



Universidade de Brasília
Faculdade do Gama
Laboratório de materiais de construção

**Avaliação de corpos de prova
sujeitos a ensaios mecânicos de tração, impacto, dureza e
metalografia**

Rodrigo Evangelista Aguiar de Souza 18/0130366

Orientador:
Professor Dr. Emmanuel Pacheco Rocha Lima

18 de abril de 2022

Conteúdo

Conteúdo	1
1 Resumo	2
2 Introdução	3
3 Metodologia	3
3.1 Ensaio de tração	3
3.2 Ensaio de impacto e dureza	5
3.3 Metalografia em microscopia óptica	6
4 Resultados e discussões	7
4.1 Ensaio de tração	7
4.2 Ensaaios de impacto e dureza	9
4.3 Metalografia por microscopia óptica	10
5 Conclusão	11
Referências	12
A Anexos	12
A.1 Tabela do ensaio de tração	12

1 Resumo

Os ensaios mecânicos permitem visualizar e quantificar uma série de propriedades mecânicas dos materiais, onde, por sua vez, estas propriedades são diretamente influenciadas pela ação de tratamentos térmicos ao qual o material possa estar sujeito. Diante do exposto, torna-se fundamental compreender a relação direta existente entre os tratamentos térmicos e as propriedades mecânicas de um material, onde, para isso, os ensaios mecânicos são a ferramenta mais utilizada, dando destaque aos ensaios de tração, impacto, dureza e observação metalográfica por microscopia. Portanto, este trabalho objetivase a analisar os resultados de corpos de prova sujeitos aos ensaios mecânicos citados, onde o principal objetivo é identificar quais tratamentos térmicos foram realizados nos corpos de prova através dos resultados dos ensaios. Os resultados foram expostos em tabelas e gráficos, e discussões foram levantadas a respeito.

Palavras chave: ensaio-mecânico, tração, dureza, impacto, metalografia

2 Introdução

A aplicação de materiais voltados para o campo da engenharia vem sendo estudada exaustivamente ao longo do processo de industrialização da sociedade moderna. Neste contexto, destaca-se o extenso estudo conduzido na área de engenharia de materiais, que busca melhorar a resistência mecânica de materiais para implementá-los nos mais diversificados ramos industriais. Nesse contexto, surgem os ensaios mecânicos, que consistem em visualizar as propriedades mecânicas dos materiais através de processos químicos e físicos de acordo com a finalidade desejada, onde, na grande maioria dos casos, as propriedades que se desejam visualizar e quantificar são a ductibilidade, tenacidade, rigidez, resistência a tração e dureza.

Dado a grande importância no estudo da performance de materiais, é de fundamental importância a compreensão das suas propriedades mecânicas quando o material é sujeito a carregamentos diversos, visto que o conjunto de propriedades mecânicas do material é o que irá determinar a resistência do componente estrutural. Também é de fundamental importância entender a relação direta existente entre os ensaios e as propriedades do material, visto que estes ensaios não afetam o comportamento do material, mas ajudam a quantificar e analisar suas propriedades intrínsecas.

Dado a grande relevância do entendimento do comportamento de materiais quando sujeitos a carregamentos, os diagramas tensão-deformação são ferramentas bastante úteis, pois permitem visualizar uma série de propriedades mecânicas do material de maneira mais visual, além de mostrar a relação direta entre carga aplicada e deformação sofrida pelo material. Destaca-se, entretanto, que os diagramas tensão-deformação são úteis apenas para averiguar um número limitado de propriedades mecânicas, e que dependendo do processo químico ou físico que o material é sujeito, faz-se necessário outros tipos de ensaio para averiguar as propriedades do material em questão. Outros ensaios bastante comuns para averiguação de propriedades são os ensaios de impacto, dureza e metalografia. O ensaio de impacto visa quantificar a energia oriunda do impacto em um material, onde através dessa energia é possível calcular a deformação do componente ou estimar sua falha mecânica. Já o ensaio de dureza permite avaliar o grau de dureza do material, e conseqüentemente o quanto de carga ele suporta antes da ocorrência de fratura. Por fim, a observação metalográfica é um meio bastante poderoso para prever ou explicar as propriedades e o comportamento de uma peça metálica, já que permite conhecer a estrutura cristalina do material e identificar o tipo de grão de sua composição.

Dada a grande importância do estudo de ensaios na melhoria de propriedades de um material, este trabalho propõe analisar os resultados obtidos experimentalmente em três ensaios mecânicos, sendo eles os ensaios de tração, impacto, dureza e observação metalográfica por microscopia. Através dos ensaios, serão extraídas propriedades mecânicas dos materiais e comparadas com os valores presentes na literatura, onde o objetivo é identificar os tratamentos térmicos realizados nas amostras.

