

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

FELIPE NASCIMENTO DE ALMEIDA

LUCAS DA SILVA PIMENTEL

PEDRO GABRIEL KOENGGAN FIALHO DO AMARAL

ROBERTO SILVA POLITO JUNIOR

ANÁLISE COMPARATIVA DE AÇOS ALTO CARBONO

VOLTA REDONDA

2019

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ANÁLISE COMPARATIVA DE AÇOS ALTO CARBONO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Nomes:

Felipe Nascimento de Almeida

Lucas da Silva Pimentel

Pedro Gabriel Koengkan Fialho do Amaral

Roberto Silva Polito Junior

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

VOLTA REDONDA

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos:

Felipe Nascimento de Almeida
Lucas da Silva Pimentel
Pedro Gabriel Koengkan Fialho do Amaral
Roberto Silva Polito Junior

ANÁLISE COMPARATIVA DE AÇOS ALTO CARBONO

Orientador:

PROF. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

V. Redonda, ____ de _____ de 2019.

Banca Examinadora:

PROF. Dr. ALEXANDRE FERNANDES HABIBE

PROF. Dr. ALEXANDRE ALVARENGA PALMEIRA

PROF. Me. RUI AURELIO BARBOSA

Dedicamos esta Monografia a Deus e aos nossos pais e familiares por tudo que representam a nós.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pela força e sustento durante toda a caminhada em meio a todas as situações e pela oportunidade de estar realizando este sonho. Aos nossos pais e irmãos pelo apoio incessante durante todo o tempo. Aos familiares pelo apoio. A todos os amigos que fizemos ao longo de todo o curso e que contribuíram nesta conquista. Aos professores por toda contribuição para nosso conhecimento e nos ajudar a nos tornarmos verdadeiros engenheiros.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a análise comparativa do aço damasco e dos aços que o compõem. O aço damasco é uma variação do aço, sendo ele um material heterogêneo, onde é misturado dois ou mais tipos aços diferentes. A metodologia utilizada foi a busca, com base em livros e estudos, dos aços adequados para o tipo de análise escolhida, e também a realização de ensaios mecânicos a fim de obter resultados consistentes. Portanto, foram selecionados dois aços, SAE 1080 e UHB 15N20, a partir de então, foram preparados para a realização do caldeamento. Em seguida, foram submetidos a ensaios de dureza e tração, a fim de obter os resultados para comparação entre eles. Com base nos resultados obtidos, vimos que o aço damasco, mesclou as propriedades dos dois aços, tanto nos ensaios de tração, como nos de dureza. Vimos que é um aço que possui propriedades adequadas para a aplicação de origem, que é a cutelaria. Suporta cargas suficientes para uso seguro e adequado nesta função, diferente do meio industrial, onde não teria grande utilidade. Podemos então concluir que foram obtidos resultados positivos em relação aos objetivos propostos, que apesar de ser um aço pouco utilizado nos dias atuais, ainda é um aço diferente e de elevada beleza. Sendo um aço muito requisitado por colecionadores e artesãos.

Palavras Chave: Aço Damasco; Ensaio de Tração; Ensaio de Dureza

ABSTRACT

The present work has as objective the comparative analysis of damascus steel and its composing steels. Damascus steel is a variation of steel, which is a heterogeneous material, where two or more different types of steel are mixed. The methodology used was a research, based on books and studies, about the appropriate steels for the type of analysis chosen, and also to perform mechanical tests in order to obtain consistent results. Therefore, two steels were selected, SAE 1080 and UHB 15N20, from then on, they were prepared for the welding. They were then submitted to hardness and traction tests in order to obtain the results for comparison between them. Based on the results obtained, we saw that damascus steel mixed the properties of both steels in both tensile and hardness tests. We have seen that it is a steel that has properties suitable for the original application, which is cutlery. It supports sufficient loads for safe and proper use in this function, unlike the industrial environment, where it would not be very useful. We can then conclude that positive results were obtained in relation to the proposed objectives, which despite being a steel barely used today, is still a different steel and of high beauty. Being a steel in high demand by collectors and artisans.

Keywords: Damascus Steel; tensile test; hardness test; tension; deformation.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Objetivos	15
1.1.1.	Objetivo Geral	15
1.1.2.	Objetivos Específicos	16
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1.	Evolução Histórica.....	17
2.1.1.	A Idade dos metais.....	17
2.1.2.	A Idade do Ferro	18
2.1.3.	A Descoberta do Aço	19
2.2.	A Criação do Aço Damasco	20
2.2.1.	Tipos e processos	22
2.2.2.	Aço Damasco na Cutelaria.....	23
2.3.	Fabricação do Aço Damasco	24
2.4.	Propriedades Mecânicas.....	31
2.4.1.	Tensão/Deformação:.....	32
2.4.2.	Sistema de Escorregamento e Discordâncias.....	33
2.4.3.	Deformação Elástica	35
2.4.4.	Deformação Plástica	37
2.4.5.	Deformações e Tensões nominais	38
2.4.6.	Resistência à Fratura (Tenacidade)	39
2.4.7.	Dureza.....	40
2.4.8.	Fluência.....	40
2.4.9.	Resiliência	41
2.4.10.	Fadiga	42
2.4.11.	Normas Técnicas	43

2.5.	Ensaio Mecânicos	44
2.5.1.	Ensaio de tração	45
2.5.2.	Diagrama Tensão x Deformação	46
2.5.3.	Corpo de Prova	47
2.5.3.1.	Medição do Alongamento.....	49
2.5.3.2.	Medição da Redução da Área Útil.....	50
2.5.4.	Equipamentos para Ensaio de Tração	50
2.5.5.	Métodos de Ensaio de Tração	52
2.5.6.	Ensaio de Dureza.....	53
2.5.6.1.	Ensaio de Dureza <i>Brinell</i>	53
2.5.6.2.	Ensaio de Dureza <i>Rockwell</i>	56
2.5.6.3.	Ensaio de Dureza <i>Vickers</i>	58
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	60
3.1.	Fabricação dos <i>Billets</i>	60
3.2.	Ensaio mecânicos	62
3.2.1.	Ensaio de Tração	62
3.2.2.	Ensaio de Tração Aço SAE 1080.....	64
3.2.2.1.	Corpo de Prova Aço SAE 1080.....	64
3.2.2.2.	Corpo de Prova Aço SAE 1080.1.....	64
3.2.3.	Ensaio de tração Aço UHB 15N20	65
3.2.3.1.	Corpo de Prova Aço UHB 15N20.....	65
3.2.3.2.	Corpo de Prova Aço UHB 15N20.1.....	66
3.2.4.	Ensaio de tração Aço Damasco	66
3.2.4.1.	Corpo de Prova Aço Damasco (Misto).....	66
3.2.4.2.	Corpo de Prova Aço Damasco (Misto.1).....	67
3.2.5.	Ensaio de Dureza.....	68
3.2.5.1.	Ensaio de dureza Aço SAE 1080.....	69

3.2.5.2. Ensaio de dureza Aço UHB 15N20 (CP 15N20)	69
3.2.5.3. Ensaio de dureza Aço Damasco (CP Misto)	70
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1.1. Resultados Ensaio de Tração	71
4.1.1.1. Aço SAE 1080	71
4.1.1.2. Aço SAE 1080.1	72
4.1.1.3. Aço UHB 15N20	73
4.1.1.4. Aço UHB 15N20.1	74
4.1.1.5. Aço Damasco (Misto)	75
4.1.1.6. Aço Damasco (Misto.1)	76
4.1.2. Resultados Ensaio de Dureza	77
4.1.2.1. Aço SAE 1080	77
4.1.2.2. Aço UHB 15N20	78
4.1.2.3. Aço Damasco (Misto)	78
4.1.3. Discussões	79
5. CONCLUSÃO	80
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira tentativa de se estabelecer uma sequência de eras baseadas nos materiais.....	17
Figura 2 - Artefatos decorativos e ferramentas de ferro da idade do ferro.	18
Figura 3 - Mosquete feito em aço Damasco.....	20
Figura 4 - Faca de bolso em aço Damasco.....	21
Figura 5 - Exemplo de forja	26
Figura 6 - Aço preparado para a produção do Aço Damasco	28
Figura 7 - Desenho de aço damasco, e preparação para multiplicação de camadas	30
Figura 8 - Tipos de Tensões.....	32
Figura 9 - Sistemas de Escorregamento	34
Figura 10 - Lei de Hooke: gráfico de $\sigma \times \epsilon$, resultante em uma reta	35
Figura 11 - Diagrama de Tensão-deformação específica para quatro tipos diferentes de aço	37
Figura 12 - Gráfico tensão x deformação demonstrando a área no qual representa a tenacidade.....	39
Figura 13 - Representação da resiliência e tenacidade no gráfico tensão x deformação Fonte:	42
Figura 14 - Curva de fadiga esquemática	43
Figura 15 - Diagrama tensão-deformação de um material com fase plástica.	46
Figura 16 - Representação do limite elástico	47
Figura 17 - Corpo de prova de seção circular	48
Figura 18 - Partes de um corpo de prova de seção retangular	48
Figura 19 - Medição da deformação do corpo de prova.....	50
Figura 20 - Desenho esquemático de uma máquina universal.....	51
Figura 21 - Penetrador avançando contra a superfície da peça.....	54
Figura 22 - Corpos de prova usinados	62
Figura 23 - Máquina Universal	63
Figura 24 - Corpo de Prova SAE 1080.....	64
Figura 25 - Diagrama Tensão x Deformação CP SAE 1080	71
Figura 26 - Corpo de Prova SAE 1080.1	64

Figura 27 - Diagrama Tensão x Deformação CP1080.1	72
Figura 28 - Corpo de Prova Aço UHB 15N20.....	65
Figura 29 - Diagrama Tensão x Deformação CP 15N20.....	73
Figura 30 - Corpo de Prova Aço UHB 15N20.1.....	66
Figura 31 - - Diagrama Tensão x Deformação CP 15N20.1.....	74
Figura 32 - Corpo de Prova Aço Misto	66
Figura 33 - Diagrama Tensão x Deformação CP Misto.....	75
Figura 34 - Corpo de Prova Misto.1	67
Figura 35 - Diagrama Tensão x Deformação CP Misto.1.....	76
Figura 36 - Durômetro, equipamento utilizado no ensaio de dureza.....	68
Figura 37 - CP 1080.....	69
Figura 38 - CP 15N20	69
Figura 39 - CP Misto	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química Aço SAE 1080.....	27
Tabela 2 - Composição Química Aço UHB 15N20.....	28
Tabela 3 - Módulo de elasticidade, cisalhamento e coeficiente de Poisson de algumas ligas	36
Tabela 4 - Parâmetros do ensaio Brinell padronizados.....	55
Tabela 5 - Diâmetros da esfera e valores de carga.....	55
Tabela 6 - Relação das escalas mais usadas para o ensaio Rockwell na indústria..	57
Tabela 7 - Dados CP SAE 1080.....	72
Tabela 8 - Dados CP SAE 1080.1.....	73
Tabela 9 - Dados CP UHB 15N20.....	74
Tabela 10 - Dados CP UHB 15N20.1.....	75
Tabela 11 - Dados CP Misto	76
Tabela 12 - Dados CP Misto.1	77
Tabela 13 - Ensaio de Dureza CP 1080.....	77
Tabela 14 - Média dos valores coletados nos ensaios no CP 15N20	78
Tabela 15 - Média dos valores coletados nos ensaios no CP Misto	78
Tabela 16 - Valores coletados dos ensaios de Tração e Dureza	79

LISTA DE SIGLAS

ASTM - *American Society for Testing and Materials.*

ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

ISO - *International Standards Organization.*

DIN - *Deutsches Institut für Normung.*

CP - *Corpo de Prova.*

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução industrial, a evolução da engenharia e dos materiais, foram desenvolvidos variados tipos de aços, com propriedades e características diferentes, e sendo aplicados as mais diversas operações e funções. As variações químicas, e os processos térmicos aos quais os aços eram submetidos variavam as suas características, ganhando dureza, os tornando mais tenazes, etc.

Porém, com o passar do tempo, as variações de aços produzidos pela união de dois ou mais exemplares diferentes de aços surgiram, esta variação recebeu o nome de “aço damasco” em homenagem ao local onde foi encontrado pela primeira vez esse material. E ao longo da história, foram encontradas variações do aço damasco, cada um com sua característica.

As propriedades mecânicas dos aços, são derivadas dos processos por quais eles são expostos, e por sua composição química. Para a confecção do aço damasco, utilizamos o processo de caldeamento, fazendo união de dois ou mais tipos de aços. É um aço muito utilizado para a fabricação de facas, e ornamentos, devido a beleza gerada pelos padrões e desenhos que conseguem ser feitos ao longo da sua superfície. É um material difícil de se encontrar, devido ao grau de dificuldade de sua fabricação, o que valoriza produtos fabricados em aço damasco.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo a ser atingido neste trabalho, é apresentar sobre o processo de confecção do damasco e a realização de ensaios mecânicos, sendo eles de dureza e tração de corpos de provas fabricados em aço damasco, e também dos aços dos quais o damasco foi gerado, a análise dos resultados encontrados através dos ensaios, e uma comparação verificando se ele é um aço puramente estético, ou se ele também é funcional.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar uma pesquisa sobre a fabricação do aço damasco;
- Descrever o processo de formação do aço damasco;
- Conhecer os tipos de aço damasco;
- Citar outros metais que possam ser utilizados na confecção de “metais damascos”;
- Descrição e realização de ensaios de Tração;
- Descrição e realização de ensaios de Dureza;
- Análise e comparação dos resultados obtidos;
- Conclusão se o aço damasco é puramente estético, ou tem vantagens.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Evolução Histórica

2.1.1. A Idade dos metais

Há divergências arqueológica quanto aos primeiros materiais metálicos a serem utilizados pela humanidade, a análise de datação de objetos encontrados em sítios arqueológicos são, até os dias atuais, grandes motivos de discussões e controvérsias, isso devido à importância destes para evolução histórica.

O surgimento da utilização de materiais metálicos no cotidiano é historicamente nomeado como a Idade dos Metais. A teoria arqueológica majoritária diz que os primeiros materiais metálicos a serem utilizados para criação de artefatos foram o cobre, o bronze e o ferro; tais metais ficaram marcados por eras, como demonstrado na figura 1.



Figura 1 - Primeira tentativa de se estabelecer uma sequência de eras baseadas nos materiais.

Fonte: R. F. Navarro

O cobre, ponto de partida da idade dos metais, foi o metal pioneiro a ser usado na fabricação de artefatos e armamentos, foi um período de extrema importância devido a evolução do conhecimento sobre os processos metalúrgicos.

O segundo material a ser utilizado foi o bronze, sendo este derivado de compostos à base de estanho e cobre, numa tentativa de aumentar o rendimento do metal, pois o uso do cobre estava ficando inviável devido a sua grande demanda.

Estes materiais, cobre e o estanho, eram materiais supervalorizados devido a sua difícil extração de jazidas, então a descoberta do ferro foi um marco de grande importância, devido a sua alta durabilidade e maior facilidade de manipulação e extração.

