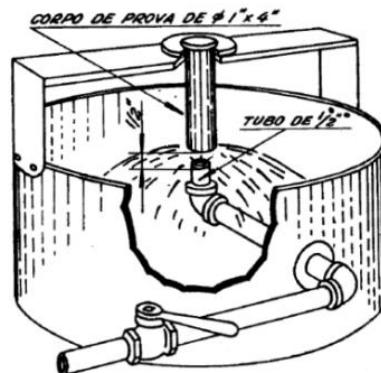


Figura 13 - Dispositivo Jominy para determinação da endurecibilidade dos aços.
Fonte: Chiaverini (2002).

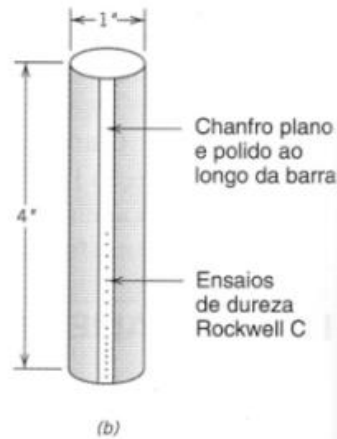


Figura 14 - Ensaio de dureza a partir da extremidade temperada ao longo de um chanfro plano e polido.

Fonte: Callister (2008).

Steel Series	Ordered Carbon Content, max, %	Normalizing Temperature, °F (°C)	Austenitizing Temperature, °F (°C)
1000, 1300, 1500, 3100, 4000, 4100	0.25 and under	1700 (925)	1700 (925)
4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 5000, 5100, 6100, [#] 8100, 8600, 8700, 8800, 9400, 9700, 9800	0.26 to 0.36, incl	1650 (900)	1600 (870)
	0.37 and over	1600 (870)	1550 (845)
2300, 2500, 3300, 4800, 9300	0.25 and under	1700 (925)	1550 (845)
	0.26 to 0.36, incl	1650 (900)	1500 (815)
	0.37 and over	1600 (870)	1475 (800)
9200	0.50 and over	1650 (900)	1600 (870)

Figura 15 - Temperaturas de normalização e austenitização.

Fonte: Adaptado da Norma ASTM A255 (2002).

Ainda segundo a norma ASTM A255 (2002) o diâmetro do orifício pelo qual será lançado o jato de água, bem como também a distância entre o mesmo e a extremidade inferior da amostra deve ser de 0,5 polegada (12,7 mm). No entanto, o equipamento deve ser projetado de modo que sem o corpo de prova acoplado, o jato de água deverá atingir uma altura de 2,5 polegadas (63,5mm). Toda via não se pode esquecer também que retirada a amostra do forno tem-se no máximo 5 segundos para encaixá-la no equipamento para realização do ensaio, por no mínimo 10 minutos com uma temperatura de água entre 5 e 30°C. Se a amostra não esfriar por completo após o ensaio, deve-se mergulhá-la na água para total arrefecimento.

As dimensões informadas acima podem ser melhores compreendidas analisando a figura 16.

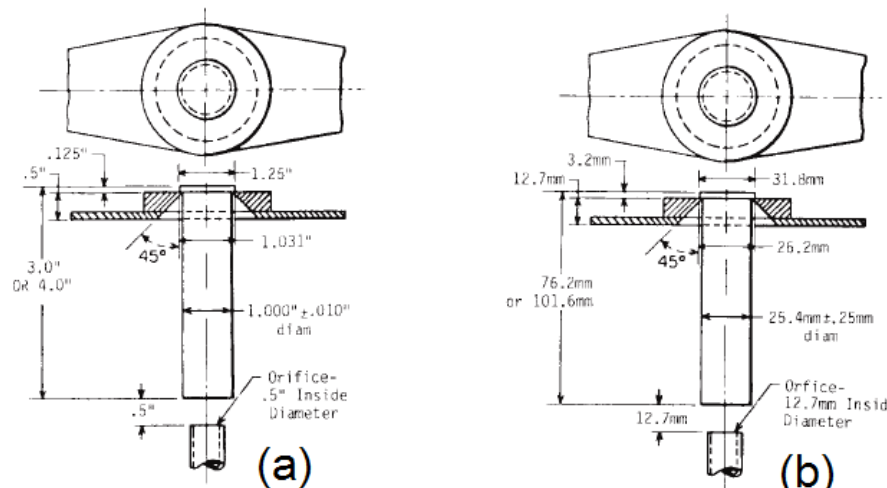


Figura 16 - Modelo de suporte para teste e dimensões da amostra e do orifício de jato de água. (a) Dimensões em polegadas. (b) Dimensões em milímetros. Fonte: Adaptado da norma ASTM A255 (2002).

As medições de dureza devem ser feitas em duas extremidades distantes 180° entre si. Porém, antes deve-se deixar as superfícies planas através de um chanfro com profundidade mínima de 0,38 mm, e assim as medições de dureza são tomadas de distâncias 1/16 polegadas até chegar em uma polegada e por seguinte em 18/16, 20/16, 22/16, 24/16, 28/16 e 32/16 polegadas. Para ser considerado satisfatório as medições dos dois lados não podem diferir em mais de 4 Rockwell C, e caso isso ocorra tomam-se novas medidas nas duas outras extremidades distantes 90° em relação as primeiras. Ocorrendo o mesmo problema testa-se uma nova amostra. Ao final faz-se uma média dos valores medidos nas duas extremidades e um arredondamento para o número inteiro mais próximo, sendo que valores abaixo de 20 HRC são descartados (ASTM A255, 2002).

A norma ainda sugere precauções a serem tomadas nas medições de dureza, de maneira que a amostra não deve deslizar no momento da medição, ou seja, sem movimento vertical. Porém também não é permitido que o corpo de prova repouse em um bloco em formato V no momento do teste. Assegurado os devidos cuidados listados conforme ASTM A255 (2002), ao final do teste plotam-se os resultados em um gráfico.

2.4.1 Vantagens e desvantagens do ensaio Jominy

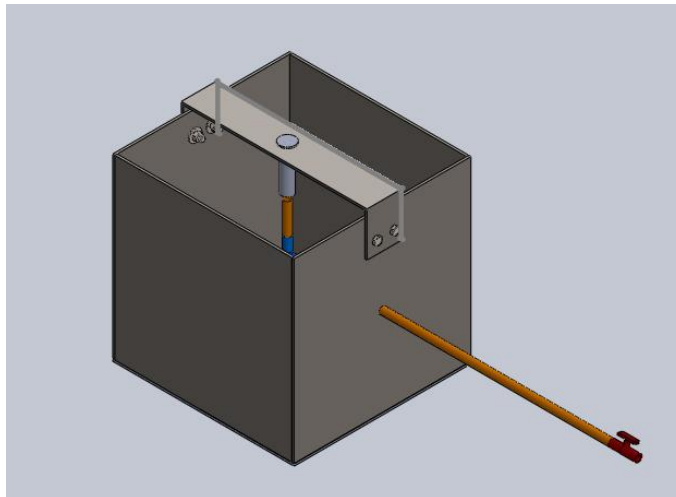
Segundo Martins (2002), entre as vantagens que o ensaio Jominy propicia estão: facilidade de realização; baixo custo e correlacionar dureza final com taxa de resfriamento. Ainda com relação às vantagens, Xavier et al. (2009) descreve que pelo método de ensaio Jominy pode-se entender melhor a microestrutura do aço, bem como suas transformações, possibilitando selecionar melhor o material para uma determinada aplicação. Além disso, os valores obtidos com ensaio de amostras podem ser aplicados as barras e chapas de outras dimensões desde que as condições de resfriamento sejam as mesmas.

Já as desvantagens de acordo com Martins (2002), estão no limite de informações e de na maioria dos casos as curvas obtidas não representarem as condições de uso do material. Contudo, ainda podem ocorrer erros de medições por parte do operador, bem como resultados imprecisos devido à heterogeneidade do material analisado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ANÁLISES DE EQUIPAMENTOS DE ENSAIOS JOMINY

Com base em um estudo de equipamentos de ensaio Jominy já existentes, e também da norma técnica ASTM A255 (2002), fez-se um levantamento de dados do que seria necessário para construção do mesmo. Após essa pesquisa foi realizado um esboço de projeto conforme a figura 17. Também foi feito um levantamento dos materiais necessários para construção, de maneira que o custo do equipamento não fosse tão excessivo, visto que será construído mediante viabilidade financeira.



**Figura 17 - Esboço do aparato Jominy no programa SolidWorks.
Fonte: Autoria própria.**

Para a escolha de materiais tem que se levar em consideração que a estrutura estará sofrendo ação de meio aquoso, e, portanto, deve ser resistente a corrosão. Neste caso podemos considerar um aço galvanizado, inox, alumínio ou utilizar algumas técnicas que dificultem a corrosão do aço, como o emprego de pintura a mesma. Conforme a norma ASTM A255 (2002), tem-se um tempo máximo para colocar o corpo de prova e acionar a abertura de água. Esse tempo é curto e, portanto, torna-se necessário uma válvula de abertura rápida.

Conforme a ASTM A255 (2002), para ensaio a água deve atingir uma altura de 63,5mm, e sendo talvez necessário uma bomba de água. Outro ponto importante

a se considerar é o bocal de saída de água, com dimensão estabelecida como sendo de 0,5 polegada (12,7mm), que também deve ser priorizado no projeto.

Os materiais necessários para construção do aparato e os seus respectivos custos estão descritos abaixo na tabela 2.

Tabela 2 - Preços dos equipamentos.

Materiais	Preço (R\$)
Tubo de PVC de 20 mm	3,85
Joelho 90° PVC de 20 mm	0,60
Adaptador soldável curto com rosca para registro 20 x ½ "	0,65
Válvula de abertura rápida de PVC	6,50
5 Chapas de aço galvanizado (2 mm de espessura)	107,00
5 Chapas de aço 1020 (2 mm de espessura)	128,20
5 Chapas de aço 1020 (3 mm de espessura)	170,00

Fonte: Autoria própria.

Com relação aos materiais utilizados na parte de tubulações, optou-se por PVC em virtude dos menores preços. Além disso, se fez o orçamento para três tipos de aços, e como pode ser visto na tabela 3 o aço galvanizado de 2 mm de espessura apresenta menor preço, porém deve se também estudar a viabilidade de construção, que inicialmente seria de soldar a estrutura do aparato. Também será analisado mais profundamente sobre a utilização de outros materiais para a estrutura. A tabela 3 detalha os valores totais dos projetos considerando os outros componentes já somados as diferentes chapas.