3 Metodologia

3.1 Ensaio de tração

O ensaio de tração faz parte dos ensaios mecânicos, os quais determinam e quantificam propriedades relacionadas ao comportamento dos materiais quando submetidos a esforços mecânicos. São usados de referência para dimensionamento, controle de qualidade do produto ou do processo e para saber se possui a eficiência esperada.

O ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial e crescente no corpo de prova até que haja sua ruptura, ocorrendo primeiramente o alongamento do corpo de prova antes da ocorrência da falha. Destaca-se que primeiramente, deve-se seguir algumas normas para padronização de corpos de prova, tendo destaque as normas ASTM E8, ASTM A370, ABNT NBR ISO 6892, ASTM D3039 e ASTM F606. Destaca-se, ainda que o formato padrão de corpos de

prova sujeitos a ensaios de tração é mostrado na figura 1^[1].

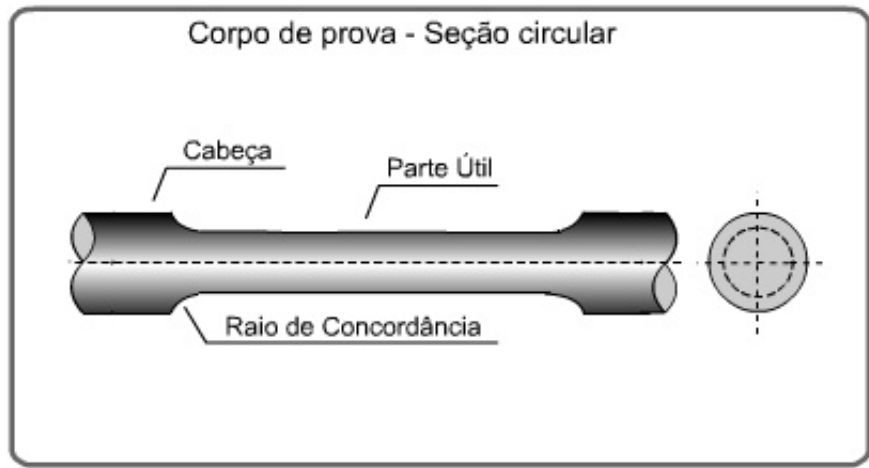


Figura 1: Formato do corpo de prova sujeito a ensaio de tração

Para elaboração do ensaio de tração proposto, foram utilizados dois corpos de prova de aço, onde seus diâmetros e dimensões são mostrados abaixo na tabela 1.

Tabela 1: Dimensões dos corpos de prova submetidos a ensaio

	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2
Diâmetro (mm):	5,75	5,70
Comprimento (mm):	127,30	126,80

De acordo com os dados fornecidos em planilha pelo professor, a máquina do ensaio de tração fornece os valores de alongamento em mm em função da carga em N aplicada nos corpos de prova. A partir disso, deve-se converter o alongamento em deformação e a carga em tensão, para então elaborar o diagrama tensão-deformação do material em questão. As equações que realizam essas conversões são mostradas abaixo, onde a equação (1) mostra a conversão de alongamento em deformação percentual e a equação (2) converte a carga aplicada em tensão utilizando os parâmetros dados na tabela 1.

$$\varepsilon\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{\pi(D_0^2/4)} = \frac{4F}{\pi D_0^2} \quad (2)$$

onde D_0 é o diâmetro inicial do corpo antes do ensaio e L_0 é o respectivo comprimento antes do ensaio. Com os resultados obtidos, será plotado o diagrama $\sigma \times \varepsilon\%$, onde então serão analisados os valores de módulo de elasticidade, tensão de escoamento, limite de resistência a tração, tensão de ruptura, ductibilidade e alongamento total dos corpos de prova.

O módulo de elasticidade pode ser calculado pegando dois pontos consecutivos do gráfico $\sigma \times \varepsilon$ e calculando a razão entre a variação de tensão pela variação de deformação, conforme mostrado na equação (3).

$$E = \frac{\sigma_i - \sigma_{i-1}}{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}} \quad (3)$$

A tensão de escoamento é a região de transição do limite elástico para o plástico, e sua determinação pode ser feita de maneira visual através do diagrama $\sigma \times \varepsilon$ que será obtido. Já

o limite de resistência a tração (LRT) é o valor da máxima tensão suportada pelo material antes da ruptura, e pode ser obtido diretamente pelos dados da tabela fornecida pelo professor, convertendo as cargas aplicadas em tensão de acordo com a equação (2). A tensão de ruptura é a última tensão do diagrama tensão-deformação, e novamente pode ser obtida pelos dados da tabela fornecida pelo professor, após converter respectiva carga em tensão.