2.1.2. A Idade do Ferro

As armas e ferramentas mais antigas de ferro, tem indícios seguros de extração de meteoritos, utilizados principalmente pelos egípcios, mas existem divergências arqueológicas de que o ferro foi uma descoberta de subproduto a partir da extração do cobre, onde no processo de fusão do material para separá-lo da pedra, verificaram a existência de um segundo material, o ferro.

O ferro então, passou a ser encontrado de materiais e fragmentos expostos ao solo. Este além da enorme facilidade de ser encontrado, se descobriu de maior facilidade de ser extraído e não precisavam de grandes procedimentos para o fazer tomar forma de armamentos e artefatos (figura 2), bastava fundido e moldado o material, ou apenas martelar enquanto o material estava aquecido.



Figura 2 - Artefatos decorativos e ferramentas de ferro da idade do ferro.

Fonte: R. F. Navarro

A era do ferro foi marcada como o fim da Idade dos Metais, com a descoberta da escrita, o ferro deixou de ser o marco mais importante da época, porém não o diminuído em sua importância, pois o material protagonizou os avanços na agricultura e caça, devido a sua maior resistência e sua facilidade de manipulação, o que facilitou cada vez mais o surgimento de diferentes tipos de armas e ferramentas, o que gerou maior expansão territorial dentre outros avanços.

Mesmo não sendo o marco histórico da época, tal fato não impediu os avanços deste em processos metalúrgicos e de criação.

2.1.3. A Descoberta do Aço

Dentro dos processos metalúrgicos envolvendo o ferro, descobriram uma nova possibilidade, que se daria a partir da diminuição de carbono ao ferro, originando o aço, já que o ferro fundido é um material de fragilidade muito alta, devido ao alto teor de carbono encontrado em sua composição. Para chegar ao produto final, então, é necessário que ocorra a extração parcial do carbono e outros elementos, do ferro fundido, isso se dá através do processo de redução aplicado ao ferro.

Essa descoberta se deu com a criação de fornos de carvão vegetal que permitiam não só a purificação do ferro como também, adicionar propriedades de resistências no material obtido, no caso o aço, era de baixo custo ensejando a possibilidade de ser produzido em grande escala, sendo também, mais resistente a desgaste e impactos que o ferro fundido. O material mais produzido no mercado, passou a ser o aço.

O aço pode ser encontrado em diversas composições, estas possuindo diferentes características mecânicas. Dos diferentes tipos de aços, podem haver pequenas variações de aços comuns, usadas em diversas aplicações, e também aços especiais, que podem ser utilizados na fabricação de ferramentas e utensílios especiais. Outrossim, na época o foco eram os artefatos bélicos, motivados pelas guerras de territórios entre povos, dando necessidade a técnica de fabricação de

espadas entre outras armas, que exigiam a combinações de diferentes propriedades mecânicas, surgindo assim o aço damasco.

2.2.A Criação do Aço Damasco

O aço damasco é uma variação das derivações do aço, sendo ele um material heterogêneo, onde é misturado dois ou mais tipos aços diferentes, com diferentes composições. Não se sabe ao certo sobre o surgimento do aço damasco, porém os primeiros relatos obtidos sobre esse material têm origem por volta de 500 a.C, na antiga cidade de Damasco, hoje capital da síria. O termo “Aço Damasco” originou-se da cidade, partindo das cruzadas, protagonizada pelos europeus, que se depararam com esses artefatos de alta qualidade, na cidade de Damasco. A partir desse contato, dos ingleses com os armamentos, decidiram importar lingotes do aço, para produzir mosquete (figura 3), pensando na segurança de seus soldados, visto que com a flexibilidade do aço, o mosquete sofria deformação, e não produzia estilhaços, evitando ferimentos.



Figura 3 - Mosquete feito em aço Damasco

Fonte: Figiel

Existem algumas lendas, que dizem que espadas encontradas na época, feitas por aços damascos eram capazes de cortar as espadas de seus oponentes com apenas um golpe, sem sofrer nenhum dano, outras histórias afirmam que era possível dobrar uma espada de aço damasco, sendo possível encostar sua ponta ao cabo, sem quebrar ou deformar.

As características mais marcantes dos instrumentos confeccionados por aço damasco, são a estética e a eficiência do material, já que o metal expressa em sua superfície linhas que diferem os materiais utilizado na fabricação, visto que o aço é obtido através do caldeamento de dois ou mais materiais, alternando características mecânicas dos mesmos. Essa fabricação de elementos cortantes tinha como objetivo, obter um excelente gume, e alta tenacidade, para evitar ao máximo danos.



Figura 4 - Faca de bolso em aço Damasco

Fonte: *MAB Custom Knives*

Com o passar do tempo, a metalurgia foi evoluindo, atingindo novos níveis de tecnologia, aumentando o nível de confiança nos aços comuns, e tornando suas aplicações cada vez menos caras, fez com que o aço damasco Sírio fosse perdendo espaço, fazendo com que o segredo dos ferreiros da cidade de Damasco fosse perdido, hoje em dia, os aços damascos são meras tentativas de se obter o original.

2.2.1. Tipos e processos

São conhecidos diferentes métodos para obtenção do aço damasco, os mais famosos e empregados ainda no dia de hoje são o Damasco sírio, Damasco japonês ou Contemporâneo e o damasco de pó, o assunto será abordado mais a fundo a seguir:

- Processo do aço damasco sírio: o processo de fabricação do aço damasco sírio é iniciado com a escolha de alguns aços com composições e teores diferentes, seguindo da purificação destes aços. Em seguida sobrepõe-se os lingotes em uma forja e aquece até a temperatura de 1000°C, afim de que ocorra o caldeamento dos aços, então grãos de vidros são derramados, isso acontece inúmeras vezes afim de o vidro entre em fusão, tornando uma estrutura líquida e se igualando a temperatura da barra. Feito isso a temperatura é elevada até 1100°C e então é iniciado um forjamento manual, onde os esforços aplicados fazem a barra ser dobrada inúmeras vezes purificando-a e transformando-a em uma estrutura homogênea, podendo ser dobrada em até 20 vezes em si mesma. Ao final desse processo se obtém uma superfície com desenhos de diferentes formas no produto final.
- Processo do aço damasco de pó: consiste em misturar pó de um aço determinado, com estruturas de aços de outra composição, em uma caixa que é selada por solda, para evitar o vazamento e então é aquecida a 1200°C. A caixa é submetida a banhos de fluxo de soldas, podendo ser eles trincalox, trincal ou algum outro. Por fim a estrutura é forjada e normalizada, podendo ser aplicada a outros procedimentos.
- Processo do aço damasco japonês: esse processo é o mais complexo, para que seja feito, é necessário construir uma cova, com 5 varas posicionadas em suas laterais, e mais duas posicionadas nas pontas, essas varas são envoltas por argila ou terra refrataria. Como são necessários sopros constantes, são adaptados também nas extremidades, foles, por onde os operários fazem esses sopros. Essa vala é então coberta por carvão vegetal, estes em

tamanhos padronizados de uma polegada quadrada, e depois é preenchida por minério de ferro, moído com folhas verdes e gravetos. Esse trabalho ocorre diversas vezes, a uma temperatura de 1200 graus, podendo durar entre 72h e 96h formando cristais, resultado da fusão dos materiais, e então, o produto obtido no processo resfria durante 7 dias. Feito isso ocorre um processo de seleção dos cristais formados a partir da análise de formação de carboneto e bainitas, e então submetidas a um primeiro processo de forjamento, buscando diminuir a dureza e normalizar a estrutura dos cristais, e enfim são reaquecidas até 1200°C e então partir para mais um processo de forjamento.

O aço damasco pode possuir algumas propriedades que contribuem na utilização de aços trabalhados a frio, como os utilizados na confecção de ferramentas que são aplicados a diversas operações, como, de corte, estampagem e prensagem. Algumas dessas principais propriedades são, elevada resistência ao desgaste, alta tenacidade, grande estabilidade dimensional, entre outros.

- Tenacidade: como a aplicação majoritária desse aço é na cutelaria, é necessária uma capacidade elástica maior que os demais aços, a fim de absorver os esforços aplicados, sem deformar ou romper; a alta tenacidade também concede ao material, capacidade de absorção de energia recebida.
- Estabilidade dimensional: essa propriedade, é importante, pois garante que o material não se deforme ao sofrer tratamentos térmicos, dando estabilidade na dimensão do produto final.
- Resistência ao desgaste: implica diretamente no desgaste do fio do corte, sendo de grande importância em facas, punções e estampo, se destacando por exercer grande quantidade de cortes, sem sofrer avarias

2.2.2. Aço Damasco na Cutelaria

Uma faca de aço damasco é um item colecionável, o que mais chama atenção nas facas artesanais são, principalmente sua beleza, pelo formato de sua superfície, sua resistência e a afiação de seu corte. Algo que também desperta admiração é a

história e tradições em que seu nome é envolvido, que dá um ar de mistério e desperta muita curiosidade.

Existem uma grande gama de facas forjadas em aço damasco, e cada uma é fabricada para um fim especial. A seleção dos aços a serem usados na fabricação da faca é decidido a partir do tipo de faca e objetivo de sua aplicação, podendo variar desde acampamento até mesmo para caça, e cada tipo de faca requer uma diferente habilidade do cuteleiro. Os tipos mais comuns de acordo com (Davidson, 2016) são: Facas de escultura, facas de caça, facas serrilhadas, *flip-flop knives*, *Rigging knives*, *Taticle Folding Knives*, *Taticle fixed blades*.

A durabilidade de uma faca de aço damasco, em comparação a uma faca convencional, é bastante elevada, isso se os devidos cuidados e precauções necessárias forem tomados. Ou seja, uma faca Damasco possui uma beleza indescritível, devido ao seu design, é uma faca considerada forte e também duradoura.

2.3. Fabricação do Aço Damasco

A confecção do aço damasco é considerado um processo complicado. Derivado do processo de caldeamento, e seu objetivo é confeccionar um aço derivado de dois diferentes tipos de aços. Normalmente utiliza-se um aço com elevado teor de carbono, com elevada resistência a tração e dureza, somado a um aço com médio percentual de carbono, com um alto teor de níquel, que permite uma maior ductilidade do material, e uma maior resistência a corrosão devido ao níquel inserido em sua composição.

O processo de aquecimento de duas ou mais peças metálicas, e posteriormente soldagem superficial desses dois aços por impacto mecânico, ou prensagem, é denominado caldeamento. E esse é um dos principais métodos de obtenção do aço damasco.

Existem algumas variações de fabricação do aço damasco, cada processo é característico de uma época, e local onde foram inventados, alguns mais complexos que outros. O objetivo é o mesmo, o processo é parecido, mas o produto final pode ser bem distinto.

Os dois tipos de processos mais utilizados na confecção do aço damasco são classificados como o processo por cadinho, e o processo de soldagem por tarugos.

O processo de fabricação por cadinho, também conhecido como “damasco de pó”, é um processo bastante utilizado na Europa atualmente, onde uma caixa metálica aberta de um dos lados, é preenchida com pedaços de um determinado tipo de aço, e completa com pó de um segundo tipo de aço, podendo ser confeccionados desenhos, de acordo com o posicionamento das peças colocadas. Essa caixa é preenchida com o pó de aço, visando evitar a presença de ar dentro da caixa, e posteriormente selada e soldada para evitar que os materiais no seu interior não vazem, e não se movam. Então essa caixa, é aquecida a uma temperatura próxima ao ponto de fusão do aço, uma temperatura próxima ou superior à 1100°C, e posteriormente submetida a impactos mecânicos feitos de maneira manual com marretas e martelos, ou de maneira mecânica com máquinas como marteletes pneumáticos, prensas hidráulicas. E após esse processo, a caixa se transforma em um tarugo sólido de um só material.

O processo mais comum e utilizado nos dias de hoje, é o de soldagem de tarugos de aços por caldeamento, chamado de processo Moran, criado pelo falecido William Francis Moran Jr., fundador da Sociedade Americana de Ferreiros especializados em Lâminas. Esse processo é caracterizado pelo posicionamento alternado de tarugos de dois tipos de aços diferentes, com características mecânicas distintas, soldados para que seja mantida sua posição, formando um “*billet*” que parece um sanduiche de tarugos de aço. Esse *billet* é posteriormente levado a um forno, até que sua temperatura seja elevada a um ponto próximo a uma temperatura de 1100°C, com o cuidado de que todo o material deve estar a essa temperatura, considerando o tempo de encharque. Após o aquecimento do material, o mesmo é banhado algumas vezes por ácido bórico, também chamado de fluxo de solda, que tem a função de inibir a presença do oxigênio no interior do tarugo, e auxiliar na união dos materiais, e após aplicação do fluxo de solda, o feixe de tarugos de aço volta para o forno por um tempo. Após chegar novamente a temperatura de trabalho, esse material é submetido a impactos ou compressões sejam por marteletes, prensas ou martelos, com a finalidade de soldar o material, e tornar um único e inteiriço material composto de dois aços diferentes.

Outra característica do aço damasco, são os seus padrões e desenhos bem aparentes na sua superfície. Esses desenhos são definidos pelos ângulos e impactos recebidos durante os processos de conformação mecânica que o aço sofre, e a sobreposição do material na hora da montagem do *billet*.

Para a obtenção e conformação a quente do aço damasco, é necessária uma fonte de calor, em um ambiente controlado. Forja é o nome dado ao forno utilizado pelos ferreiros para aquecer o material a uma determinada temperatura para ser conformado.



Figura 5 - Exemplo de forja

Fonte: Berardo Facas *Custom*

Essas forjas, podem usar vários materiais como tipo de combustível para a reação e aquecimento do metal. Pode ser utilizado lenha, carvão, gás, ou outros materiais comburentes, e uma fonte de oxigênio para poder elevar a temperatura.

A construção da forja vem de muito tempo, e de várias maneiras. Construída a partir de um buraco no chão, cercada por pedras, de barro e lama numa estrutura vertical, onde era adicionado carvão vegetal e minério de ferro, e com a ajuda de insufladores, o aço era fabricado.

Com o passar do tempo, e a evolução da engenharia, a construção das forjas foi se aperfeiçoando, com a utilização de materiais resistentes a alta temperatura

como materiais refratários, utilização de gás como fonte de calor, e construção que permitia várias utilizações.

O material utilizado para a confecção do material de teste foram barras chatas de aço SAE 1080, caracterizado por ser um aço com alto teor de carbono, e aço UHB15N20, um aço liga de níquel que possibilita uma melhor têmpera. Esses aços são muito utilizados na cutelaria para a fabricação do aço damasco, são fáceis de trabalhar, e de se obter um bom resultado. Ambos têm uma boa resistência mecânica de maneira geral, e susceptíveis a um ótimo tratamento térmico.