Tabela 3 - Valores totais de orçamento com as respectivas chapas.

Tipo de chapa de aço	Valor (R\$)
Com chapa de aço galvanizado (2 mm)	118,60
Com chapa de aço 1020 (2 mm)	139,80
Com chapa de aço 1020 (3 mm)	181,60

Fonte: Autoria própria.

3.2 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO APARATO JOMINY

Após o levantamento dos custos e dos materiais que são necessários para a confecção do dispositivo, realizou-se o projeto e dimensionamento do aparato, optando por buscar algo simples, mudando assim alguns materiais e optando por maior facilidade na sua construção, ou seja, sem perdas excessivas com o uso de materiais, e que é claro pudesse ser eficaz e desempenhar a função do teste de temperabilidade. Para tanto realizou-se um desenho do protótipo com o auxílio do programa SolidWorks. Os desenhos encontram-se no anexo A.

3.2.1 Seleção de materiais

Para as escolhas de materiais fez-se algumas alterações com relação aos mesmos propostos no item 3.1. Essas mudanças devem-se a busca de maior facilidade na construção, bem como utilização de materiais que atendessem melhor aos requisitos que serão utilizados no ensaio.

Assim sendo, entre as mudanças mais significativas, optou-se por chapas de alumínio de 2 mm de espessura para a utilização na estrutura do aparato Jominy, e como suporte do corpo de prova utilizou-se aço inoxidável de 3 mm de espessura. A justificativa da escolha desses materiais são porque ambos são resistentes a corrosão. Além disso, o alumínio é bastante maleável, o que facilita na construção e montagem do aparato.

Entretanto, com relação a tubulação ainda se manteve a ideia inicial de utilizar os materiais de PVC. Os materiais optados estão descritos abaixo:

- Chapa de alumínio;
- Chapa de aço inoxidável;
- Tubos de PVC;
- Acessórios em PVC (joelho, bocal, flange);

- Mangueira de meia polegada;
- Parafusos, porcas e arruelas padronizados tamanho M6;
- Válvula de abertura rápida de metal.

Complementando o orçamento da tabela 2, na tabela 4 podem ser vistos os materiais complementares para a construção do aparato.

Tabela 4 - Orçamento dos materiais utilizados.

Materiais	Preço (R\$)
Tubo de PVC 20 mm (1,5m)	3,85
Joelho 90° PVC de 20 mm	0,60
Adaptador soldável curto com rosca para registro 20 x ½ "	0,65
Adaptador com rosca para mangueira 20 x ½ "	1,00
Flange de PVC	3,50
Mangueira de meia polegada (1,5 m)	5,00
Parafusos, porcas e arruelas M6	8,00
Válvula de abertura rápida em metal	10,00
Solução preparadora	12,45
Adesivo plástico para PVC	2,79
Lixas 100	3,00
Total	50,84

Fonte: Autoria própria.

Com relação as chapas de alumínio e aço inoxidável, a UTFPR-PG disponibilizou a quantia necessária para uso na construção do aparato de ensaio Jominy.

3.2.2 Construção do aparato de ensaio Jominy

No processo de construção do aparato fez-se o corte das chapas no Laboratório de Conformação Mecânica da UTFPR-PG. Assim sendo, foi cortado as chapas de alumínio com 2 mm de espessura e de aço inoxidável com 3 mm de

espessura conforme as dimensões do projeto. Após esse procedimento realizou-se a operação de dobramento das chapas.

Ainda foi feito os furos para a montagem da estrutura, e conforme já mencionado utilizou-se parafusos M6. Para o furo de encaixe do corpo de prova e para a passagem no tubo de alimentação de água foi utilizado serra copo para sua confecção. A figura 18 mostra a estrutura do aparato de ensaio Jominy ainda desmontado.

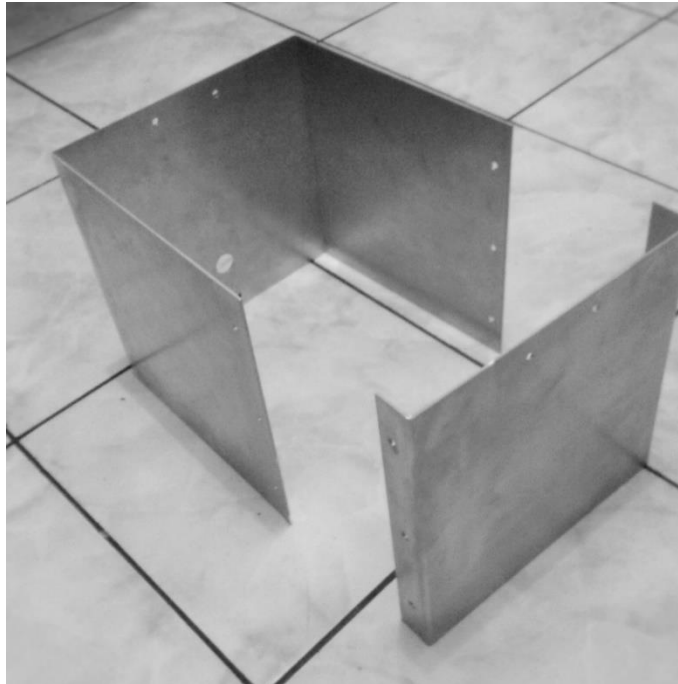


Figura 18 - Estrutura do aparato de ensaio Jominy desmontado.
Fonte: Autoria própria.

O suporte do corpo de prova foi dividido em duas partes, uma o suporte propriamente dito e outra um apoio. As figuras 19 e 20 foram tiradas do suporte e do apoio após corte, operação de dobramento da chapa e furação.



Figura 19 - Suporte para o corpo de prova.
Fonte: Autoria própria.

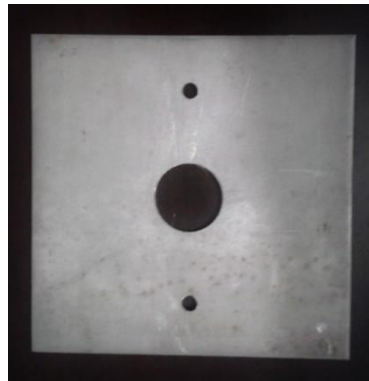


Figura 20 - Apoio do suporte de corpo de prova.
Fonte: Autoria própria.

A montagem do sistema de alimentação de água foi realizada inicialmente fazendo os cortes dos tubos nas dimensões determinadas no projeto. Em seguida foram lixadas as extremidades do tubo com auxílio de lixa 100, e depois foram coladas com adesivo plástico para PVC. A figura 21 representa o sistema de alimentação de água já montado.

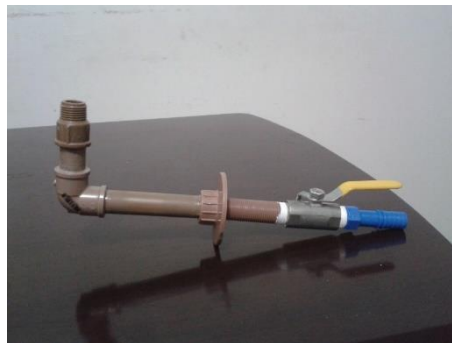


Figura 21 - Sistema de alimentação de água.
Fonte: Autoria própria.

A estrutura foi parafusada e o encaixe do tubo de alimentação de água foi feito com o auxílio de um flange. Contudo, ainda foi necessário acertar o posicionamento para que a distância da extremidade inferior do corpo de prova em relação a saída do jato de água fosse de 0,5 polegada. Para isso foi posicionado o corpo de prova já na estrutura montada com o tubo de saída de água, e posteriormente feito um gabarito de 0,5 polegada para se garantir um posicionamento correto. Além disso, também foi utilizado um paquímetro para garantir essa distância estabelecida

pela norma ASTM A255 (2002). Todo o conjunto montado pode ser visualizado na figura 22.



Figura 22 - Aparato de ensaio Jominy.
Fonte: Autoria própria.

3.2.3 Remodelamento do sistema

O ensaio Jominy inicialmente seria realizado diretamente através da torneira conectado ao aparato por meio de uma mangueira, porém constatou-se que o sistema seria ineficiente, visto que não iria atingir a altura de jato de água sem a presença do corpo de prova imposta pela norma ASTM A255 (2002) de 2,5 polegadas (63,5 mm). Em virtude do problema foi necessário remodelar o sistema, que passou a conter uma bomba de água, tubos para alimentação da mesma, válvula e reservatório de 100 litros de água.

A princípio fez-se testes com bombas de aquário, mas estas não foram bem-sucedidas e, portanto, foi necessário adquirir uma bomba periférica com as seguintes características:

- Altura manométrica máxima de 26 metros;
- Sucção máxima de 8 metros;
- Vazão máxima de 33 litros por minuto;
- Potência 1/2 HP;

- Tensão de 127 V.

Para a instalação do novo sistema fixou-se a bomba em uma chapa de madeira para evitar vibrações, e posicionou-a no chão. O reservatório foi furado com serra copo e conectado a bomba com tubos de PVC, cotovelo e flange. Já para a saída de água da bomba também se utilizou tubos de PVC e reduções que possibilitassem diminuir o diâmetro da tubulação para que posteriormente pudesse-se acoplar a mangueira do aparato Jominy. As tubulações foram preparadas e coladas com cola própria para tubos PVC, e o sistema já totalmente instalado está representado na figura 23.



Figura 23 - Aparato de ensaio Jominy (sistema completo).
Fonte: Autoria própria.

Também se encontrou problemas com relação a altura atingida pela água na saída do orifício de meia polegada, entretanto a altura foi maior que a prevista por norma, o que, todavia, era esperado em virtude da maior potência e vazão da bomba utilizada. O problema já era esperado e, foi facilmente solucionado por meio de válvulas, que já haviam sido colocadas no projeto (figura 24). Para ter certeza da altura correta utilizou-se um gabarito.



Figura 24 - Válvulas de controle de altura da água.
Fonte: Autoria própria.

Com o remodelamento do sistema a altura livre de água de 2,5 polegadas sem a presença do corpo de prova pode ser alcançada. Porém outros materiais tiveram que ser adquiridos. O detalhamento desses novos gastos estão presentes na tabela 5.

Tabela 5 - Materiais para o sistema de alimentação

Materiais	Preços (R\$)
Adaptador para caixa d'água com flange 32 x 1"	18,07
Adaptador soldável curto com rosca para registro 20 x ½ "	0,65
Adaptador soldável curto com rosca para registro 32 x 1"	2,08
Joelho de PVC (32mm)	1,94
Bomba periférica	150,00
Tubos PVC 32 mm (1,5m)	12,81
Tubo de PVC 25 mm (1,5m)	4,83
Luva de redução 32 x 25 mm	2,91
Luva de redução 25 x 20 mm	1,08
Válvula de abertura rápida PVC	6,50
Bocal para encaixe de mangueira	3,50
Fita veda rosca	4,03
Reservatório	30,00
Total	238,40

Fonte: Autoria própria.