Outras duas grandezas primordiais para análise de gráficos tensão-deformação são a ductibilidade e o alongamento total dos corpos de prova. A ductibilidade pode ser calculada em função do alongamento do corpo de prova devido a **deformação plástica**, e sua equação é mostrada em (4). Já a expressão para cálculo do alongamento total corresponde ao numerador da equação (4), ou seja, $\text{alongamento}_{tot} = L_f - L_0$.

$$\%_{\text{alongamento}} = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \quad (4)$$

3.2 Ensaio de impacto e dureza

O ensaio de impacto é empregado para quantificar a segurança e estabilidade de diversos componentes, tendo sido empregado com grande frequência nas indústrias aeronáuticas e automotivas. Sua finalidade principal é a caracterização de fratura frágil em metais, que é definida pela ocorrência de ruptura no corpo de prova sem a ocorrência de deformação elástica^[2]. Por conta disso, materiais que sofrem fraturas frágeis não podem ser empregados em situações onde atuam cargas de impacto na estrutura, visto que sua ruptura acontece de maneira abrupta e sem aviso. Para esse tipo de aplicação, recomenda-se materiais com alto grau de tenacidade, que absorvem a energia do impacto e a distribuem internamente, sofrendo deformações plásticas. Destaca-se, entretanto, que a existência de trincas no material, a baixa temperatura e a alta velocidade de carregamento constituem os fatores básicos para que também ocorra uma fratura do tipo frágil em materiais metálicos dúcteis.

O ensaio de impacto mais conhecido e utilizado é o ensaio de impacto Charpy. Neste ensaio, objetiva-se medir a quantidade de energia de impacto absorvida pelo corpo de prova, que por sua vez é impactado por um pêndulo com energia de impacto conhecida. O esquemático de realização do ensaio é mostrado abaixo na figura 2^[3].

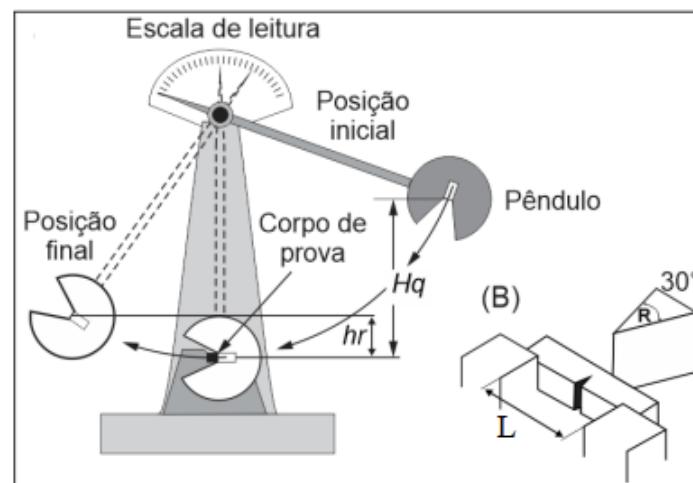


Figura 2: Máquina de realização do teste de impacto Charpy

O teste de dureza objetiva analisar um determinado material no que diz respeito a sua resistência mecânica, resistência ao desgaste por abrasão e erosão e também avaliar a eficiência de um tratamento térmico feito no material. Diferente dos demais testes, é um ensaio não destrutivo, pois preserva a integridade do corpo de prova.

O teste de dureza é realizado através de penetração de um corpo pontudo no corpo de prova, onde, dos diversos testes conhecidos, o mais utilizado em escala global é o teste de dureza Rockwell. Este teste consiste na aplicação de carga em duas etapas, de tal forma que primeiramente seja assegurado o contato firme entre o corpo penetrados e o corpo de prova, e depois é aplicado a carga propriamente dita. O grau de dureza é então quantificado diretamente num mostrador acoplado à máquina de ensaio, de acordo com uma escala predetermined, adequada à faixa de dureza do material. O esquemático do teste de dureza Rockwell é mostrado na figura 3.

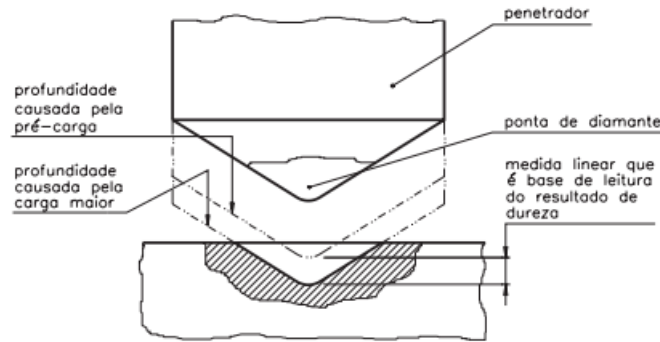


Figura 3: Esquemático do teste de dureza Rockwell

Tendo em mente a descrição dos testes de impacto e dureza citados, tem-se que estes ensaios foram executados nos mesmos materiais metálicos utilizados no teste de tração. O objetivo principal destes testes é correlacionar os resultados dos testes de impacto e dureza com os resultados dos testes de tração, onde os resultados serão abordados e discutidos no capítulo 4.