Aço SAE 1080 – É uma liga simples de aço, usada para a confecção de vários tipos de equipamentos. Um material de fácil trabalho, com ótimos resultados. Possui alta dureza, chegando a 65 HRC, alta maquinabilidade. Sua composição química é a seguinte:

Tabela 1- Composição Química Aço SAE 1080

Fonte: CALLISTER

Designação	Carbono C (%)	Manganês Mn (%)	Fósforo P (%)	Enxofre S (%)
SAE 1080	0,75 ~ 0,88	0,6 ~ 0,9	0,04	0,05

Aço UHB 15N20 – É um aço carbono com alto teor de níquel, muito usado principalmente para confecção de facas de cozinha, possui boa tenacidade e alta dureza. Sua composição química é a seguinte:

Tabela 2 - Composição Química Aço UHB 15N20

Fonte: CALLISTER

Designação	Carbono C (%)	Silício Si (%)	Manganês Mn (%)	Níquel N (%)
UHB 15N20	0,75	0,3	0,4	2

Os aços são preparados, lixados com a intenção de retirar impurezas superficiais, e limpos com acetona para retirar qualquer resquício de óleo, graxa ou sujeiras ao qual o material pode ter sido exposto anteriormente, e montados no formato de um sanduiche alternando entre qual aço é colocado por vez, e soldado em suas extremidades para que se mantenham unidos, facilitando o processo de caldeamento. Pode também se adicionar uma haste feita de algum outro tipo de aço ou vergalhão na extremidade para o manuseio. Ficando pronto para a confecção do *billet* de aço damasco.



Figura 6 - Aço preparado para a produção do Aço Damasco

Fonte: Berardo Facas Custom

A próxima etapa é o aquecimento da forja construída, e do sanduiche de aços soldados. Após um tempo de encharque do material, o sanduiche é retirado do forno e limpo com uma escova de latão ou de aço, com a finalidade de retirar impurezas superficiais do material, e posteriormente recebe um banho de fluxo de solda, ou ácido bórico, em suas laterais, para facilitar o processo de caldeamento.

O *billet* então retorna para o forno, para alcançar a temperatura de caldeamento, respeitando o tempo de encharque necessário para que toda a peça alcance a temperatura de trabalho, de aproximadamente 1200°C.

O material, já aquecido, então é retirado do forno, e deve ser trabalhado de maneira rápida e certa, evitando a perda de temperatura. Então é levado para a prensa hidráulica, onde sofrerá pequenas compressões verticais, ao longo de toda sua superfície, alterando sua altura, comprimento e largura. A perda de calor é grande, e após a compressão do material, o mesmo recebe outro banho de fluxo de solda, e retorna para o forno para recuperar a temperatura de trabalho. Essa operação é repetida várias vezes, até que o *billet*, que já não é mais composto de vários tarugos de aços diferentes, agora é um pedaço único de aço, fique com as dimensões desejadas.

No processo de fabricação de damasco, na construção um sanduiche com 3 pedaços de cada tipo de aço, intercalados, o processo final desse sanduiche vai ter 6 camadas. Se após esse processo, for realizado um corte no *billet* de aço damasco em 4 pedaços, e montar um novo sanduiche e repetir o processo, esse novo *billet* terá 24 camadas de aço, e dependendo do número de repetições dessa operação, a quantidade de camadas se duplica.

Existem várias técnicas de padronização do damasco, cada um com o fim de confecção de um desenho diferente. Dentro destas técnicas, podemos citar o padrão torcido, ou padrão *Turkish*, confeccionado com a torção do *billet* em uma alta temperatura; o padrão *Leader*, onde o *billet* é desbastado com um certo padrão, em certos pontos, e conformado novamente em um perfil quadrado; o padrão mosaico, gerado pela conformação do material e construção dos sanduiches de aço damasco alternando o sentido de orientação das camadas, etc.



Figura 7 - Desenho de aço damasco, e preparação para multiplicação de camadas

Fonte: Berardo Facas Custom

Para a exibição do aço damasco, o destaque de seus padrões e desenhos, é necessário que o material seja usinado, e tenha um acabamento superficial de boa qualidade, e a imersão desse aço em um ácido percloro férrico. Esse aço reage mais com as camadas de aço carbono, enquanto as camadas de aço níquel são mais resistentes à ação corrosiva do ácido. E com um determinado tempo de reação, as camadas de aço carbono após o ataque químico do ácido, ficam com um tom mais escuro, e uma diferença de relevo em relação as camadas de aço níquel, mostrando a beleza do aço.

E para a proteção do aço, e de sua beleza, o aço pode ser exposto um processo de fosfatação, onde o aço a ser protegido será mergulhado em um recipiente contendo fosfato de manganês, com temperatura e tempo controlado sobre o aço, cobrindo as camadas de aço carbono com uma camada que protegerá o aço contra a corrosão, e posteriormente lixando a superfície do aço, retirando o excesso desse fosfato de manganês, exibindo novamente a beleza do aço damasco, e mantendo assim a proteção.

Porém, para fins acadêmicos, e de análise do material, o aço damasco a ser utilizado no experimento será derivado de um processo único de caldeamento, com aproximadamente 9 camadas, e sem nenhum tipo de padronização de desenho superficial.

2.4. Propriedades Mecânicas

É de suma importância a compreensão das propriedades mecânicas dos materiais, o que elas representam e assim como suas medidas, pois são necessárias para projetos estruturais, componentes materiais predeterminados, com o objetivo de que não venham a ocorrer falhas ou qualquer nível inaceitável de deformação.

Quando utilizados, muitos tipos de materiais estão suscetíveis a forças/cargas e em determinadas situações torna-se extremamente necessário o conhecimento das características de cada material para que se tenha um projeto condizente.

A maneira de que um material se comporta mecanicamente reflete diretamente na relação da resposta/deformação de uma força aplicada. Dentre uma grande variedade de propriedades mecânicas, será enfatizado algumas que são importantes para este estudo como: resistência à tração, ductilidade, dureza, tenacidade, entre outros. Cada uma dessas propriedades está ligada à capacidade do material de resistir às forças mecânicas ao qual ele é exposto e/ou transmiti-las.

As propriedades mecânicas de um material podem ser estudadas ao expor o mesmo a ensaios laboratoriais, e análise de seus resultados. Os mesmos são uma reprodução, sendo o mais fielmente possível, das condições em que o material será submetido sendo considerados os fatores como: as condições ambientais, também a natureza e a duração da carga aplicada.

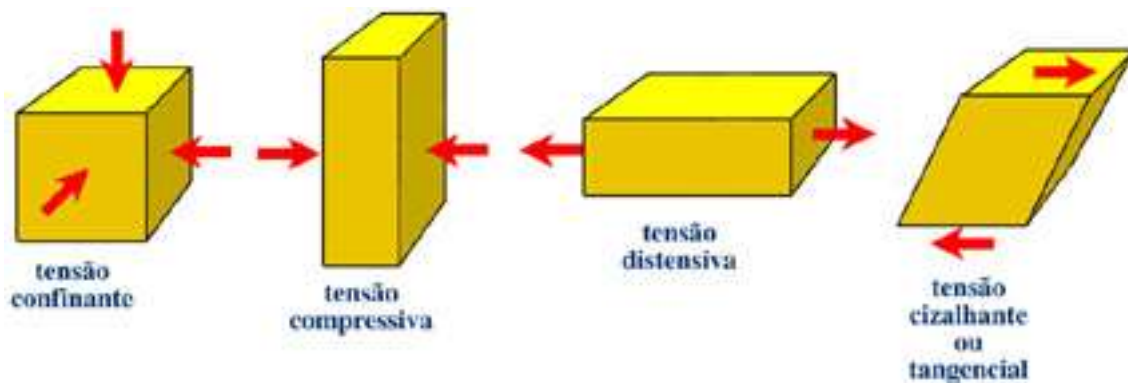


Figura 8 - Tipos de Tensões

Fonte: J. Alveirinho Dias

Podemos observar a importância das propriedades nas estruturas dos materiais e o seu aprofundado estudo.

Entre os profissionais, o Engenheiro Estrutural é o profissional que determina a tensão e distribuição delas aos membros que estão suscetíveis a cargas bem definidas, tais informações são obtidas através de ensaios experimentais ou análises teóricas matemáticas. Os Engenheiros Metalúrgicos e de Materiais são os profissionais que fabricam e produzem os materiais que atendam às exigências dos serviços.

2.4.1. Tensão/Deformação:

A carga pode ser aplicada através de três modos distintos, sendo eles: Tração, Compressão e Cisalhamento. Uma carga aplicada em uma seção reta, de maneira uniforme, sendo ela estática ou aumentando de maneira progressiva e lenta ao longo do tempo, pode-se observar o comportamento mecânico através de um ensaio de tensão-deformação. Vale salientar que na engenharia, um grande número de cargas vem de natureza torcional, ao invés de cizalhante em sua totalidade, porém mesmo com esses dois tipos de cargas, o comportamento tensão/deformação resultante é igual a componente de tração.

2.4.2. Sistema de Escorregamento e Discordâncias

Em materiais cristalinos podemos encontrar o que chamamos de discordâncias. Essas discordâncias são devidas às imperfeições do cristal, que permitem a ocorrência de um fator importante para as propriedades do aço chamado “escorregamento de planos”.

Sua movimentação (de discordâncias) é primariamente o fator responsável na deformação das ligas e metais, e os fatores que alteram a mobilidade das discordâncias são muitos, tais como: composição, exposição ao calor, processamento e etc, manipulam as propriedades mecânicas do material, como também a condutividade de materiais semicondutores, e outras características.

O principal mecanismo nos materiais cristalinos de deformação plástica é o escorregamento de planos gerados do movimento das discordâncias. Alguns sistemas de escorregamento na figura:

**SISTEMAS DE ESCORREGAMENTO OBSERVÁVEIS EM
METAIS CCC E CFC**

ESTRUTURA	PLANOS DE ESCORREGAMENTO	DIREÇÕES DE ESCORREGAMENTO	SISTEMAS DE ESCORREGAMENTO	
CFC Cu, Al, Ni, Pb, Au, Ag, γ Fe, ...	{111}	$\langle 110 \rangle$	$4 \times 3 = 12$	
CCC α Fe, W, Mo, β Brass	{110}	$\langle 111 \rangle$	$6 \times 2 = 12$	
α Fe, Mo, W, Na	{211}	$\langle 111 \rangle$	$12 \times 1 = 12$	
α Fe, K	{321}	$\langle 111 \rangle$	$24 \times 1 = 24$	

Figura 9 - Sistemas de Escorregamento

Fonte:A.E.M. PAIVA

As facilidades dessas discordâncias não se dão em todas as direções e planos cristalinos, a movimentação é dada preferencialmente através de determinados planos e, interior a estes, direções específicas, estes com a densidade atômica maior de dado reticulado cristalino.

O arranjo da direção com um plano se chama Sistema de Escorregamento (Slip System), tais com densidade atômica maior de um dado reticulado cristalino.

2.4.3. Deformação Elástica

Quando uma estrutura é deformada, o grau no qual ela se deforma ou esforço é dependente da força aplicada na mesma. A grande parte dos metais em que são submetidos a uma força de baixo nível, são proporcionais:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

A formulação expressa acima denominada Lei de Hooke:

- **E**= o módulo de elasticidade (ou Young); unidades em Mpa/GPa/psi.
- **σ** = é a força aplicada
- **ε** = é a deformação sofrida

É chamado de deformação elástica, quando tensão e deformação são proporcionais.

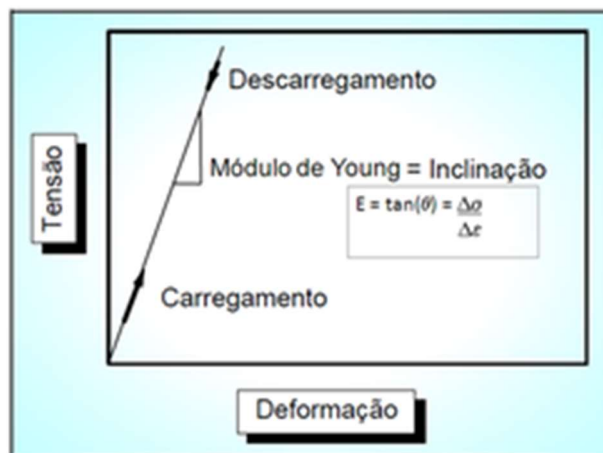


Figura 10 - Lei de Hooke: gráfico de σ x ε , resultante em uma reta

Fonte: A.E.M. PAIVA

A lei de Hooke é aproximada quando a tensão é baixa. A deformação elástica é um tipo de deformação momentânea, no qual quando encerra a aplicação da carga, o material retorna a sua originalidade.

A nível atômico, a ocorrência de deformação elástica macroscópica é dada por pequenas alterações no espaço e na extensão entre as ligações interatômicas. A consequência disso é que o Módulo de Elasticidade representa a resistência de separação dos átomos adjacentes.

Tabela 3 - Módulo de elasticidade, cisalhamento e coeficiente de Poisson de algumas ligas

Fonte: HIBBELER

Módulo de Elasticidade e de Cisalhamento e Coeficiente de <i>Poisson</i>					
Ligas Metálicas	Módulos de Elasticidade		Módulos de Elasticidade		Coeficiente de <i>Poisson</i>
	GP	10⁵ psi	GP	10⁵ psi	
Alumínio	69	10	25	3,6	0,33
Latão	97	14	37	5,4	0,34
Cobre	110	16	46	6,7	0,34
Magnésio	45	6,5	19	2,5	0,29
Níquel	207	30	76	11	0,31
Aço	207	30	93	12	0,30
Titânio	107	15,5	45	6,5	0,34
Tungstênio	407	59	160	23,2	0,28

Os materiais cerâmicos, tem por característica, maiores módulos de elasticidade do que dos metais e os polímeros são menores. Tais diferenças se dão por consequência direta dos tipos de ligações atômicas desses materiais. Aumentando a temperatura o módulo de Elasticidade propende a diminuir.

A aplicação das tensões de compressão, cisalhamento e/ou torção proporciona no material um comportamento elástico. Em baixos níveis, as características de

Tensão/Deformação são iguais, proporcionais ao módulo de elasticidade (tração e compressão).

Com a expressão abaixo podemos observar a proporcionalidade entre a tensão e deformação de cisalhamento.

$$\tau = G \cdot \gamma$$

Sendo G o módulo de cisalhamento.

2.4.4. Deformação Plástica

Em grande parte dos metais, o regime correspondente a deformação elástica é dada até aproximadamente 0,005, ao passo em que o material continua deformando além deste ponto, ocorre a deformação permanente irrecuperável, ou a chamada deformação plástica.