3.2.4 Corpo de prova

O corpo de prova precisa apresentar as dimensões estabelecidas pela norma ASTM A255 (2002), para que o ensaio seja validado. O desenho do corpo de prova está ilustrado na figura 25, juntamente com as dimensões padronizadas.

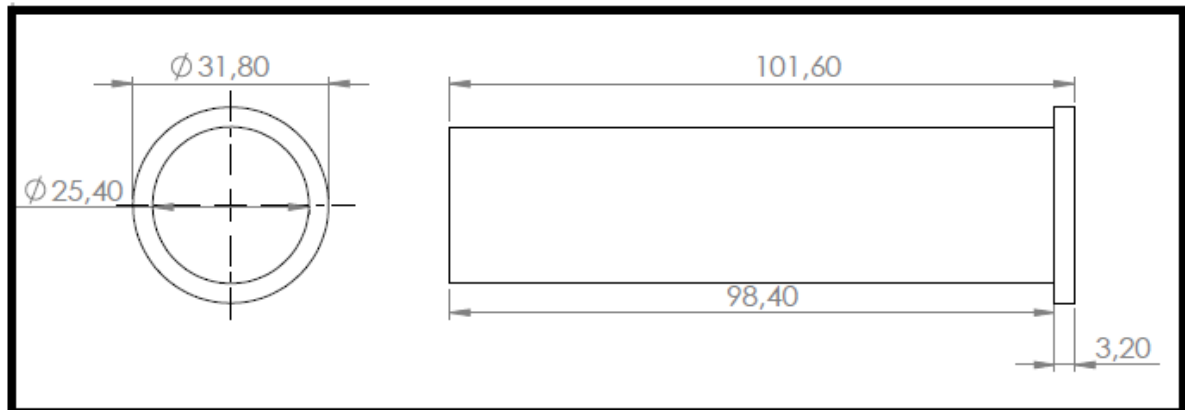


Figura 25 - Desenho do corpo de prova.
Fonte: Autoria própria.

Para a validação do experimento optou-se por fabricar dois corpos de prova com ligas de aço diferentes, sendo um deles de aço SAE 1045, e o outro de aço SAE 4340. Ambos os aços foram cortados com dimensões de 32 mm de diâmetro e 160 mm de comprimento. Após o corte os dois aços foram usinados no Laboratório de Usinagem da UTFPR-PG (figura 26), e dessa forma chegou-se as dimensões pré-determinadas conforme a figura 25.



Figura 26 - Usinagem dos corpos de prova. (a) Aço SAE 1045. (b) Aço SAE 4340.
Fonte: Autoria própria.

Os dois corpos de prova já devidamente usinados estão destacados na figura 27.



Figura 27 - Corpos de prova usinados.
Fonte: Autoria própria.

3.3 NORMALIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

O processo de normalização dos corpos de prova foi realizado no Laboratório de Ensaios Não Destrutivos da UTFPR-PG, local onde se encontra um forno tipo mufla. Ambos os aços são normalizados a 870°C, e assim sendo, eles foram colocados juntos no forno que foi aquecido até a temperatura de 870°C e deixados lá por uma hora conforme estabelece a norma ASTM A255 (2002). A figura 28 se trata de uma foto tirada do forno no momento de normalização das amostras.



Figura 28 - Forno tipo mufla (processo de normalização).
Fonte: Autoria própria.

Após o processo de normalização as duas amostras foram retiradas do forno com auxílio de equipamentos de proteção individual, tais como: luvas, óculos, máscara, pegador e deixadas para total resfriamento ao ar (figura 29).



Figura 29 - Corpos de prova após processo de normalização.
Fonte: Autoria própria.

3.4 ENSAIO JOMINY

A amostra de aço SAE 1045 foi aquecida a 845^o C conforme recomenda a norma durante um tempo de 30 minutos, sendo que o tempo foi cronometrado somente após a estabilização do forno. Decorrido o tempo a amostra foi retirada do forno com o auxílio de equipamentos de proteção (óculos, luvas, pegador), acoplada

no aparato Jominy, e posteriormente ligada a bomba para a realização do ensaio. Esse processo de retirada do forno até o início do ensaio foi de no máximo 5 segundos com duração de ensaio de 10 minutos.

A água utilizada no ensaio estava a temperatura ambiente, ou seja, de acordo com a norma ASTM A255 (2002), e após os 10 minutos o corpo de prova do aço SAE 1045 foi mergulhado totalmente na água para total arrefecimento.

Finalizado o processo o equipamento de ensaio foi secado e o mesmo procedimento foi realizado para o aço SAE 4340, que igual ao aço SAE 1045 também é austenitizado a 845°C. A figura 30 foi tirada no momento do ensaio do aço SAE 1045.



Figura 30 - Ensaio Jominy aço SAE 1045.
Fonte: Autoria própria.

3.5 ENSAIO DE DUREZA

Para a realização do ensaio de dureza os corpos de prova foram devidamente preparados. Primeiro foi feito o lixamento das amostras para retirar uma crosta que se formou após o ensaio Jominy, e em seguida foram feitos dois planos em cada amostra de 0,4 mm de profundidade distante 180° entre si. Os planos foram feitos com o auxílio de uma fresadora.

Depois as amostras foram devidamente marcadas em todos os planos com o auxílio de uma régua com escala em polegadas. As medidas foram marcadas em espaços de 1/16 polegadas até completar 1 polegada, e depois 18/16, 20/16, 22/16, 24/16, 28/16 e 32/16 polegadas, conforme a norma.

O equipamento de ensaio de dureza (figura 31) foi devidamente configurado e então o ensaio de dureza foi feito nos pontos marcados nos planos.



**Figura 31 - Equipamento de ensaio de dureza (marca Pantec modelo RBS).
Fonte: Autoria própria.**

A figura 32 foi tirada da amostra de aço SAE 4340 logo após o ensaio de dureza. Os dados obtidos em cada ponto foram plotados com o auxílio do programa Excel para posterior análise e para gerar a curva de temperabilidade.



**Figura 32 - Corpo de prova do aço SAE 4340 logo após a medição de dureza.
Fonte: Autoria própria.**

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AÇO SAE 1045

Com as medições de dureza pode-se fazer as comparações entre dados existentes na literatura e os obtidos no ensaio, e isso vai permitir validar ou não o equipamento. Para o aço SAE 1045 se obteve os seguintes dados descritos na tabela 6.

Tabela 6 - Resultados do Ensaio de Dureza do Aço SAE 1045.

Distância x 1/16 polegadas	Medição 1	Medição 2	Variação	Média	Valores arredondados
	Dureza (HRC)	Dureza (HRC)	Dureza (HRC)	Dureza (HRC)	Dureza (HRC)
1	59	53,5	5,5	56,25	56
2	58,5	55	3,5	56,75	57
3	43	43	0	43	43
4	32	31,5	0,5	31,75	32
5	31	32	1	31,5	32
6	25	29	4	27	27
7	31,5	27,5	4	29,5	30
8	26,5	28,5	2	27,5	28
9	26	27	1	26,5	27
10	26,5	26,5	0	26,5	27
11	27	24	3	25,5	26
12	23	24	1	23,5	24
13	24	27	3	25,5	26
14	21	22	1	21,5	22
15	24,5	24	0,5	24,25	24
16	23,5	27,5	4	25,5	26
18	26	24	2	25	25
20	23	19	4	21	21
22	18,75	19,5	0,75	19,125	19
24	19,5	19	0,5	19,25	19
28	19	20	1	19,5	20
32	14	17	3	15,5	16

Fonte: Autoria própria.

A curva de temperabilidade foi gerada e pode ser vista na figura 33.

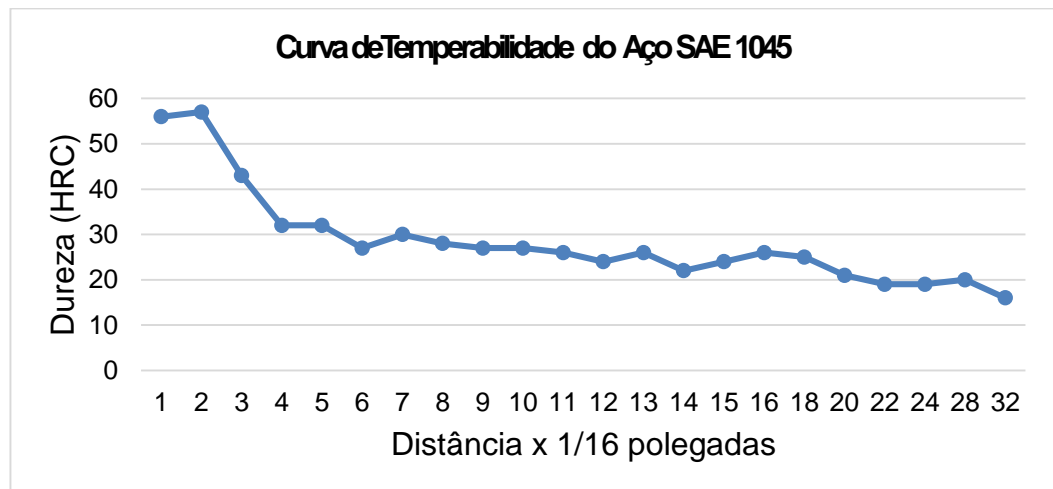


Figura 33 - Gráfico da curva de temperabilidade experimental do aço SAE 1045.
Fonte: Autoria própria.

Na tabela 7 tem-se os valores teóricos máximos e mínimos de dureza para o aço SAE 1045.

Tabela 7 - Limites máximo e mínimo de dureza para o aço SAE 1045.

Distância x 1/16 polegadas	Dureza (HRC)	
	Máximo	Mínimo
1	62	55
2	59	42
3	52	31
4	38	28
5	33	26
6	32	25
7	31	25
8	30	24
9	29	23
10	29	22
12	28	21
14	27	20
16	26	
18	25	
20	23	
22	22	
24	21	

Fonte: Adaptado de ASM Handbook volume1.

Com os dados do experimento e com os valores obtidos por meio da literatura podemos fazer um comparativo que pode ser visualizado na figura 34.