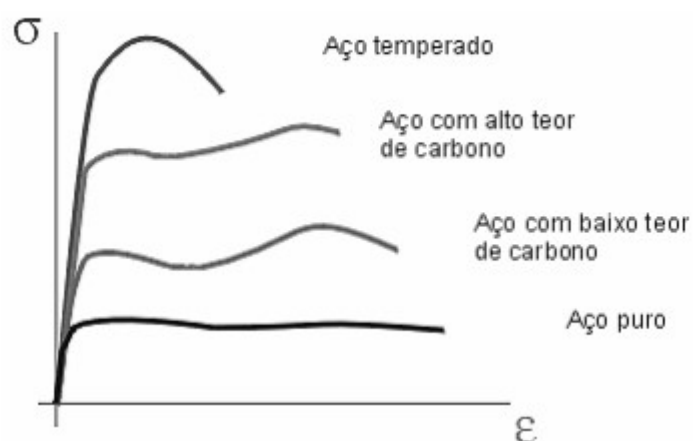


Figura 11 - Diagrama de Tensão-deformação específica para quatro tipos diferentes de aço

Fonte: BEER & JOHNSTON

Como observado no gráfico acima, em baixas tensões encontramos uma linearidade e que aumentando a tensão entramos em uma área de não-linearidade, este ponto é denominado de deformação plástica.

A deformação plástica é devido à quebra das ligações com os átomos próximos originais, levando a formação de novas ligações com átomos novos. Isto se deve ao fato de uma enorme quantidade de átomos/moléculas se moverem em relação uns aos outros e ao remover a tensão aplicada, os mesmos não retornam à posição original.

Nos sólidos cristalinos esta deformação é decorrente ao processo de escorregamento (movimento das discordâncias).

2.4.5. Deformações e Tensões nominais

Através da área inicial se define a tensão e deformação nominal, sendo elas posteriormente utilizadas nos ensaios de tração, pois durante a realização do ensaio ocorre a diminuição da seção transversal do corpo de prova, dado ao alongamento do corpo, o que dificulta a medição da tensão.

- Deformação Nominal:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o}$$

Sendo:

ε = Deformação Nominal

l_o = comprimento inicial

l_i = comprimento instantâneo antes da aplicação da carga

- Tensão Nominal

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Sendo:

σ = Tensão Nominal

F = força aplicada

A_0 = área de seção inicial

2.4.6. Resistência à Fratura (Tenacidade)

Essa resistência é dada pela tenacidade do material, que é a capacidade de absorção de energia antes da ruptura, a mesma é obtida através de um ensaio de tensão-deformação.

Como observado no gráfico, a tenacidade é a área sob a curva até o ponto de ruptura:

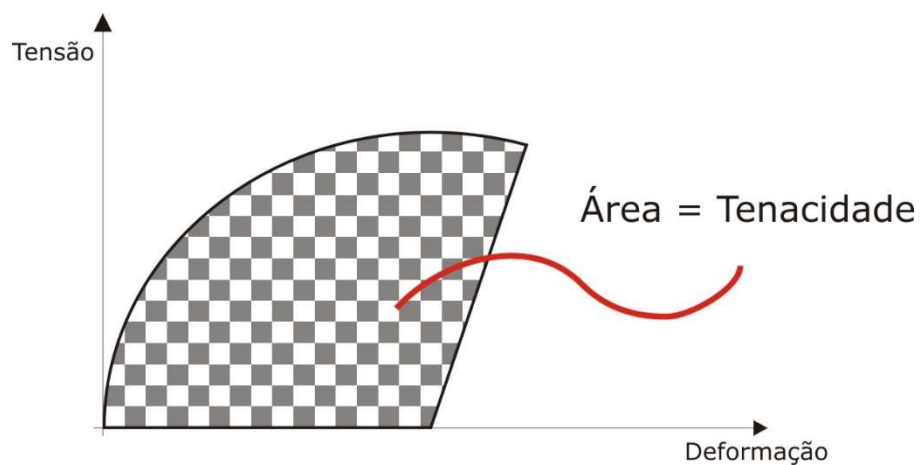


Figura 12 - Gráfico tensão x deformação demonstrando a área no qual representa a tenacidade

Fonte: HIBBELER

Um material tenaz apresenta tanto resistência quanto ductilidade e habitualmente um material considerado dúctil é mais tenaz que um material frágil.

2.4.7. Dureza

Dureza é a capacidade de um material possui de aguentar uma deformação plástica localizada. Existem diferentes modos de obtenção das medições de dureza dos materiais, sendo os primeiros, baseados em minerais naturais com uma escala feita em função da capacidade de um certo material riscar outro mais macio.

Com o passar dos anos foram desenvolvidas outras técnicas de medição e com isso, foram criadas diferentes escalas de dureza, sendo elas: Escala *Rockwell*, Escala *Brinell* (medida através da penetração de uma esfera de carbeto de tungstênio), Escala *Mohs* (utilizada principalmente com minerais) e a Escala *Vickers* (utiliza uma ponta de diamante como penetrador).

Este ensaio é largamente utilizado, pois são simples, tem baixo custo, não são ensaios destrutivos e ainda outras propriedades mecânicas podem ser estimadas a partir dos dados obtidos.

2.4.8. Fluência

É a deformação plástica que o material sofre sob a tensão constante (ou quase constante) em determinado tempo (geralmente muito grande). A Fluência se dá pela movimentação das falhas existentes na estrutura cristalina dos metais, sem essas falhas, a fluência não existiria. A temperatura é importante nesse fenômeno, alguns metais exibem este fenômeno mesmo em temperatura ambiente e outros são resistentes a essa deformação mesmo em temperaturas mais altas.

Através do teste de novos materiais, novas ligas que aguentem melhor esse tipo de fenômeno, estão sendo desenvolvidas.

Vale ressaltar que na maioria dos ensaios mecânicos, os materiais são submetidos a cargas (esforços) por um curto tempo (segundos ou minutos no máximo), diferentemente das condições reais de uso, em que os mesmos são submetidos por longos períodos. Pode observar-se que, em algumas condições, os materiais apresentam deformação plástica mesmo sendo submetidos à baixos esforços, esta situação ocorre com mais frequência quando são envolvidas altas temperaturas, salientando que, o grau da temperatura é proporcional à velocidade da deformação (quanto maior a temperatura, maior é a velocidade de deformação).

Tanto que podemos observar a importância do controle de temperatura nos ensaios de fluência, onde é verificado que, até em baixas variações de temperatura podem causar alterações significativas na velocidade de fluência.

2.4.9. Resiliência

É a capacidade do material retornar à forma original após ter sido submetido a uma deformação elástica. Materiais considerados resilientes tem um limite de escoamento elevado e módulo de elasticidade baixo. Quanto mais resiliente for o metal, menos frágil ele será.

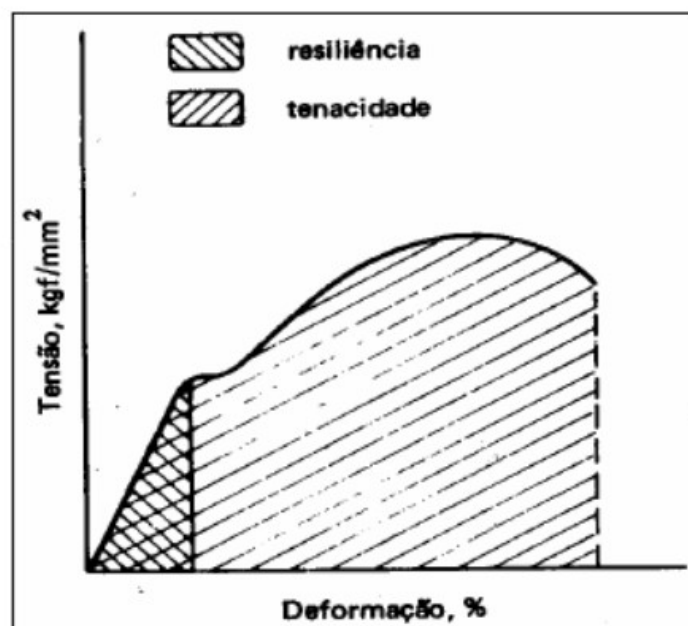


Figura 13 - Representação da resiliência e tenacidade no gráfico tensão x deformação

Fonte: CIMM

2.4.10. Fadiga

Fadiga é o processo progressivo localizado de modificações permanentes nas estruturas do material submetido a condições que são produzidas tensões e deformações cíclicas que geram trincas/fraturas após determinado período.

Em reais condições existem determinados fatores que influenciam a fadiga, tais como a temperatura de operação, exposição a corrosão, efeitos de tensões médias, descontinuidade granular do material entre outras.

Para se obter o cálculo de fadiga, é necessário conhecer as tensões/deformações atuantes no material em questão. Tais parâmetros podem ser calculados de forma analítica (para peças simples) e para peças mais complexas é utilizada a ferramenta de Elementos Finitos.

O desempenho dos materiais relação a fadiga é representado pela curva S-N, que é um gráfico que avalia a magnitude de tensão (S) em função do número de ciclos (N).

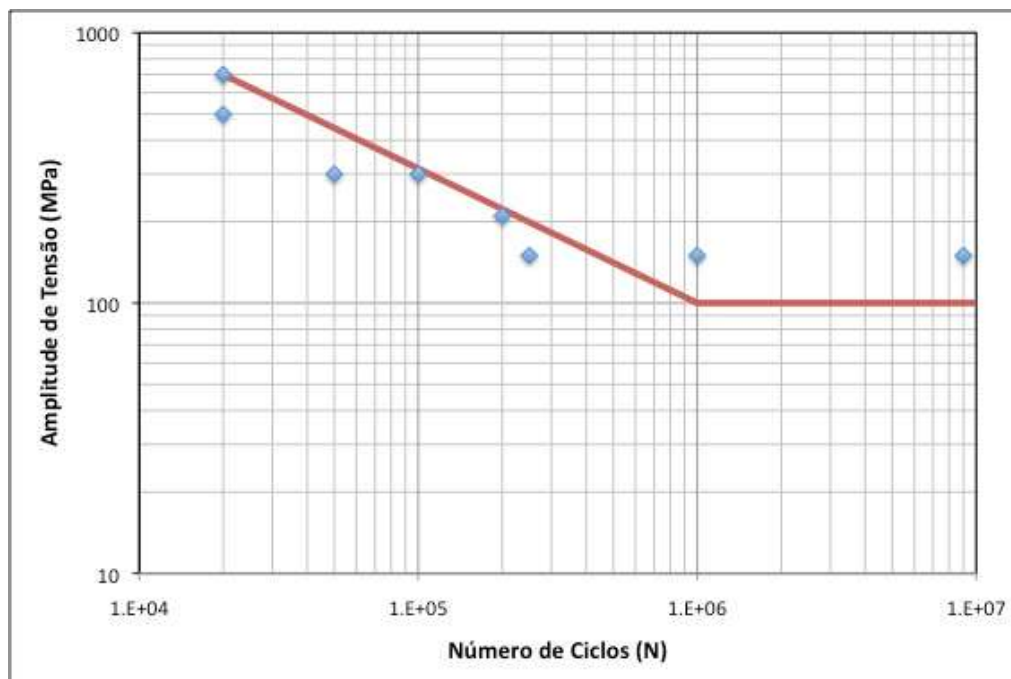


Figura 14 - Curva de fadiga esquemática

Fonte: Fabricio FPS

2.4.11. Normas Técnicas

Tem a função de definir os conceitos e procedimentos aplicado nos diversos tipos de ensaios.

As principais normas são:

- ASTM (*American Society for Testing and Materials*);

Órgão estadunidense de normalização. Responsável por desenvolver e publicar normas técnicas sobre uma ampla gama de materiais, estudos, sistemas e serviços.

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);

Órgão privado e sem fins-lucrativos destinado a normatizar padrões técnicos de produção realizada no país.

- ISO (*International Standards Organization*);

Entidade de padronização e normatização. Seu principal objetivo consiste em aprovar normas internacionais, como normas técnicas, normas de procedimentos e processos, classificações de países; no Brasil é apresentada pela ABNT.

- DIN (*Deutsches Institut für Normung*);

É um sistema alemão de padrões técnicos que garante a qualidade de produtos industriais e científicos.

2.5. Ensaios Mecânicos

Muitos materiais, quando estão em serviço, estão sujeitos a receberem algum tipo de força/carga. O comportamento mecânico desse material é dado pela relação entre sua resposta a uma carga específica. As principais propriedades mecânicas são a dureza, rigidez, rigidez e ductilidade. É muito importante saber a natureza e a grandeza dessas cargas, que podem ser de três tipos: tração, compressão ou cisalhamento.

É muito importante que o engenheiro de estrutura determine as tensões e a distribuição de tensões que estão sujeitas. Cada material possui um conjunto de características mecânicas que atua melhor cada determinada aplicação, e cabe ao engenheiro de acordo com essas propriedades, selecionar o material correto para cada tipo de serviço.

Para análise dessas propriedades temos diversos tipos de ensaios mecânicos para cada aspecto que deseja ser analisado. Os ensaios mecânicos podem ser classificados de duas maneiras, sendo eles destrutivos ou não-destrutivos.

No primeiro bloco temos os ensaios destrutivos são aqueles em que o corpo de prova utilizado para realização do experimento sofre algum tipo de deformação, mesmo que não se tornem inutilizados. Podemos listar alguns tipos de ensaios destrutivos, como por exemplo: Ensaio de tração, ensaio de cisalhamento, ensaio de dobramento, ensaio de dureza, ensaio de embutimento, ensaio de torção, ensaio de fadiga, ensaio de fluência, ensaio de impacto, etc.

No segundo bloco temos os ensaios não destrutivos que são aqueles em que após a realização não deixam nenhum tipo de marca no corpo de prova. Estes ensaios são bastante utilizados para detecção de falhas em materiais prontas ou quase prontas, uma vez que ele não torna o material inutilizado. Alguns tipos de ensaios não destrutivos são: ensaios visuais, ensaios de partículas magnéticas, ensaio de ultrassom, ensaio de radiografia industrial, etc.

Será abordado mais a fundo dois tipos de ensaios destrutivos, sendo eles os ensaios de tração e dureza.

2.5.1. Ensaio de tração

Tem como objetivo determinar os níveis de resistência dos materiais e analisar suas propriedades e capacidades quando submetidos a esforços de tração, acompanhando seu comportamento ao longo da aplicação de carga, e classificando seu uso, de acordo com os dados obtidos, gerando de um diagrama que analisa a tensão aplicada e a deformação sofrida pelo material.

Na antiguidade, como os materiais eram fabricados essencialmente de forma artesanal, não havia um controle ou método para avaliar sua resistência ou suas propriedades, tudo era avaliado unicamente pelo tempo de uso do material. Com o avanço da tecnologia, esse tipo de análise se tornou cada vez mais importante, pois ele ajuda a determinar que tipo de material responde de melhor forma a cada tipo de aplicação. Também é importante pelo fato de ajudar na redução dos custos de fabricação.

O ensaio de tração nada mais é do que submeter um corpo de prova a uma determinada carga axial, desde modo, o corpo de prova sofre uma deformação por alongamento, até que se rompa. Este ensaio, tem como objetivo conhecer como o corpo de prova reage aos esforços de tração, e quais serão os limites de carga aplicados a eles, podendo sofrer deformações plásticas ou elásticas.

2.5.2. Diagrama Tensão x Deformação

Durante o ensaio de tração, o equipamento fica ligado a um computador, que recebe dados e os transforma em um diagrama tensão versus deformação, que mostra a relação entre a força e a deformação ocorrida durante o decorrer do ensaio.

O grau de deformação está diretamente ligado ao tamanho da força aplicada sobre ele. A tensão é dada pela razão entre força aplicada (F) aplicada sobre a área da seção do corpo de prova (S).

Através de uma convenção, denominou-se que a área utilizada para cálculo é a área da seção inicial (S_0). Na figura 15, vemos a curva obtida no diagrama tensão x deformação, bem característica de diversos tipos de materiais usados na engenharia mecânica.

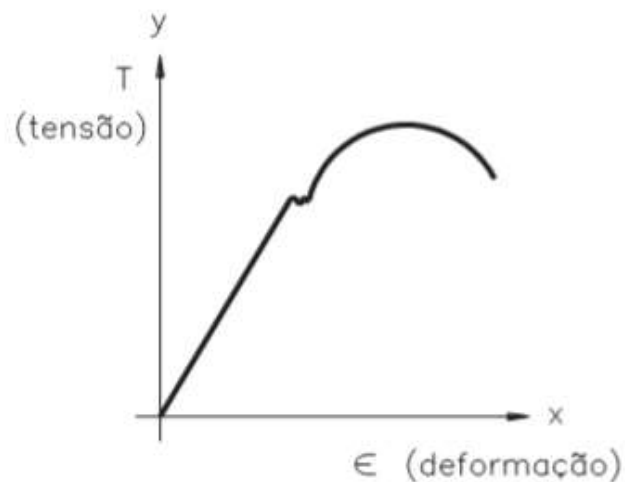


Figura 15 - Diagrama tensão-deformação de um material com fase plástica.

Fonte: Telecurso 2000.

Na figura 16, pode ser observado alguns dos limites de resistência, em relação as fases de deformação que o material sofre, que são obtidos através de ensaios de tração.

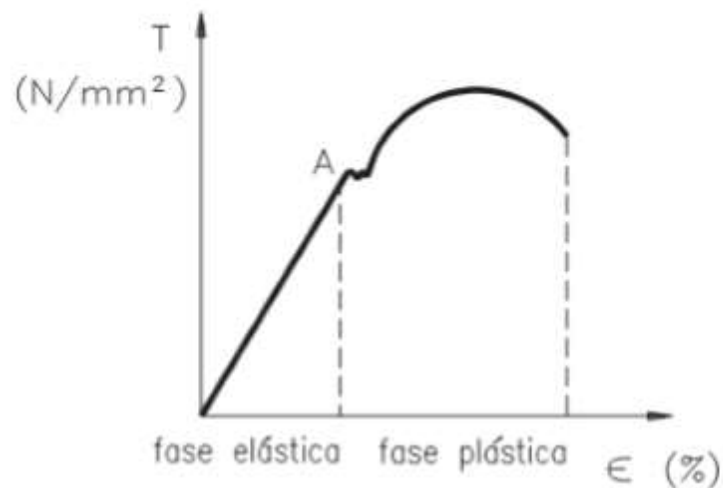


Figura 16 - Representação do limite elástico

Fonte: Telecurso 2000

Como podemos analisar, no final da primeira linha tracejada, temos o ponto A, que representa o limite da fase elástica, zona onde o material retorna ao seu estado original caso o experimento seja interrompido a partir deste ponto, o material começa a sofrer uma deformação plástica, onde o material sofre uma deformação que não o permite mais retornar a fase inicial, caracterizando o início da fase plástica.

2.5.3. Corpo de Prova

Antes da realização do ensaio, o primeiro passo consiste na confecção do corpo de prova, que precisam estar padronizados de acordo com a norma, para que os resultados possam ser obtidos com mais facilidade, interpretados, usados e reproduzidos, se necessário. No Brasil, uma das normas padrão para confecção de corpos de prova é a norma NBR ISO 6892, que especifica formatos e dimensões padrões para cada tipo de teste a ser realizado. A norma diz que a confecção do corpo de prova pode ser de seção retangular ou circular, de acordo com a fonte de extração do material.

Se for proveniente de um corpo com seção circular ou irregular, ou com dimensões muito grandes, ele terá seção circular, como na figura a seguir.

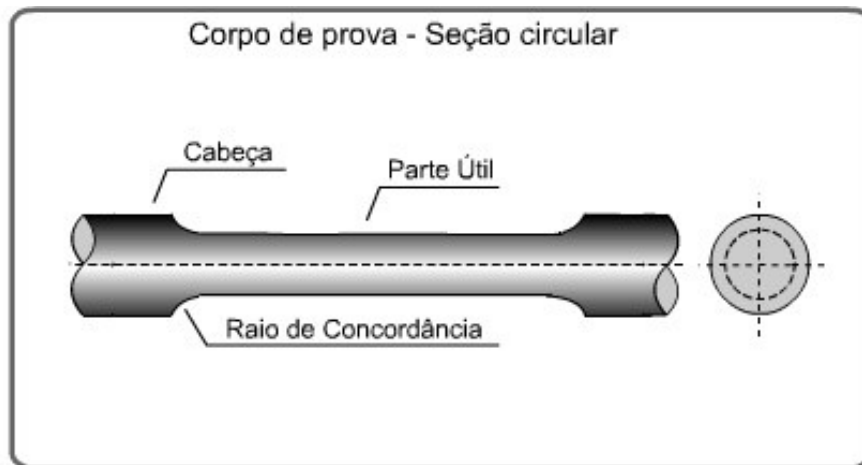


Figura 17 - Corpo de prova de seção circular

Fonte: CIMM

Se for proveniente de uma chapa, placa ou perfil, terá uma seção transversal retangular, como na imagem.

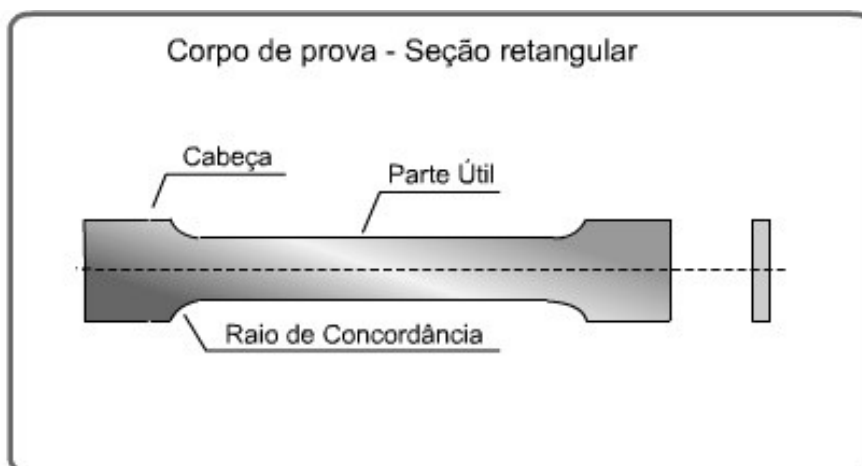


Figura 18 - Partes de um corpo de prova de seção retangular

Fonte: CIMM

Analisando a geometria do corpo de prova, temos a parte útil, onde é efetivamente utilizada para as medições no experimento; e a cabeça, que são as extremidades do corpo de prova, que permite a fixação no equipamento de ensaio.

Devido a geometria do corpo de prova, uma usinagem adequada e bem-feita é extremamente importante para um teste de qualidade.

2.5.3.1. Medição do Alongamento

O alongamento pode ser medido em qualquer parte do ensaio, porém, é indispensável a medida do alongamento inicial (L_0), e alongamento final (L_f) para a realização do cálculo da deformação total.

Temos como deformação total é calculado pela soma da deformação elástica, deformação plástica e deformação depois de atingir a carga máxima. Para a medição da deformação final existem alguns passos a serem seguidos, são eles:

- Marcar n divisões iguais no corpo de prova, dentro de sua área útil, antes do início do experimento;
- Um comprimento inicial (L_0) deve ser tomado como referência;
- É aplicado uma força de tração até que o corpo se rompa, logo após unimos as partes para próxima etapa;
- Realizar a medida da distância correspondente ao comprimento final (L_f).

A seguir, é esboçado através da figura uma ilustração sobre o procedimento citado acima:

Juntando as partes para medição

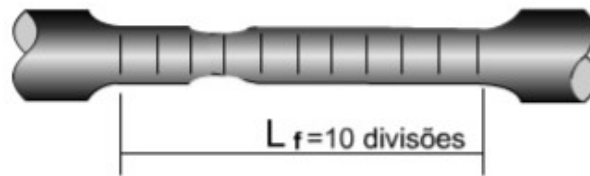


Figura 19 - Medição da deformação do corpo de prova

Fonte: CIMM

2.5.3.2. Medição da Redução da Área Útil

A estrição da área útil ocorre quando o corpo de prova está exposto a carga máxima suportada. É através dela que podemos verificar a ductilidade do material, ou seja, quanto maior a área de estrição, maior é a ductilidade do material, e vice-versa.

A estrição não deve ser considerada como uma propriedade específica do material, ela é apenas um comportamento do material devido aos esforços aplicados.

2.5.4. Equipamentos para Ensaio de Tração

A Máquina Universal é um dos equipamentos mais utilizados nos ensaios de tração, sendo capaz de realizar também ensaios de compressão e flexão.

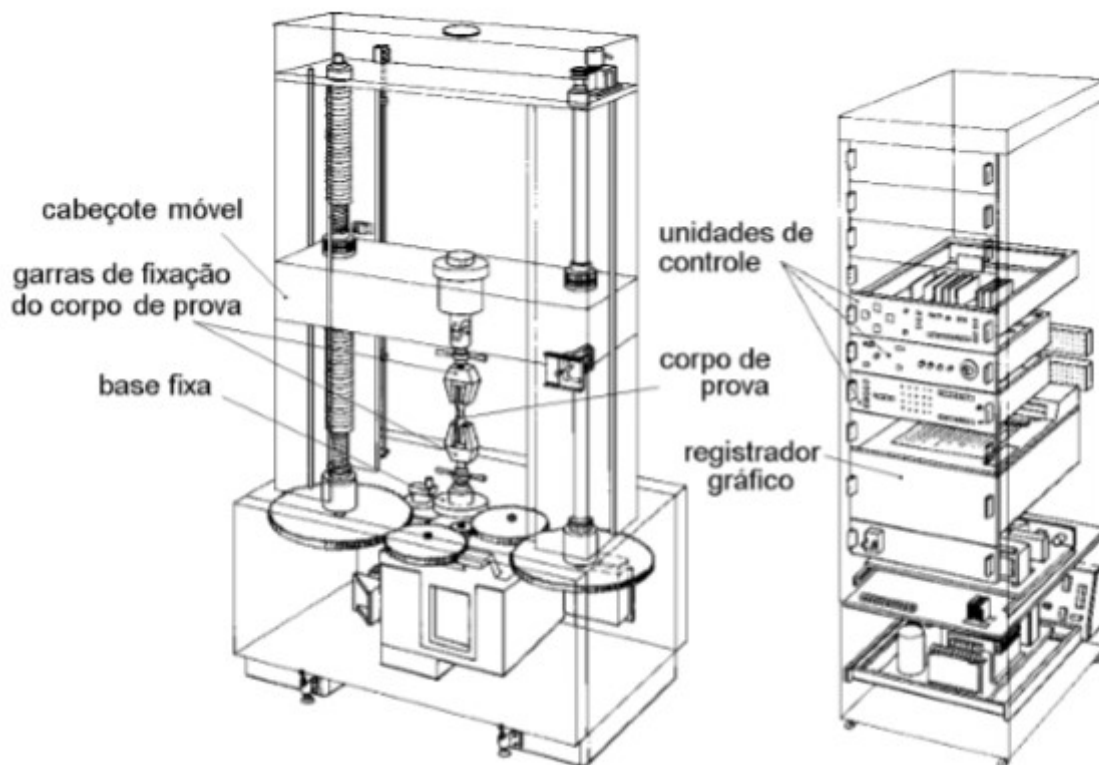


Figura 20 - Desenho esquemático de uma máquina universal

Fonte: Telecurso 2000

Este equipamento tem como função básica fazer a leitura e criar um diagrama carga versus deslocamento. Através desse diagrama, calcula-se a tensão de escoamento, através de um algoritmo computacional que fica ligado a máquina, que também fornece os valores de tensão limite de ruptura do material, e alongamento total.

Esses equipamentos possuem dois tipos de funcionamento, podem ser eletromecânicos ou hidráulicos. A diferença entre esses dois tipos consiste apenas em como a força é aplicada;

- Máquinas Eletromecânicas - Seu funcionamento se baseia num motor elétrico de velocidade variável, acoplados a fusos caracterizados “sem fim”, e um sistema de engrenagens que realizam o movimento vertical do cabeçote. A velocidade pode ser alterada pela velocidade do motor.
- Máquinas Hidráulicas - Se baseia no movimento de um pistão hidráulico de simples atuação ou dual, que direciona o cabeçote verticalmente.

De modo geral, as máquinas eletromecânicas possuem uma gama maior de velocidade e maior deslocamento, as máquinas hidráulicas de modo geral, podem efetuar maiores forças de carregamento.

2.5.5. Métodos de Ensaio de Tração

Preparação do Equipamento – Essa parte é extremamente importante, deve-se analisar as condições em que o equipamento se encontra; verificar qual foi o último período de utilização do mesmo, realizar testes de calibração, para evitar ao máximo de erro possível.

Inspeção do Corpo de Prova - É onde serão realizadas as medições do corpo de prova e a marcação do comprimento inicial. Dimensões incorretas ou falhas na confecção do corpo de prova podem levar a erros de leitura, invalidando o teste.

Zerar a Máquina - O ponto “zero” da máquina é o ponto vale realmente como ponto “zero” de força. Qualquer pré carga aplicada ao manusear a máquina ou no posicionamento do corpo de prova deve ser considerado diferente de “zero”.

Posicionamento do corpo de prova - O corpo de prova é preso ao equipamento através de duas garras pelas extremidades.

Execução do Ensaio – Logo após da execução dos passos anteriores, damos início ao ensaio. O equipamento de ensaio aplica uma força no corpo de prova, medindo a carga e o alongamento resultante simultaneamente. O ensaio termina com o material se rompendo ou quando se atinge o limite da máquina.

Leitura dos Resultados – O equipamento usado para realização do ensaio de tração, fica conectado a um computador, que é usado para transmitir os dados do experimento. Ele recebe os dados em tempo real, fazendo a leitura dos dados e transformando, ao fim do experimento, os dados num diagrama tensão versus deformação.

2.5.6. Ensaio de Dureza

A dureza é uma das propriedades mecânicas mais importantes nas especificações dos materiais, nos estudos e pesquisas acadêmicas e na metalurgia. Entretanto, o conceito de dureza não possui o mesmo significado para todas as áreas. Na área de metalurgia, dureza, nada mais é que é a resistência a permanente deformação plástica; para um engenheiro mecânico, dureza é a resistência de um material a penetração; para um projetista, dureza é uma base de medida para o conhecimento de resistência de um material, e do tratamento térmico ou mecânico sofrido pelo mesmo, em relação ao desgaste; para um técnico de usinagem, dureza significa a resistência que um material tem ao corte; e assim por diante.