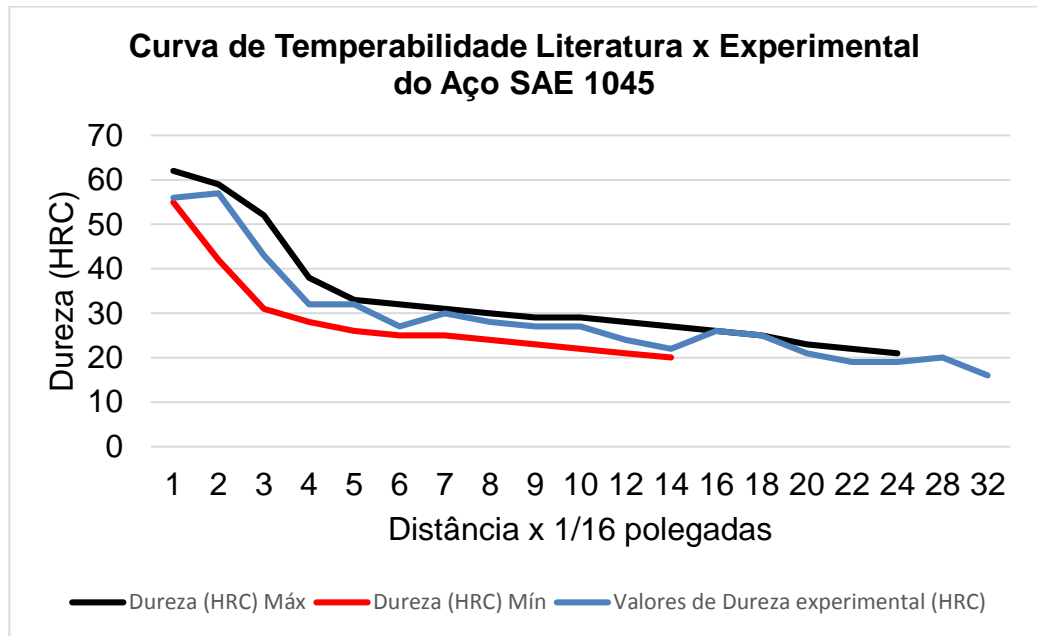


Figura 34 - Gráfico de comparação entre a curva de temperabilidade obtida na literatura e a experimental do aço SAE 1045.

Fonte: Autoria própria.

Analisando o gráfico presente na figura 34, notamos que ocorreu o que seria esperado para o experimento, porém com algumas modificações que devem ser destacadas, tais como: o aço obteve maior temperabilidade na extremidade e caiu consideravelmente como era esperado. Porém, apresentou oscilações em alguns pontos, e, apenas em um dos pontos ocorreu variação acima de 4 HRC em relação ao outro ponto distante 180°. Tanto essa variação, quanto as oscilações podem ser consideradas normais, e assim sendo, o ensaio mostrou-se satisfatório.

Embora a norma ASTM A 255 (2002) mencione que valores abaixo de 20 HRC sejam descartados, neste experimento os mesmos foram utilizados apenas para critério de análise.

4.2 AÇO SAE 4340

Com relação ao aço SAE 4340 os resultados mostraram-se também condizentes com a literatura. Na tabela 8 estão presentes os valores de dureza na escala Rockwell C obtidos para este aço.

Tabela 8 - Resultados do Ensaio de Dureza do Aço SAE 4340.

Distância x 1/16 pol	Medição 1	Medição 2	Variação	Média	Valores arredondados
	Dureza (HRC)	Dureza (HRC)	Dureza (HRC)	Dureza (HRC)	Dureza (HRC)
1	54	54	0	54	54
2	57	54	3	55,5	56
3	57	55	2	56	56
4	55	55,5	0,5	55,25	55
5	56	55,5	0,5	55,75	56
6	56	56	0	56	56
7	55	55	0	55	55
8	55,5	55	0,5	55,25	55
9	54,5	54	0,5	54,25	54
10	55	54	1	54,5	55
11	54,5	54	0,5	54,25	54
12	54,5	53	1,5	53,75	54
13	54	52,5	1,5	53,25	53
14	53,5	51	2,5	52,25	52
15	53	52	1	52,5	53
16	52	51,5	0,5	51,75	52
18	51	51	0	51	51
20	51,5	48	3,5	49,75	50
22	49	48	1	48,5	49
24	48,5	48	0,5	48,25	48
28	46	46	0	46	46
32	43	42,5	0,5	42,75	43

Fonte: Autoria própria.

Como já dito os resultados obtidos com o aço SAE 4340 foram satisfatórios, e dessa forma, analisando a tabela constatamos que não houve variação acima de 4

HRC quando comparamos uma mesma distância medida 180° em relação a outra, ou seja, não são necessários novas medidas. Comparando-se os valores obtidos experimentalmente com valores da literatura retirados do ASM Handbook que estão presentes na tabela 9, vemos que os valores experimentais estão entre os limites de temperabilidade propostos nos dados teóricos.

Tabela 9 - Limites máximo e mínimo de dureza para o aço SAE 4340.

Distância x 1/16 polegadas	Dureza (HRC) Máximo	Dureza (HRC) Mínimo
1	60	53
2	60	53
3	60	53
4	60	53
5	60	53
6	60	53
7	60	53
8	60	52
9	60	52
10	60	52
11	59	51
12	59	51
13	59	50
14	58	49
15	58	49
16	58	48
18	58	47
20	57	46
22	57	45
24	57	44
26	57	43
28	56	42
30	56	41
32	56	40

Fonte: Adaptado de ASM Handbook volume 1.

A curva de temperabilidade experimental também foi criada e está representada na figura 35 e, para se ter uma maior compreensão, uma curva

correlacionando dados experimentais e obtidos na literatura através do ASM Handbook também foi gerada (figura 36).

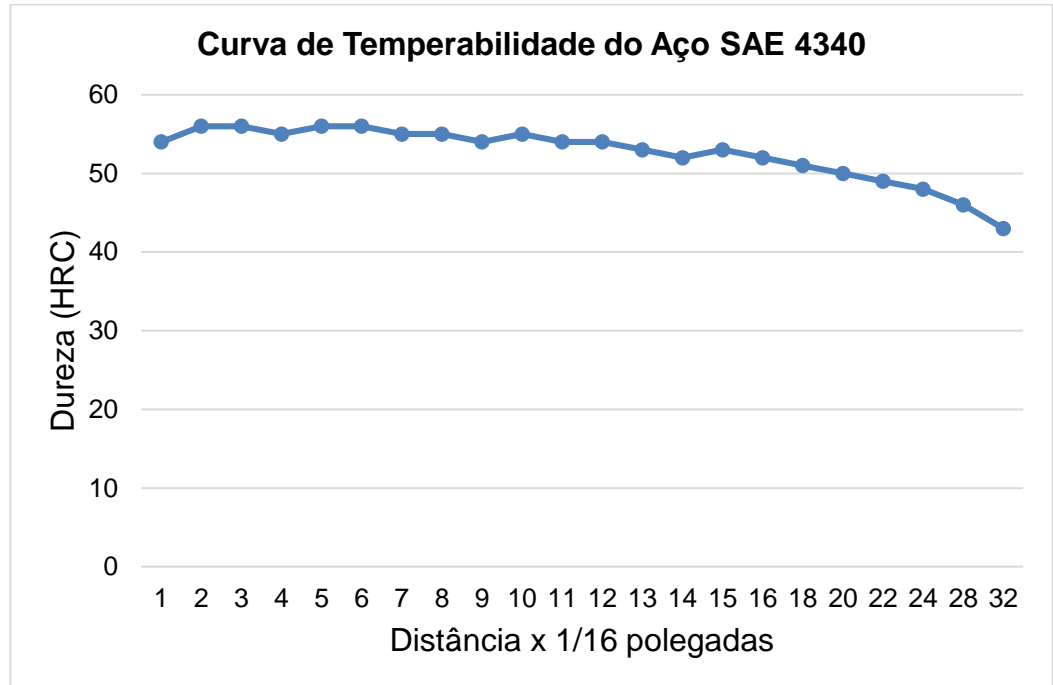


Figura 35 - Gráfico da curva de temperabilidade experimental do aço SAE 4340.
Fonte: Autoria própria.

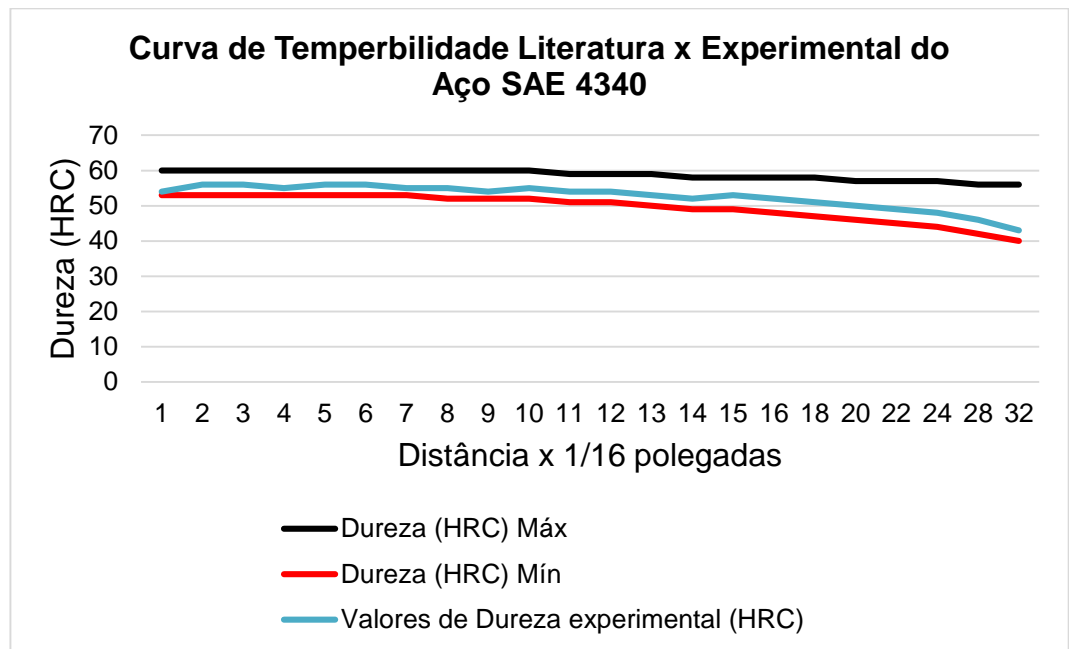


Figura 36 - Gráfico de comparação entre a curva de temperabilidade obtida na literatura e a experimental do aço SAE 4340.
Fonte: Autoria própria.