O ensaio de dureza é considerado um ensaio destrutivo, como mencionado anteriormente, ele deixa uma pequena marca na superfície do material, muitas vezes quase imperceptível. Por isso ele é um dos ensaios mais importantes para controle da qualidade dos produtos.

Podendo ser caracterizados, os ensaios de dureza em três modos distintos, sendo eles: ensaio por penetração, ensaio por choque e ensaio por risco, sendo o último raramente utilizado em metais, sendo os ensaios por penetração e choque largamente usados na indústria metalmeccânica, tendo o por penetração como sendo o mais usado e citado em especificações técnicas.

2.5.6.1. Ensaio de Dureza *Brinell*

O ensaio de dureza *Brinell* é muito usado em metais “macios”, como o alumínio, latão e aço recozido. Esse tipo de ensaio surgiu em 1900, criado por J. A. *Brinell*.

O ensaio consiste em comprimir lentamente um penetrador esférico de aço temperado com determinado diâmetro (d) por meio de uma carga (Q) sobre uma superfície plana e polida por determinado tempo (t). Normalmente a carga aplicada varia entre cerca de 500 e 3000 kgf., e o tempo de aplicação varia de 10 a 30 segundos, em que a carga é mantida sobre uma força constante no material. A dureza

Brinell pode ser representada pelas letras HB (*Hardness Brinell*). Esse ensaio provoca uma marca permanente no material, que é medido com um microscópio óptico.

A representação da dureza *Brinell* é dada pela equação:

$$HB = \frac{2Q}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Onde:

Q = valor da carga (em kgf.)

D = diâmetro do penetrador (em mm)

d = diâmetro da impressão (em mm)

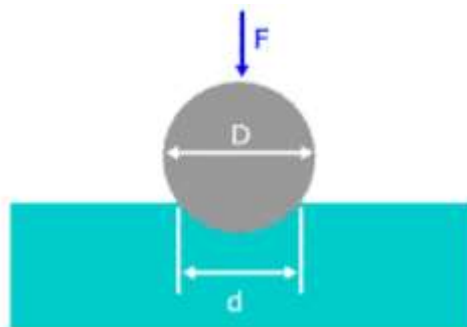


Figura 21 - Penetrador avançando contra a superfície da peça

Fonte: Carlos Eduardo, 2008

Para execução de ensaios foram determinadas algumas normas a serem seguidas. Os ensaios em aços são realizados com carga padrão de 3000 kgf, e esfera de aço temperado, com 10 mm de diâmetro.

Para que o ensaio ficasse padronizado, foram determinados fatores de carga, com valores específicos de acordo com o tipo de material e faixa de dureza. Como mostra a tabela a seguir:

Tabela 4 - Parâmetros do ensaio *Brinell* padronizados

Fonte: Amauri Garcia, 2012

$\frac{F}{D^2}$	Dureza	Materiais
30	90 a 415 HB	Aços e ferros fundidos
10	30 a 140 HB	Cobre, alumínio e suas ligas mais duras
5	15 a 70 HB	Ligas antifricção, cobre, alumínio e suas ligas mais moles
2,5	Até 30 HB	Chumbo, estanho, antimônio e metais patente

É fundamental o conhecimento da espessura do corpo de prova para só então, determinar o diâmetro da esfera para realização do ensaio. Na tabela abaixo é mostrado os diâmetros mais utilizados e seus valores de carga correspondentes:

Tabela 5 - Diâmetros da esfera e valores de carga

Fonte: Amauri Garcia, 2012

Diâmetro da Esfera (mm)	F (kgf) = 30 D ²	F (kgf) = 10 D ²	F (kgf) = 5 D ²	F (kgf) = 2,5 D ²
10	3,000	1,000	500	250
5	750	250	125	62,5
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625

Apesar do ensaio de dureza *Brinell* ser um dos métodos de ensaio mais utilizados, ele possui algumas desvantagens, como por exemplo, a limitação da esfera utilizada, pois neste ensaio se usam esferas de aço temperado, limitando a medição até 500 HB, porquê durezas maiores que esta podem danificar a esfera. Porém, a esfera do ensaio *Brinell* provoca uma marcação mais profunda e larga, resultando numa medição mais precisa.

2.5.6.2. Ensaio de Dureza *Rockwell*

Outro método de medição da dureza, é o ensaio de dureza, sendo ele, o método mais utilizado. A sua facilidade e simplicidade não requer habilidades especiais de quem for utilizar esse método, eliminando quase que 100%, quaisquer erros humanos.

Esse tipo de ensaio foi criado em 1922 por *Rockwell*, com sua incrível gama de combinações de penetradores e cargas, torna seu uso viável em praticamente todos os tipos de ligas metálicas e até mesmo polímeros. É representada pelas letras HR.

A dureza *Rockwell* elimina o tempo necessário na medição da perfuração causada pelo penetrador no material, pois esta leitura, é obtido em tempo real, durante o ensaio pela própria máquina. O fato de usar penetradores pequenos, reduz consideravelmente a danificação do material em teste.

Dois tipos de penetradores são os mais utilizados na realização do ensaio, sendo eles os penetradores esférico de aço temperado ou penetradores cônicos. Podem ser usados dois tipos de equipamentos para realização do ensaio, que diferem apenas em relação a precisão. A máquina padrão é usada na medição da dureza *Rockwell* normal. Para dureza *Rockwell* superficial, é indicado o uso da máquina mais precisa, muito usada para indicar a dureza em lâminas ou folhas finas.

Na dureza *Rockwell* “normal”, é utilizado uma pré-carga determinada de 10 kgf, e cargas maiores que variam de 60 a 150 kgf. Na dureza *Rockwell* superficial, é utilizada uma pré-carga de 3kgf, e cargas maiores que variam entre 15 e 45 kgf.

Esses dois tipos de ensaio não podem ser comparados entre si, pois os mesmos utilizam escalas diferentes. Na tabela a seguir, são representadas algumas das escalas mais utilizadas no meio industrial:

Tabela 6 - Relação das escalas mais usadas para o ensaio *Rockwell* na indústria

Fonte: CIMM

ESCALA DE DUREZA ROCKWELL NORMAL E APLICAÇÕES					
Escala	Cor da Escala	Carga Maior	Penetrador	Faixa de Utilização	Campo de Aplicação
A	Preto	60	Diamante cone 120°	20 a 88 HRA	Carbonetos, folhas de aço com fina camada superficial endurecida
C	Preto	150	Diamante cone 120°	20 a 70 HRC	Aço titânio, aços com camada endurecida profunda, materiais com HRB>100
D	Preto	100	Diamante cone 120°	40 a 77 HRD	Chapas finas de aço com media camada endurecida
B	Vermelho	100	Esfera de aço 1,5875 mm	20 a 100 HRB	Ligas de cobre, aços brandos, ligas de alumínio, ferro maleável, etc.
E	Vermelho	100	Esfera de aço 3,175 mm	70 a 100 HRE	Ferros fundidos, ligas de alumínio e de magnésio
F	Vermelho	60	Esfera de aço 1,5875 mm	60 a 100 HRF	Ligas de cobre recozidas, folhas finas de metais moles
G	Vermelho	150	Esfera de aço 1,5875 mm	30 a 94 HRG	Ferro maleável, ligas de cobre-níquel-zinco e de cobre-níquel
H	Vermelho	60	Esfera de aço 3,175 mm	80 a 100 HRH	Alumínio, zinco, chumbo
K	Vermelho	150	Esfera de aço 3,175 mm	40 a 100 HRK	Metais de mancais e outros muito moles ou finos

Um fator importante na realização do ensaio, é a determinação da profundidade de alcance do penetrador, pois segundo a norma, o corpo de prova deve possuir uma espessura de no mínimo 17 vezes maior que a profundidade atingida pelo penetrador.

Uma desvantagem importante de se destacar da dureza *Rockwell*, é que ela não possui relação a capacidade de um material de resistência a tração, assim como a dureza *Brinell*. Durante o ensaio, deve-se tomar o cuidado de manter a superfície do corpo de prova limpas, e determinar uma área lisa para o ponto de medida.

2.5.6.3. Ensaio de Dureza *Vickers*

O ensaio de dureza *Vickers* é o mais recente dos métodos de ensaio dentre os que listamos. Ele foi desenvolvido por *Smith* e *Sandland*, sendo batizado de *Vickers* em homenagem a companhia *Vickers-Armstrong LTDA*, que foi o fornecedor das máquinas que produzem esse tipo de ensaio. A grande diferença deste método é que é levada em consideração o diâmetro da esfera do penetrador *Brinell* em relação ao diâmetro da calota esférica obtida, obtendo assim, qualquer valor de dureza, independente do material.

A dureza *Vickers* determina a resistência que o material tem a penetração de um diamante sob determinada carga. As letras HV representam a dureza *Vickers*.

Através da equação abaixo, é possível se obter os valores da dureza *Vickers*:

$$HV = \frac{1,854Q}{L^2}$$

Onde:

Q = força aplicada (em kgf.)

L = média das diagonais (em mm)

Temos como vantagens do ensaio *Vickers* o fornecimento de uma escala de dureza contínua, medindo todos os valores de grandeza em uma única escala; as impressões feitas no corpo de prova são extremamente pequenas; e o penetrador sendo de diamante, o torna extremamente resistente e durável.

Como desvantagem, temos que o equipamento usado para esse tipo de ensaio, requer calibração constante, pois um equipamento fora de calibração por levar a erros na aplicação de velocidade da carga aplicada, trazendo erros significativamente grandes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Fabricação dos *Billets*

Na fabricação dos corpos de provas, foi utilizado o método de soldagem por caldeamento, um dos métodos mais utilizados, para a confecção do aço damasco. O processo consiste basicamente, na soldagem de placas de aço com diferentes teores de carbono. Para isso foi encomendado na Loja do Cutedeiro oito placas de aço SAE 1080 com bitola de 50mm x 4,5mm e 150mm de comprimento, e vinte placas de UHB 15N20 contendo uma bitola de 50mm x 1,5mm e 150mm de comprimento. Também confeccionado um forno, que foi utilizado como uma forja a gás, necessário para o forjamento aplicado aos *billets*, que são algumas chapas de aço, formando uma espécie de sanduiche. Na confecção foi utilizado tijolos refratários, um queimador confeccionado pela empresa Aldien, especializada em forjas industriais, fornos elétricos e queimadores, e tubos quadrados de aço, o gás utilizado foi o gás GLP.

No projeto foram elaborados três *billets*, um continha 5 placas de aço de SAE 1080 puro, outro com 14 placas de UHB 15N20 puro e o outro contendo 3 placas de SAE 1080 e 6 placas de UHB 15N20, onde foi tomado o maior cuidado para que tivesse em mesma proporções, compensando a diferença de espessura, para obter uma análise mais precisa possível da mistura dos dois aços. O mesmo processo de caldeamento foi utilizado nos três, para que os resultados que fossem obtidos, fossem derivados através da mesma fabricação, com o objetivo de que os ensaios gerassem um resultado uniforme.

No início do processo os *billets* foram soldados, através de soldagem por eletrodo, para impossibilitar a movimentação entre eles durante o processo, também sendo soldada cantoneiras em suas bases, com o objetivo de facilitar o manuseio. Então os *billets*, obtiveram um tempo de encharque a 950°C, com o intuito de aquecer para serem caldeados, foi utilizado um composto, denominado borato de sódio ou apenas bórax, como fluido de solda, para que fosse evitado a presença de oxigênio entre as placas de aços, o que poderia formar uma oxidação nos corpos de provas,

sendo que na fabricação do aço damasco, é indispensável a presença do fluxo de solda nesse processo.

Após a aplicação do fluido de solda os *billets*, foram retornados ao forno, para concluir o tempo de encharque, após isto, foram levados até uma prensa hidráulica de 30 toneladas, que foi o método utilizado para realizar o caldeamento, foi a prensagem, onde foi aplicada forças pontuais ao corpo de prova, com força de no máximo 20 tonelada, e em seguida, o corpo de prova era retornado ao forno, para obter o encharque novamente, e assim o mesmo processo era repetido diversas vezes paralelamente e também perpendicularmente, para que fosse atingida uma medida suficiente para a confecção de dois corpos de prova em cada *billet*, totalizando 6.

Ao final do processo, o tarugo já com o tamanho ideal, foi aplicado um tratamento térmico, denominado recozimento, pois durante a deformação do aço, ocorre alguns defeitos e aumenta a resistência, isso é chamado de encruamento. Esse tratamento, consiste em elevar a temperatura do material, a um ponto superior a temperatura de recristalização do aço, em seguida, sofre um lento resfriamento, onde o forno era desligado, até que fosse alcançada a temperatura ambiente.

Assim, com os *billets* caldeados, eles seguiram para o centro de usinagem Paumir de Barra Mansa LTDA, para que fosse elaborado os corpos de provas que seriam utilizados nos ensaios de tração e de dureza. No centro de usinagem, os corpos de provas passaram por um processo de retirada de material mínima, feito por uma retifica, retirando impurezas e imperfeições da superfície e conferindo uma precisa soldagem ao material, e onde foram tomadas as devidas precauções quanto ao aquecimento do material, utilizando fluidos refrigerantes, e que fossem atendidas as medidas de acordo com a norma ASTM A 370, onde padroniza ensaios de tração à temperatura ambiente, com materiais metálicos.



Figura 22 - Corpos de prova usinados

Fonte: Autor

3.2. Ensaaios mecânicos

Nessa seção será descrito os ensaios mecânicos que foram realizados nos materiais confeccionados, detalhando padrões, equipamentos e métodos utilizados nos ensaios. Realizando os ensaios em dois corpos de provas confeccionados de cada material a ser ensaiado, sendo eles os aços SAE1080, UHB15N20, e o aço misto dos dois aços anteriores. Com a finalidade de analisar posteriormente os resultados e fazer as comparações.

3.2.1. Ensaio de Tração

Os ensaios de tração foram realizados no laboratório de ensaios de tração do Centro Universitário de Volta Redonda, campus Olezio Galotti, utilizando uma máquina universal de ensaios, modelo EMIC DL 10000 que pode realizar ensaios de tração e flexão, com capacidade de carga de 10000 kgf, acoplado com uma célula de carga com capacidade de 10000 kgf, realizando o ensaio e a medição a uma velocidade de 3 milímetros/minutos.

O objetivo dos ensaios vão ser encontrar os valores de tensão de escoamento, a tensão máxima, o comprimento final após a ruptura, e a ductilidade de cada corpo de prova. O ensaio gera um gráfico informando o deslocamento da máquina, em relação a tensão sendo exercida no material.



Figura 23 - Máquina Universal

Fonte: Autor

É muito importante salientar que foram feitos 2 ensaios em cada material, afim de comparação de similaridade entre cada corpo de prova.

3.2.2. Ensaio de Tração Aço SAE 1080

3.2.2.1. Corpo de Prova Aço SAE 1080



Figura 24 - Corpo de Prova SAE 1080

Fonte: Autor

Ao analisar os valores obtidos no ensaio de tração do corpo de prova de aço SAE 1080, pode se verificar características de um aço de elevada tenacidade, capaz de aguentar uma grande tensão, e logo após a sua tensão máxima, sua ruptura, porém não muito dúctil, fratura plana e brilhante do material sem estrição aparente.

3.2.2.2. Corpo de Prova Aço SAE 1080.1

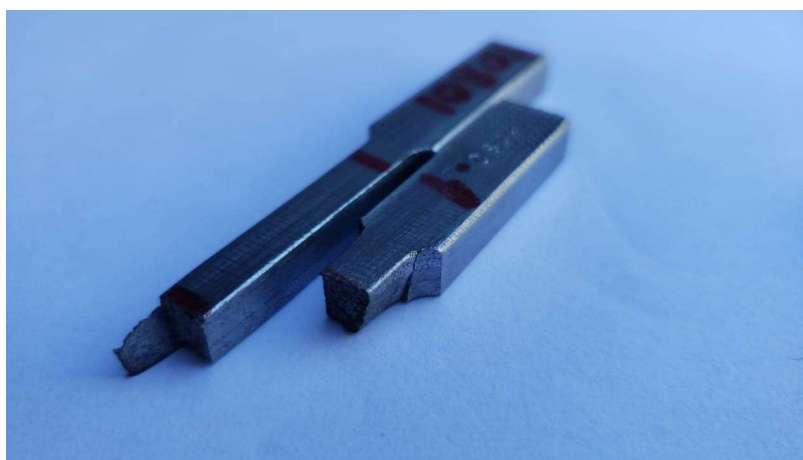


Figura 25 - Corpo de Prova SAE 1080.1

Fonte: Autor

Durante a realização do ensaio de tração do CP1080.1, pode se verificar novamente as características de um aço de elevada tenacidade, baixa ductilidade e ruptura sem estrição do corpo de prova. Porém, pode se observar também na área de ruptura do corpo de prova, uma não conformidade no plano da fratura, derivado do processo de soldagem do material. Embora o material aparentasse estar homogêneo por um olhar macroscópico, o processo de soldagem das placas por caldeamento incluiu algumas imperfeições microscópicas na estrutura do material. Essas imperfeições do material, expostas a grandes tensões, foram responsáveis por rupturas no mesmo sentido de carga, no interior do material, fragilizando o mesmo.

3.2.3. Ensaio de tração Aço UHB 15N20

3.2.3.1. Corpo de Prova Aço UHB 15N20



Figura 26 - Corpo de Prova Aço UHB 15N20

Fonte: Autor

Embora também presente as características de um material frágil, de elevada tenacidade, ruptura sem estrição do corpo de prova, e uma ductilidade moderada. Em análise em relação ao aço SAE 1080, pode se verificar que a tensão máxima do aço UHB 15N20 é menor, porém sua ductilidade é maior.

3.2.3.2. Corpo de Prova Aço UHB 15N20.1

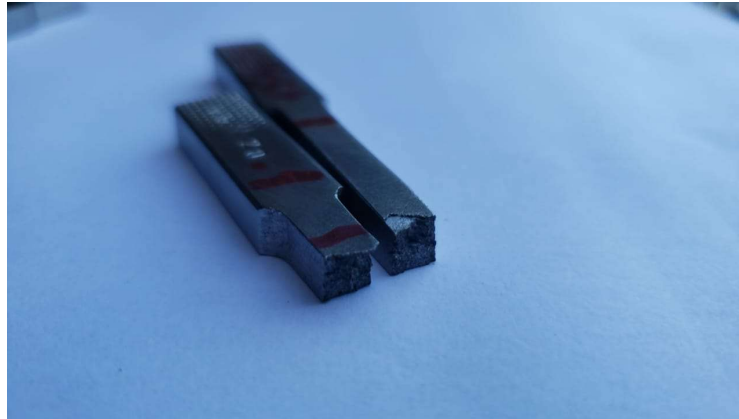


Figura 27 - Corpo de Prova Aço UHB 15N20.1

Fonte: Autor

Os dados obtidos durante o segundo ensaio do material confeccionado de aço UHB 15N20, mostram um material de ductilidade moderada, um limite de tensão máximo inferior em comparação ao aço SAE 1080.

3.2.4. Ensaio de tração Aço Damasco

3.2.4.1. Corpo de Prova Aço Damasco (Misto)

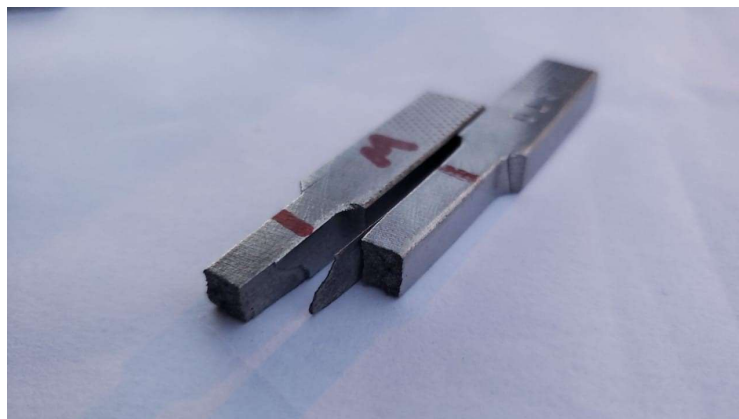


Figura 28 - Corpo de Prova Aço Misto

Fonte: Autor

O primeiro ensaio realizado no material confeccionado da mistura do aço SAE 1080 e o aço UHB 15N20, revelou que o aço damasco se comportou como um material de elevada tenacidade, e devido as imperfeições geradas pelo processo de soldagem do material, trincando longitudinalmente, e fragilizando o material, o aço damasco não foi capaz de alcançar a tensão máxima dos demais ensaios apresentados nesse estudo.

3.2.4.2. Corpo de Prova Aço Damasco (Misto.1)

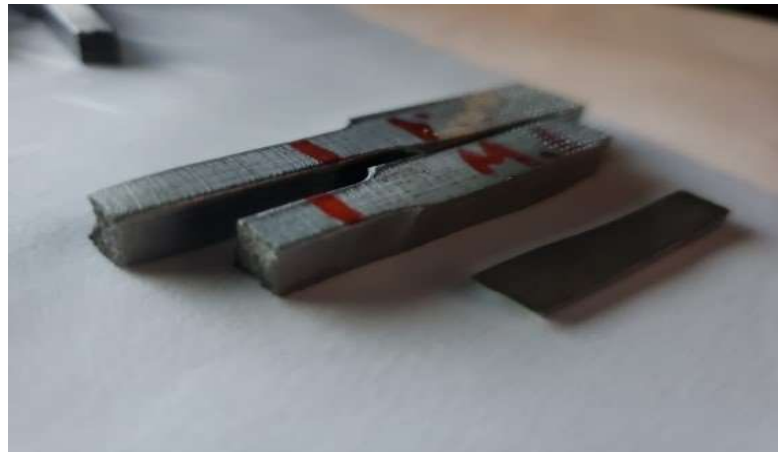


Figura 29 - Corpo de Prova Misto.1

Fonte: Autor

O segundo ensaio de tração que foi realizado no aço damasco, nos mostrou que esse material foi capaz de aguentar uma tensão máxima maior do que as obtidas nos ensaios de aço UHB 15N20, e obter uma melhor ductilidade do que os ensaios realizados em aços SAE 1080. As trincas longitudinais, derivadas das imperfeições geradas no processo de soldagem, voltaram a ocorrer nesse ensaio, e chegou até ocorrer o desprendimento de material no ponto de pega da garra da máquina de ensaio de tração.

3.2.5. Ensaio de Dureza

Os ensaios de dureza foram realizados no laboratório do Centro Universitário de Volta Redonda, campus Olézio Galotti, utilizando um durômetro pertencente a marca Pantec, modelo RASN-RS do fabricante Panambra. O ensaio de dureza tem uma carga inicial de 10 kgf que tem objetivo de certificar um bom contato inicial do penetrador com o corpo de prova e, logo após, aplicou-se a carga de 140 kgf totalizando assim os 150 kgf necessários para realização.

O penetrador utilizado para o ensaio de dureza *Rockwell*, foi do tipo com ponta de diamante, cônico, com 120° de conicidade. A escala de dureza adotada foi a C, possuindo a faixa de utilização entre 20 a 70 HRC. Tal ensaio tem o objetivo de penetrar cada corpo de prova, e ao final do ensaio, são gerados os valores dentro da escala *Rockwell*.



Figura 30 - Durômetro, equipamento utilizado no ensaio de dureza

Fonte: Autor

Foram realizados 5 ensaios de dureza no CP 1080, também 5 ensaios no CP 15N20 e 10 ensaios no CP Misto.

3.2.5.1. Ensaio de dureza Aço SAE 1080

No corpo de prova em questão, foram realizados 5 ensaios de dureza nos quais foram obtidos os seguintes resultados (em HRC).



Figura 31 - CP 1080

Fonte: Autor

3.2.5.2. Ensaio de dureza Aço UHB 15N20 (CP 15N20)

O próximo corpo de prova utilizado (CP 15n20) passou por 5 ensaios, que obtiveram os seguintes resultados (em HRC)



Figura 32 - CP 15N20

Fonte: Autor

3.2.5.3. Ensaio de dureza Aço Damasco (CP Misto)

O corpo de prova utilizado na última parte dos ensaios é o CP Misto, que é constituído pelo Aço Damasco.

Por ser constituído de um aço SAE 1080 caldeado a um UHB 15N20 foi necessário realizar um total de 10 ensaios em diferentes pontos para que a análise seja mais precisa, assim como mostrado na foto abaixo.



Figura 33 - CP Misto

Fonte: Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta parte do estudo são analisados os resultados obtidos nos ensaios de Tração e Dureza, com o objetivo de observar se as expectativas referentes as comparações entre os aços em questão foram cumpridas. Teoricamente, o Aço Damasco apresenta a mescla das propriedades dos aços o compõem.

4.1.1. Resultados Ensaio de Tração

4.1.1.1. Aço SAE 1080

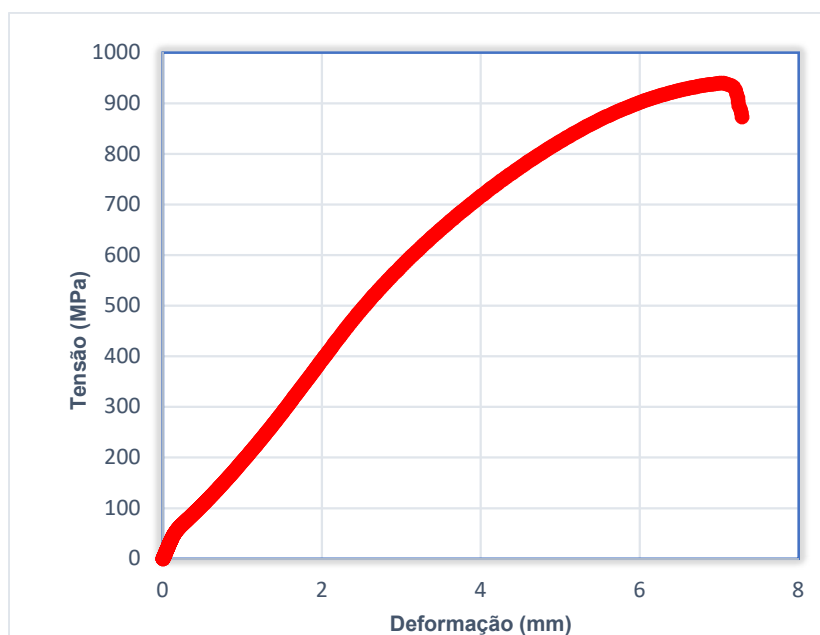


Figura 34 - Diagrama Tensão x Deformação CP SAE 1080

Fonte: Autor

Tabela 7 – Dados CP SAE 1080

Fonte: Autor

DADOS CP SAE 1080	
Largura efetiva	6,01 mm
Espessura efetiva	6,05 mm
Área efetiva	36,36 mm ²
Tensão de escoamento	540 Mpa
Tensão máxima	940 Mpa
Comprimento inicial	25 mm
Comprimento final	28,3 mm
Ductilidade	13,2 %

4.1.1.2. Aço SAE 1080.1

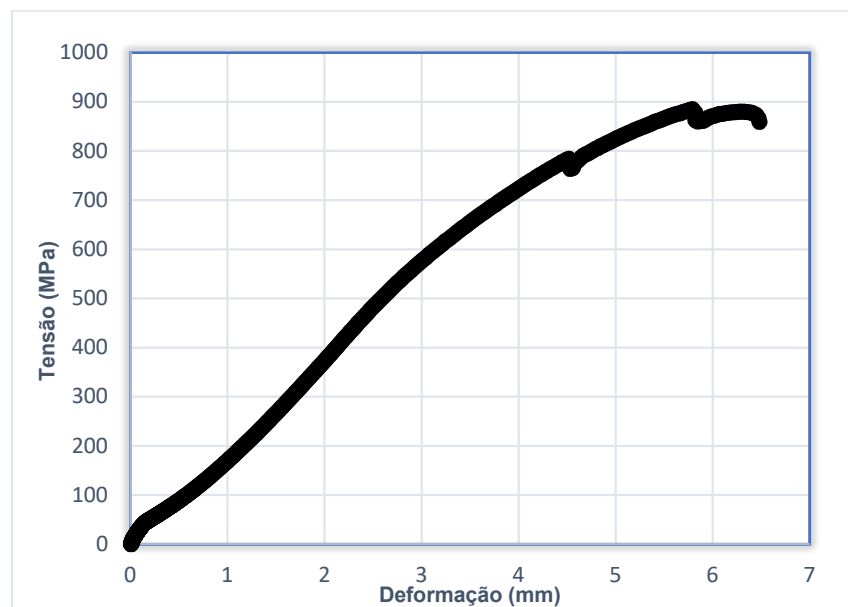


Figura 35 - Diagrama Tensão x Deformação CP1080.1

Fonte: Autor

Tabela 8 - Dados CP SAE 1080.1

Fonte: Autor

DADOS CP SAE 1080.1	
Largura efetiva	5,72 mm
Espessura efetiva	6,1 mm
Área efetiva	34,8 mm ²
Tensão de escoamento	559 MPa
Tensão máxima	885 MPa
Comprimento inicial	25 mm
Comprimento final	28 mm
Ductilidade	12 %