Comparando a curva obtida na literatura com a obtida experimentalmente nota-se que o resultado foi satisfatório pois estão dentro dos valores de dureza máximos e mínimos. Outro ponto de destaque é que a presença de elementos de liga que influenciam diretamente na temperabilidade são responsáveis por gerarem essa curva mais uniforme e com elevada dureza.

5 CONCLUSÕES

A análise criteriosa da norma ASTM A255-02 possibilitou a construção de um aparato para ensaio Jominy, tendo como finalidade a busca por materiais mais adequados para a construção, o que levou a seleção de materiais que possibilitem vida longa ao aparato, tais como alumínio e aço inoxidável escolhidos em virtude da resistência a corrosão que possuem, já que o equipamento estará constantemente sofrendo interferência de água. Também se buscou materiais mais baratos para a parte das tubulações que são de PVC, e, portanto, podemos concluir que conforme previsto no início do projeto a busca por materiais mais aptos para o protótipo foi alcançada baseando-se em vida útil e economia de projeto.

Após a construção os ensaios realizados com os corpos de prova de aço SAE 1045 e de aço SAE 4340 mostraram-se dentro dos valores de dureza existentes na literatura. O corpo de prova de aço SAE 1045 apresentou algumas oscilações, porém mesmo assim os valores obtidos experimentalmente estão entre as curvas máxima e mínima de dureza encontrados em dados literários. Conforme esperado houve uma queda de dureza ao longo do comprimento da amostra.

O corpo de prova de aço SAE 4340 apresentou uma curva de temperabilidade satisfatória e dentro também do que era previsto, ou seja, os valores de dureza obtidos experimentalmente estão entre as curvas de dureza máxima e mínima encontrados na literatura. Além disso, para o aço SAE 4340 podemos destacar que não há uma queda significativa de dureza ao longo do comprimento da amostra, fator esse devido a presença de elementos de liga que aumentam a temperabilidade.

Assim sendo, o aparato construído mostrou resultados convincentes. Estes dados permitiram validar o aparato, e dessa forma, o mesmo está apto para a realização de outros ensaios de temperabilidade.

6 REFERÊNCIAS

ARROYO, Irma P. K. et al. Temperabilidade Jominy - Um Estudo Via Multimídia. In: II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 9., 2002, João Pessoa - PB.

ASM HANDBOOK. **Properties and Selections: Irons, Steels and High Performance Alloys.** v.1,2005.

ASM Metals HANDBOOK. **Heat Treating.** ASM International v.4,1991.

CALLISTER Jr, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 7ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos.** 7ª Ed. São Paulo: ABM, 1996.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns.** 3ª Ed. São Paulo: Blucher, 1977.

CRUZ, Luiz Carlos da. **Avaliação Da Capacidade do Processo de Fabricação em Atender Especificação de Temperabilidade para o Aço SAE 1548M.** 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2005.

DOBRZANSKI, L.A.; SITEK, W. Application of a neural network in modelling of hardenability of constructional steels. **Journal of Materials Processing Technology** **78.** ,Gliwice, Poland, p. 59-66, 1998.

MARTINS, Marcelo. **Temperabilidade Jominy e Influência do Revenido Sobre a Dureza - Um Estudo em Aços Estruturais Nacionais.** 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

NBR 8196. **Desenho técnico - Emprego de escalas,** 1999.

NBR 10067. **Princípios gerais de representação em desenho técnico,** 1995.

NBR 10126. **Cotagem em desenho técnico,** 1987.

NORMA ASTM A255. **Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel**, 2002.

NUNURA, Carlos R. N. **Correlação Numérico-EXzperimental da Microestrutura, Taxa de Resfriamento e Características Mecânicas do aço ABNT 1045**. 2009. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2009.

SILVA, André Luiz da Costa e; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**. 2ª Ed. Sumaré - SP: Blucher, 1988.

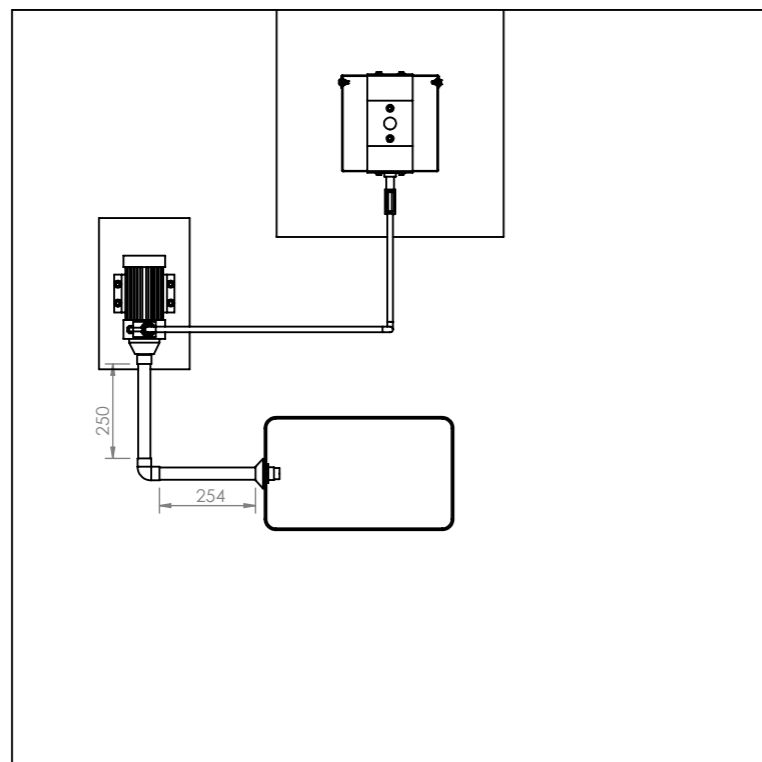
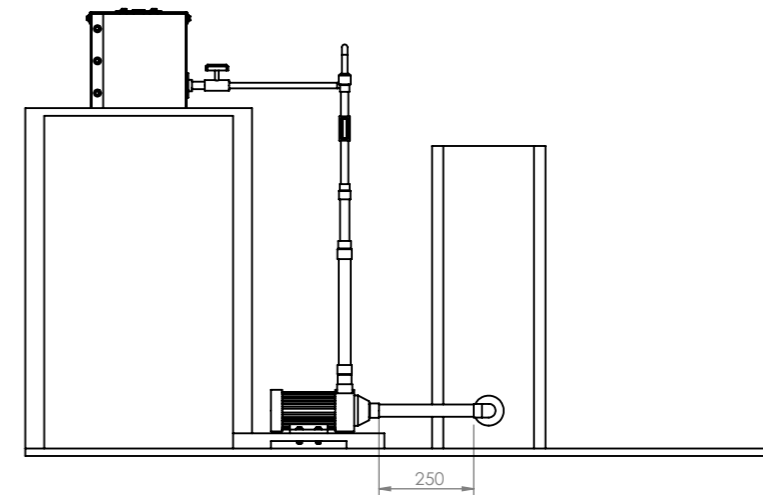
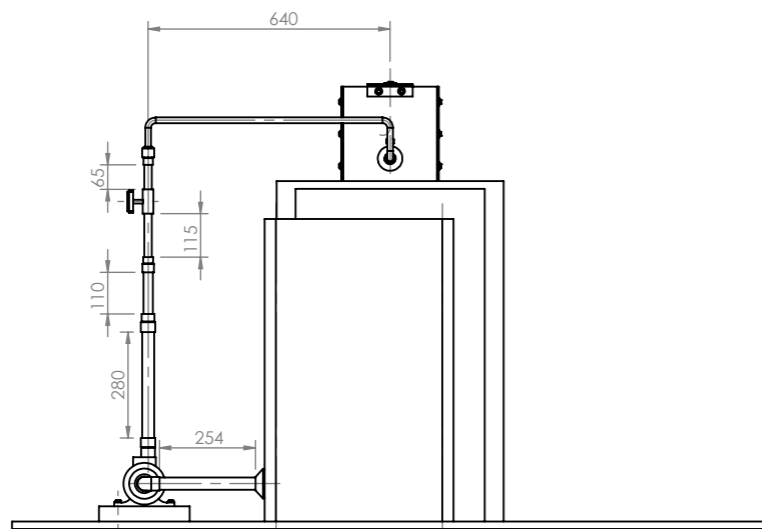
SILVA, André Luiz; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**. 2ª Ed. São Paulo: Blucher, 2006.

STROHAECKER, Telmo R.; FRAINER, Vitor J. **Princípios de Tratamentos Térmicos**. Rio Grande do Sul, 2003.