4.1.1.3. Aço UHB 15N20

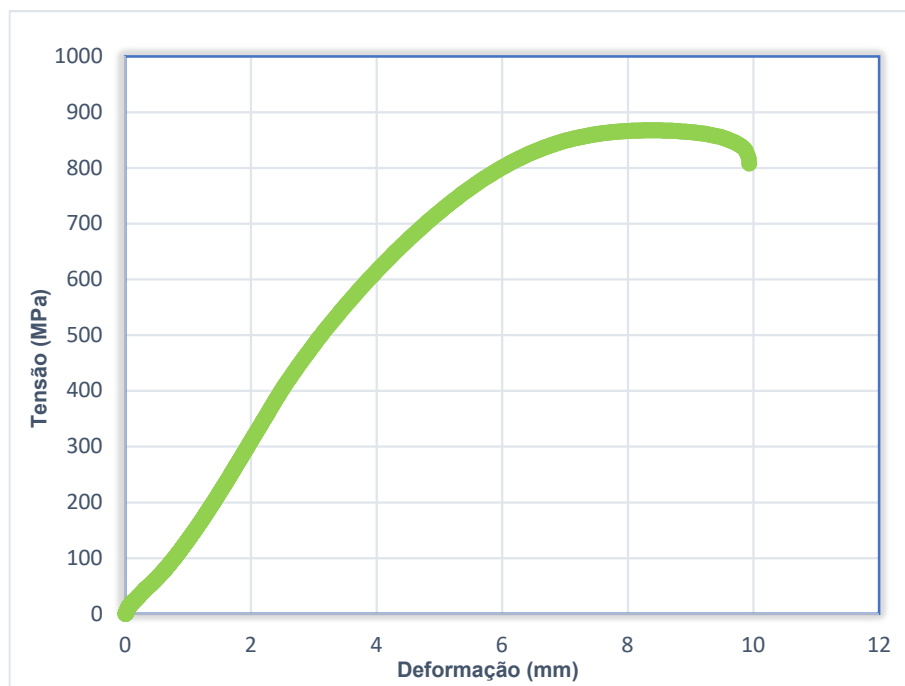


Figura 36 - Diagrama Tensão x Deformação CP 15N20

Fonte: Autor

Tabela 9 - Dados CP UHB 15N20

Fonte: Autor

DADOS CP UHB 15N20	
Largura efetiva	5,95 mm
Espessura efetiva	6,03 mm
Área efetiva	35,88 mm ²
Tensão de escoamento	469 MPa
Tensão máxima	868 MPa
Comprimento inicial	25 mm
Comprimento final	29,35 mm
Ductilidade	17,4 %

4.1.1.4. Aço UHB 15N20.1

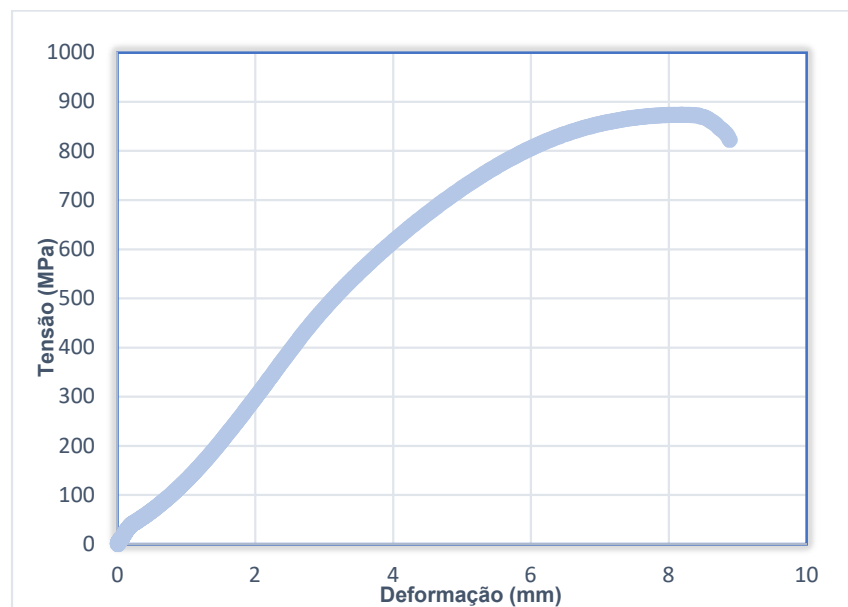


Figura 37 - - Diagrama Tensão x Deformação CP 15N20.1

Fonte: Autor

Tabela 10 - Dados CP UHB 15N20.1

Fonte: Autor

DADOS CP UHB 15N20.1	
Largura efetiva	5,95 mm
Espessura efetiva	6,04 mm
Área efetiva	35,93 mm ²
Tensão de escoamento	498 MPa
Tensão máxima	874 MPa
Comprimento inicial	25 mm
Comprimento final	28,15 mm
Ductilidade	12,6 %

4.1.1.5. Aço Damasco (Misto)

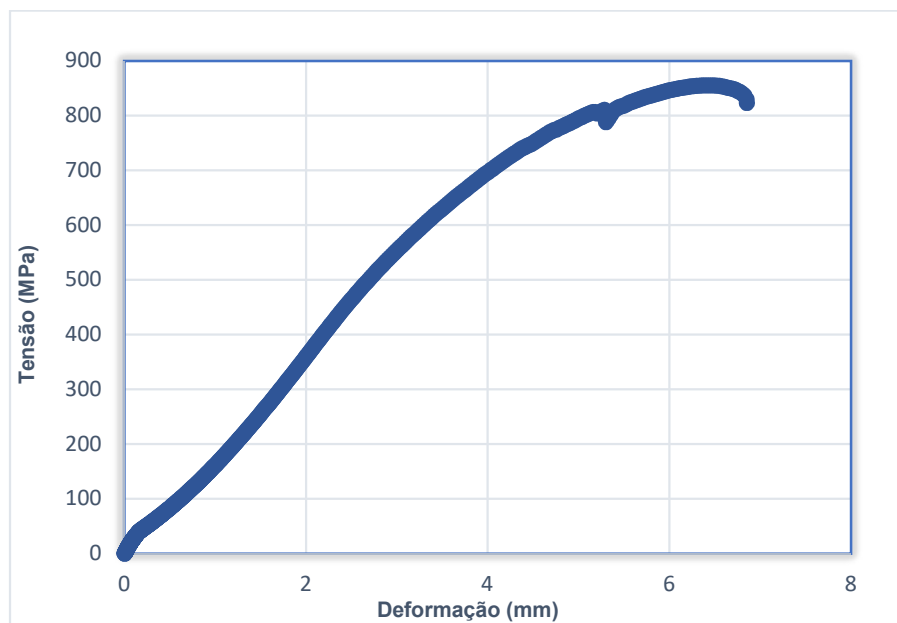


Figura 38 - Diagrama Tensão x Deformação CP Misto

Fonte: Autor

Tabela 11 - Dados CP Misto

Fonte: Auto

DADOS CP MISTO	
Largura efetiva	6,05 mm
Espessura efetiva	6,06 mm
Área efetiva	36,66 mm ²
Tensão de escoamento	527 MPa
Tensão máxima	855 MPa
Comprimento inicial	25 mm
Comprimento final	27,4 mm
Ductilidade	9,6 %

4.1.1.6. Aço Damasco (Misto.1)

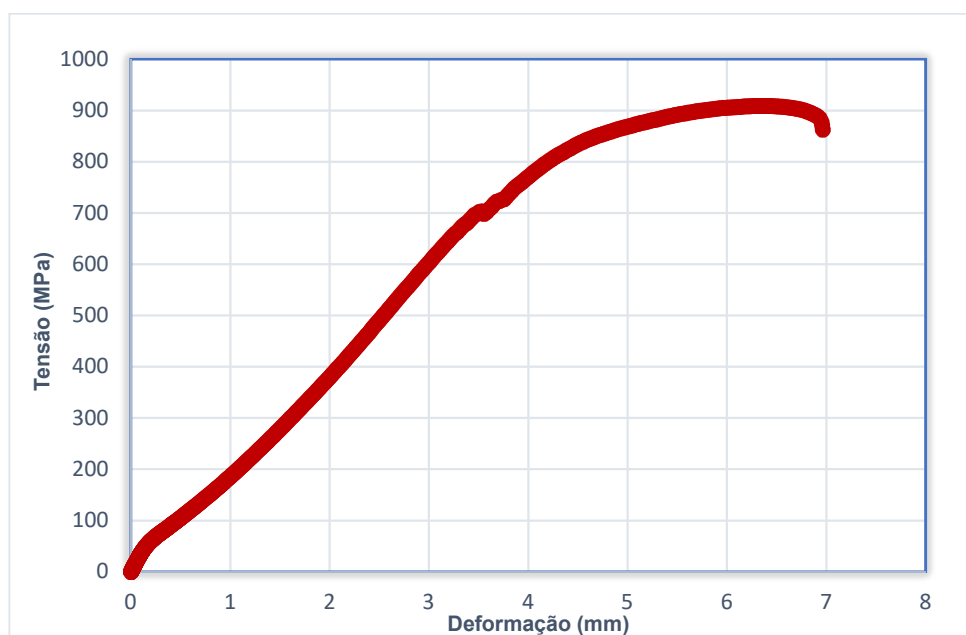


Figura 39 - Diagrama Tensão x Deformação CP Misto.1

Fonte: Autor

Tabela 12 - Dados CP Misto.1

Fonte: Autor

DADOS CP MISTO.1	
Largura efetiva	5,99 mm
Espessura efetiva	6,07 mm
Área efetiva	36,36 mm ²
Tensão de escoamento	695 MPa
Tensão máxima	909 MPa
Comprimento inicial	25 mm
Comprimento final	27,75 mm
Ductilidade	9,6 %

4.1.2. Resultados Ensaio de Dureza

4.1.2.1. Aço SAE 1080

Como pode ser observado na tabela abaixo, após realizar todos os ensaios, a média de dureza HRC obtida no CP 1080 é de 25 HRC.

Tabela 13 - Ensaio de Dureza CP 1080

Fonte: Autor

ENSAIO DE DUREZA AÇO SAE 1080	
Ensaio 1	26
Ensaio 2	24
Ensaio 3	23
Ensaio 4	26
Ensaio 5	26
Média Ensaios	25

4.1.2.2. Aço UHB 15N20

Como pode ser observado na tabela abaixo, após realizar todos os ensaios, a média de dureza obtida no CP 15N20 é de 20,8 HRC

Tabela 14 - Média dos valores coletados nos ensaios no CP 15N20

Fonte: Autor

ENSAIO DE DUREZA CP 15N20	
Ensaio 1	20
Ensaio 2	20
Ensaio 3	22
Ensaio 4	21
Ensaio 5	21
Média Ensaios	20,8

4.1.2.3. Aço Damasco (Misto)

Foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 15 - Média dos valores coletados nos ensaios no CP Misto

Fonte: Autor

ENSAIO DE DUREZA CP MISTO	
Ensaio 1	20
Ensaio 2	26
Ensaio 3	24
Ensaio 4	26
Ensaio 5	25
Ensaio 6	23
Ensaio 7	22
Ensaio 8	26
Ensaio 9	26
Ensaio 10	27
Média Ensaios	24,5

4.1.3. Discussões

Nos ensaios de tração, podemos observar que os corpos de prova constituídos do aço SAE 1080 suportaram mais que os outros, seguido do aço damasco SAE 1080 + UHB 15N20 e por fim, o UHB 15N20.

Nos ensaios de dureza, seguimos com a mesma colocação do anterior, o aço SAE 1080 com maior dureza, seguido do aço damasco SAE 1080 + UHB 15N20 e posteriormente o UHB 15N20.

Vale ressaltar que o CP Misto teve mais ensaios que os outros durante o ensaio de Dureza, pois ao longo dos corpos de prova poderiam haver aglomerações de carbono mais do que outros, portanto a forma de assegurar um resultado mais preciso, foi adotado este procedimento.

A tabela a seguir dispõe de todos os resultados dos ensaios de realizados.

Tabela 16 - Valores coletados dos ensaios de Tração e Dureza

Fonte: Autor

Corpo de Prova (CP)	Tensão Max (MPa)		Dureza (HRC)
	CP	CP.1	
CP 1080	940	885	25
CP 15N20	868	874	20,8
CP Misto	855	909	24,5

Um dos maiores desafios encontrados durante todo o projeto foi a confecção *billets*, pois foi utilizada uma forja artesanal, com a confecção sendo derivada do empilhamento de placas soldadas e posteriormente expostas a uma alta temperatura e pressão, também houve a dificuldade de eliminar totalmente as impurezas entre as placas dos materiais podem ter gerado imperfeições microscópicas nas estruturas dos *billets*, que posteriormente ao serem usinados e ensaiados, foram expostos a grandes tensões que em conjunto com essas impurezas em suas estruturas que provocariam rupturas transversais no material. Tal situação poderia exibir valores inconsistentes durante os ensaios.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo foi possível observar um pouco mais sobre o Aço Damasco com os ensaios realizados entre este, e os aços que o compõem.

Através dos resultados apresentados é observado a mescla de propriedades no Aço Damasco, uma vez que os ensaios de Tração e Dureza evidenciaram isto. O mesmo apresentou características mescladas dos aços que o compõem, assim como teoricamente.

Pode-se levar em consideração que o Aço Damasco, apesar de mesclar tais propriedades dos aços componentes, o mesmo não é indicado para o uso industrial por ser um processo de fabricação que não é totalmente livre de impurezas, tais impurezas podem interferir diretamente na performance do material, diferente do uso em cutelaria, que, além de deixar a parte estética diferenciada de outros aços, este não irá sofrer tensões ou quaisquer outras forças no grau em que poderia ocorrer no meio industrial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**. 5^o ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008

R. F. NAVARRO, **A Evolução dos Materiais**. Campina Grande, 2006.

FIGIEL, M.D., Leo, **On Damascus Steel**, 1. ed, Flórida 1991. Making Educated Decision Based, Damascus Steel History.

BERARDO. **Uma faca do início ao fim: Forjamento**. Disponível em: <<https://berardofacascustom.blogspot.com/2016/02/uma-faca-do-inicio-ao-fim-forjamento.html>>. Acesso em: 3 de out. 2019.

BERARDO. **Aço Damasco: História e métodos de produção**. Disponível em: <<https://berardofacascustom.blogspot.com/2016/01/aco-damasco-historia-e-metodos-de.html%3E.%20Acesso%20em:%2030%20set.%202018.>>>. Acesso em: 3 out. 2019.

CALLISTER, Willian; RETHWISCH, David. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9^o Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

SOUZA, Sergio. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos: Fundamentos teóricos e práticos**. 5^o Ed. São Paulo: Edgard BLUCHER, 1982

GARCIA A. (2000). **“Ensaio dos materiais”**. Livros técnicos e científicos Editora.

PAZINI, Henrico. **PROPRIEDADES MECÂNICAS DA LIGA DE AÇO DAMASCO SAE 5160 + UHB 15N20**. 47f. Dissertação (Graduação) - Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Panambi, 2011.

DALCIN, B. Gabrieli. **Ensaio dos Materiais**. Disponível em: <http://www.urisan.tche.br/lemm/arquivos/ensaio_mecanicos.pdf>. Acesso em 3 out. 2019.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Materiais de Construção Mecânica.** 2° Ed. São Paulo: Pearson, 2013

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON, E. Russel. **Resistência dos Materiais.** Ed. PEARSON - 3ª edição – 1995

TELECURSO 2000. **Ensaio de Materiais.** São Paulo: Globo