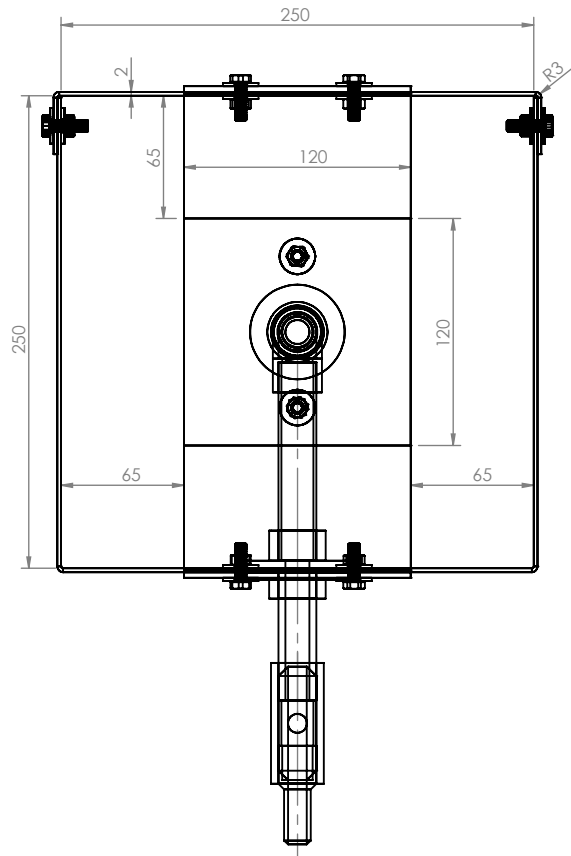
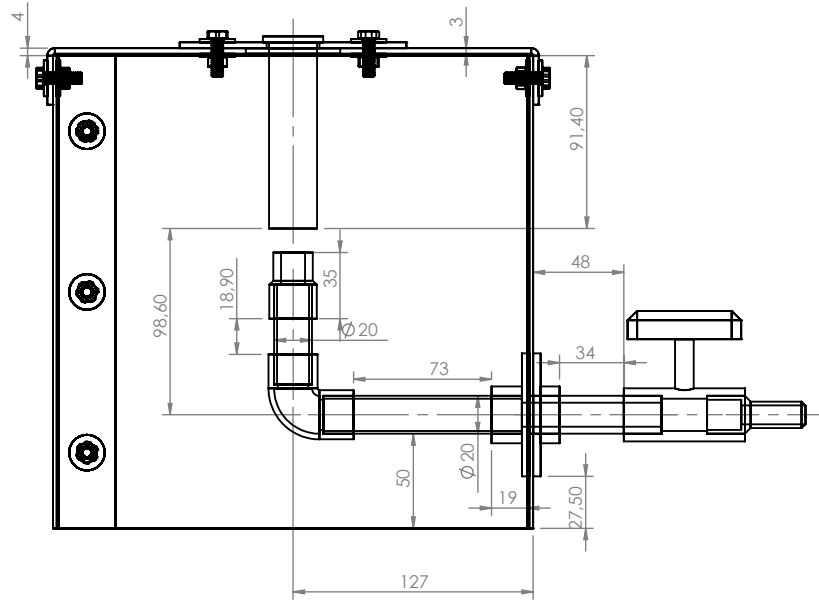
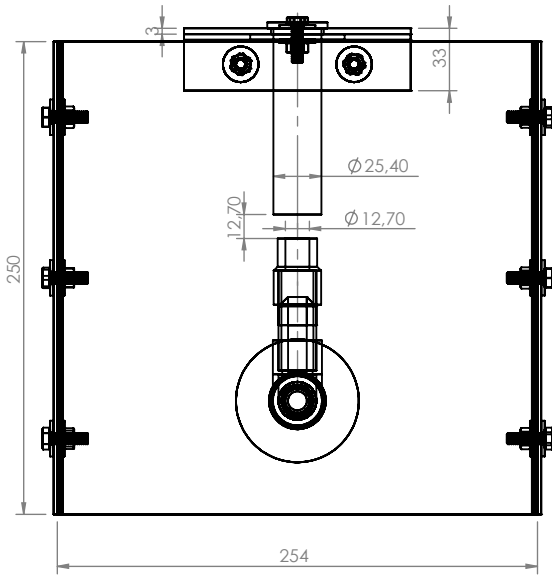
VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de Ciências dos Materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

XAVIER, Carlos Roberto et al. Projeto e Construção do Aparato Jominy: Uma Contribuição para a Pesquisa no UniFOA. *Cadernos UniFOA*, 4., 2009, Volta Redonda - RJ.

ANEXO A – DESENHOS DO PROJETO



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:				ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
								TÍTULO: Equipamento de Ensaio Jominy			
DESEN.				NOME		ASSINATURA		DATA		DES. Nº	
VERIF.										A3	
APROV.										MATERIAL:	
MANUF										PESO:	
QUALID										ESCALA:1:20	
										FOLHA 2 DE 11	



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				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

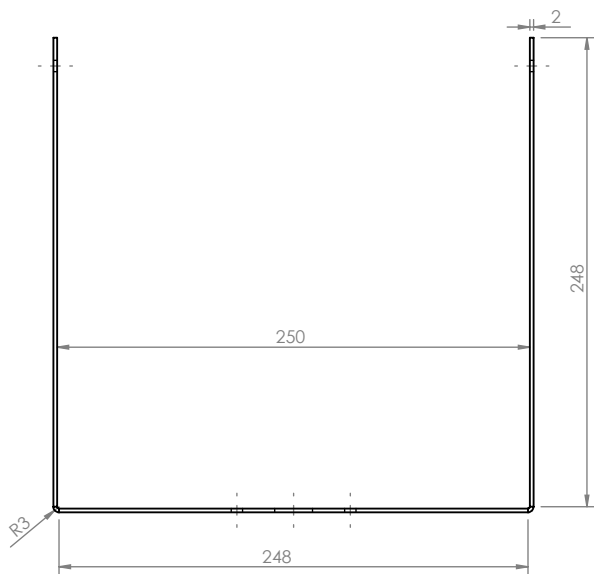
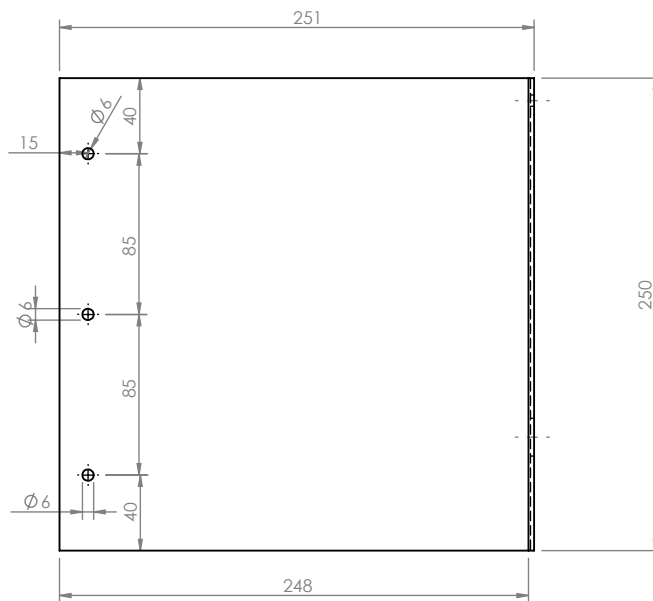
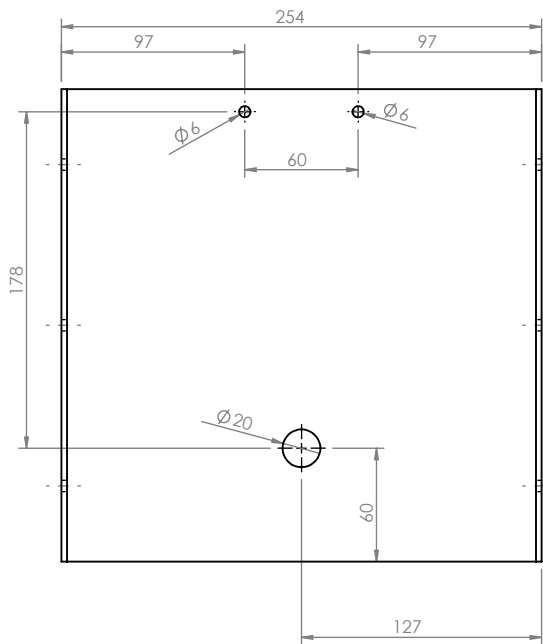
Montagem da estrutura

DES. Nº

A4

ESCALA:1:4

FOLHA 3 DE 11



SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR:
ANGULAR:

ACABAMENTO:

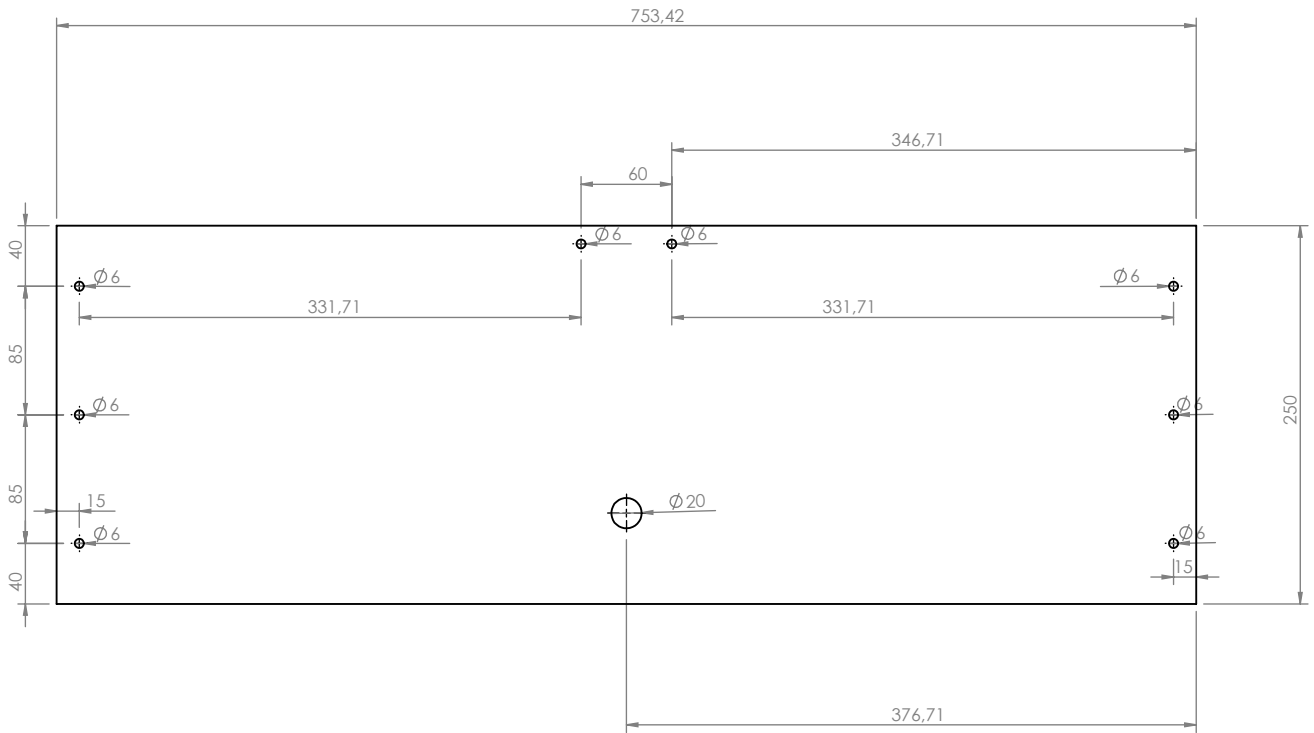
DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO

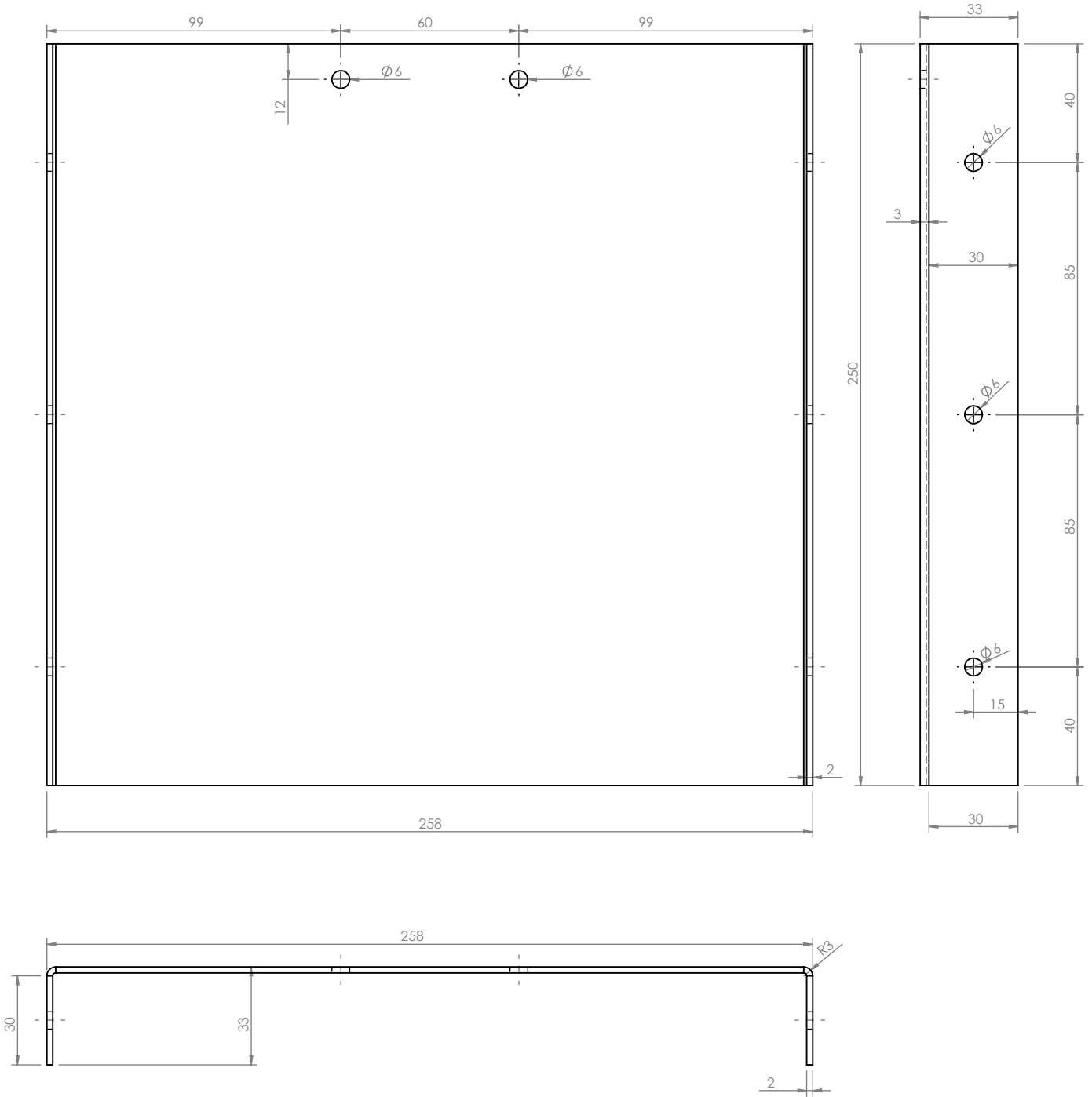
REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA		
DES.					
VERIF.					
APROV.					
MANUF					
QUALID					
				MATERIAL:	
				Alumínio	
				PESO:	

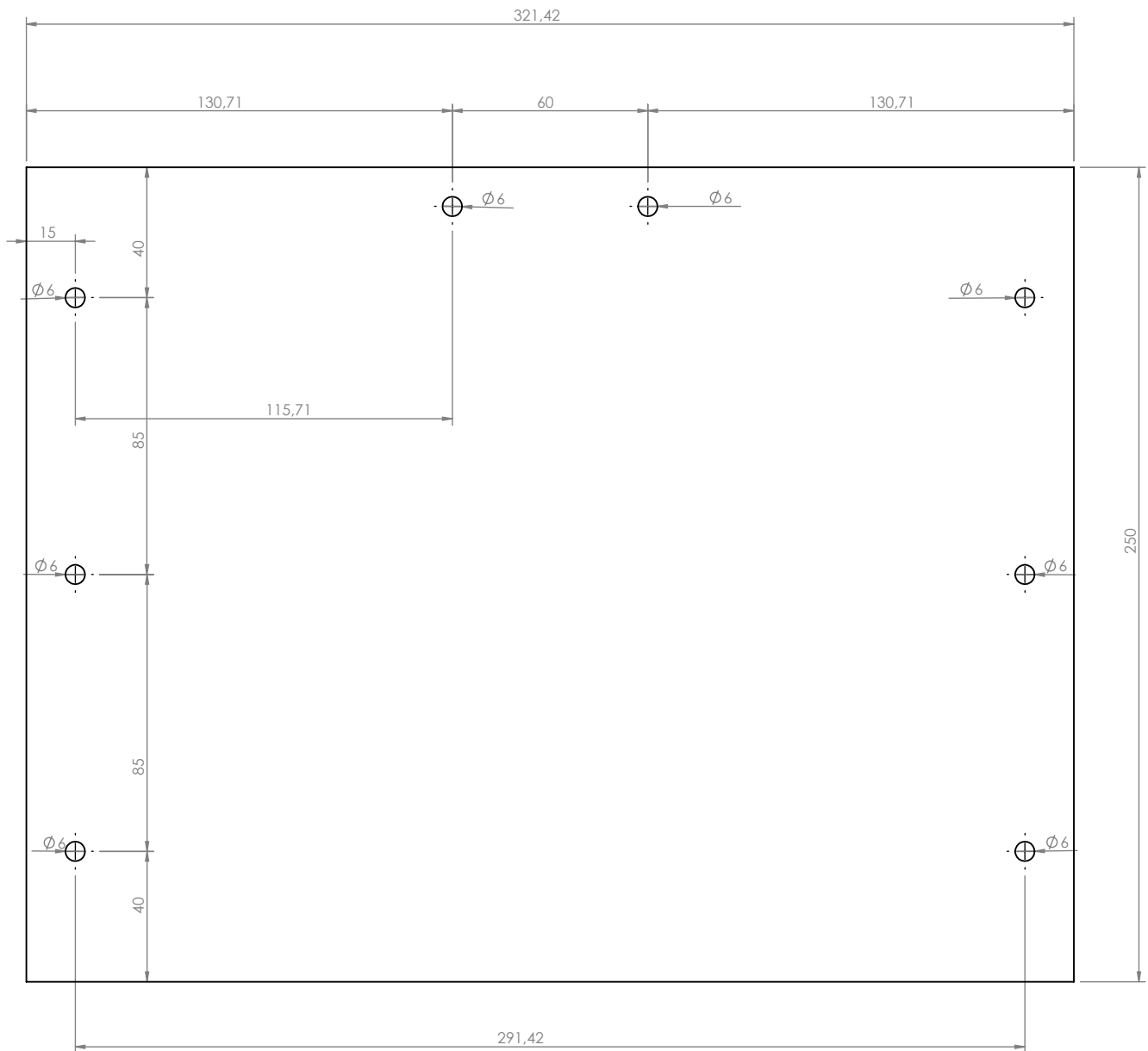
TÍTULO:	<h1>Estrutura</h1>	
DES. Nº		A4
ESCALA: 1:4		FOLHA 4 DE 11



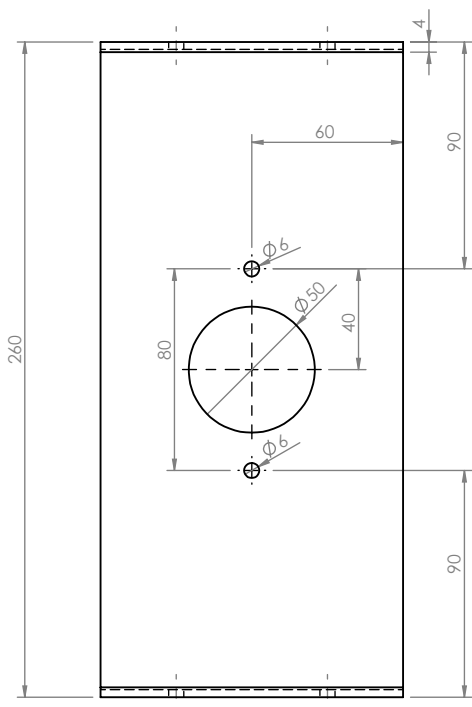
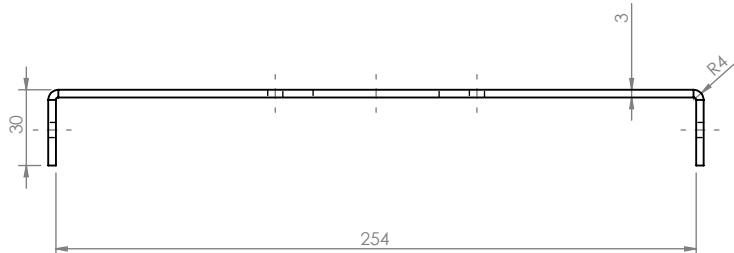
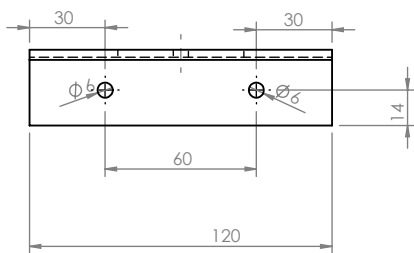
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
NOME		ASSINATURA		DATA		TÍTULO: Estrutura planificada			
DES.						DES. N°			
VERIF.									
APROV.									
MANUF									
QUALID				MATERIAL: Alumínio		A4			
				PESO:		ESCALA: 1:5		FOLHA 5 DE 11	



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.									<h1>Encaixe da estrutura</h1>				
VERIF.													
APROV.													
MANUF													
QUALID						MATERIAL: Alumínio			DES. Nº			A4	
						PESO:			ESCALA: 1:2			FOLHA 6 DE 11	



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: Encaixe da estrutura planificado			
DES.						DES. Nº			
VERIF.									
APROV.									
MANUF									
QUALID				MATERIAL: Alumínio		A4			
				PESO:		ESCALA: 1:2		FOLHA 7 DE 11	



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				MATERIAL:	
				Aço inoxidável	
				PESO:	

TÍTULO:

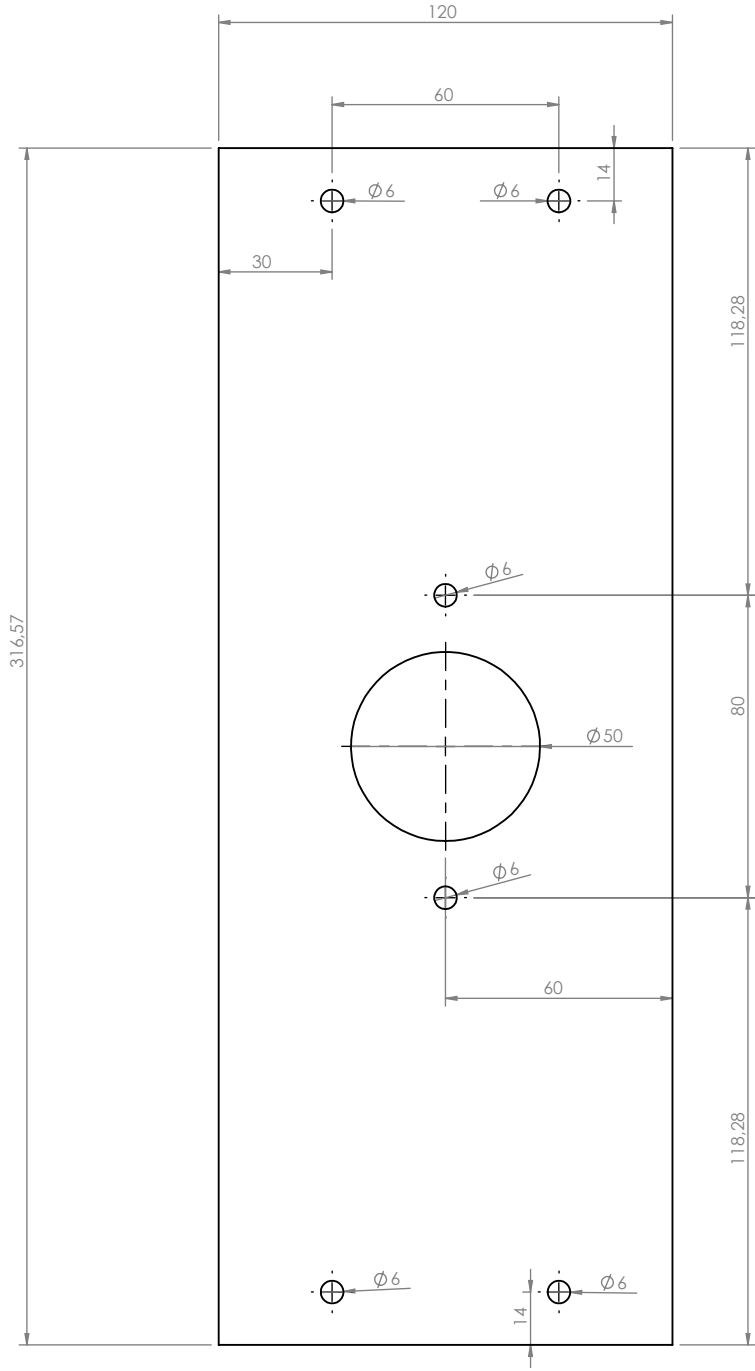
Encaixe para corpo de prova

DES. Nº

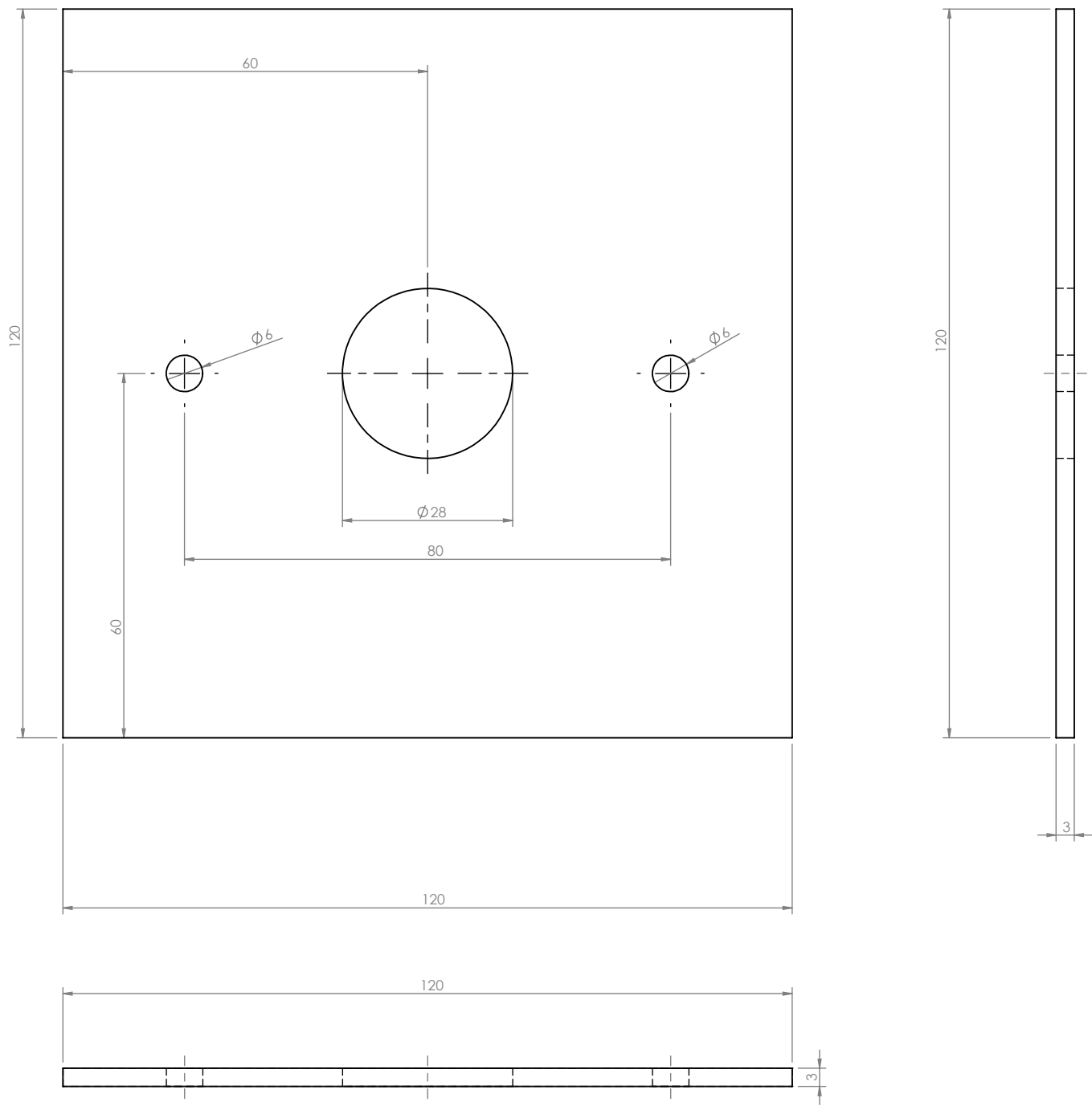
A4

ESCALA: 1:3

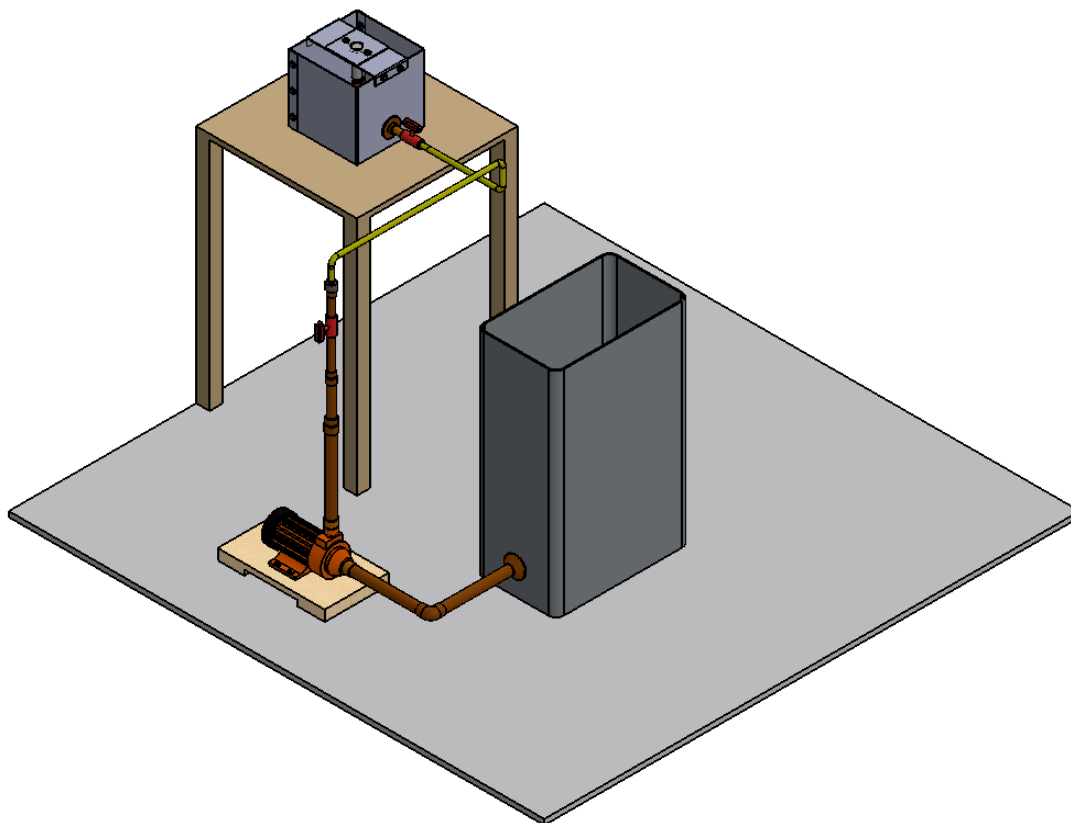
FOLHA 8 DE 11



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: <h1>Encaixe para corpo de prova planificado</h1>			
DES.				MATERIAL: Aço inoxidável		DES. Nº		A4			
VERIF.				PESO:		ESCALA: 1:2		FOLHA 9 DE 11			
APROV.											
MANUF											
QUALID											



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: <h1>Apoio superior</h1>			
DES.								DES. Nº			
VERIF.								A4			
APROV.								MATERIAL: Aço inoxidável			
MANUF								PESO:			
QUALID								ESCALA: 1:1			
								FOLHA 10 DE 11			



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				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

Equipamento de Ensaio Jominy

DES. Nº

A4

ESCALA: 1:20

FOLHA 11 DE 11