3.3 Metalografia em microscopia óptica

A observação metalográfica é um meio poderoso para estudar o comportamento de materiais metálicos através da análise de sua composição micrográfica. É de grande importância, pois as propriedades mecânicas do material dependem não só de sua microestrutura, mas também da sua textura final. A análise metalográfica envolve um conjunto básico de operações a serem executadas, conforme listado abaixo.

- Corte: Processo de corte para retirada de uma amostra do material.
- Embutimento: Objetiva melhorar a qualidade da amostra na região de corte e facilitar o manuseio nos processos seguintes
- Lixamento: Melhora o acabamento superficial da amostra, facilitando a ação dos produtos utilizados no ataque químico
- Polimento: Retirada de marcas ainda presentes na amostra através da utilização de abrasivos
- Ataque químico: Utilização de produtos químicos para verificar a presença de fases distintas existentes na amostra, sendo o reconhecimento dessas fases fundamentais para o entendimento das propriedades mecânicas do material
- Microscopia óptica: Observação das amostras após o ataque químico

Espera-se averiguar com o auxílio da metalografia a microestrutura das amostras analisadas, e conseqüentemente correlacionar os resultados com os resultados dos testes de tração, impacto e dureza.

4 Resultados e discussões

4.1 Ensaio de tração

Os diagramas tensão-deformação para os dois corpos de prova são mostrados abaixo nas figuras 4 e 5, onde nos diagramas, já são ressaltadas as tensões de escoamento, tensão de ruptura e LRT calculadas conforme as equações apresentadas na metodologia. Vale destacar que os procedimentos foram feitos em planilhas Excel, e o link de acesso às planilhas se encontra nos anexos deste relatório.

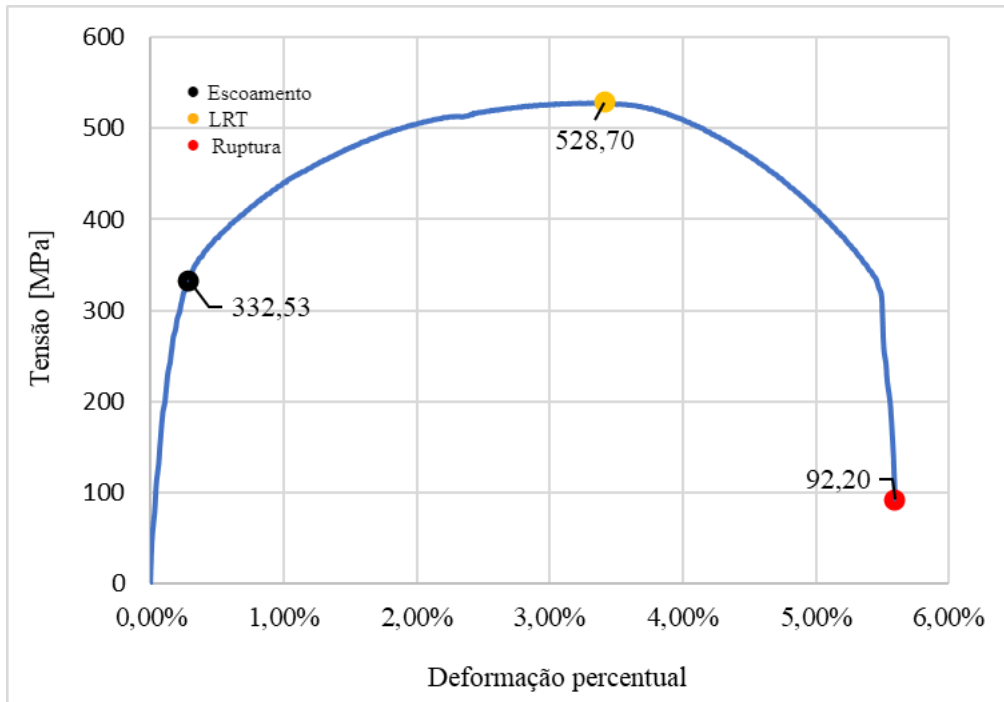


Figura 4: Diagrama tensão-deformação para o corpo de prova 1

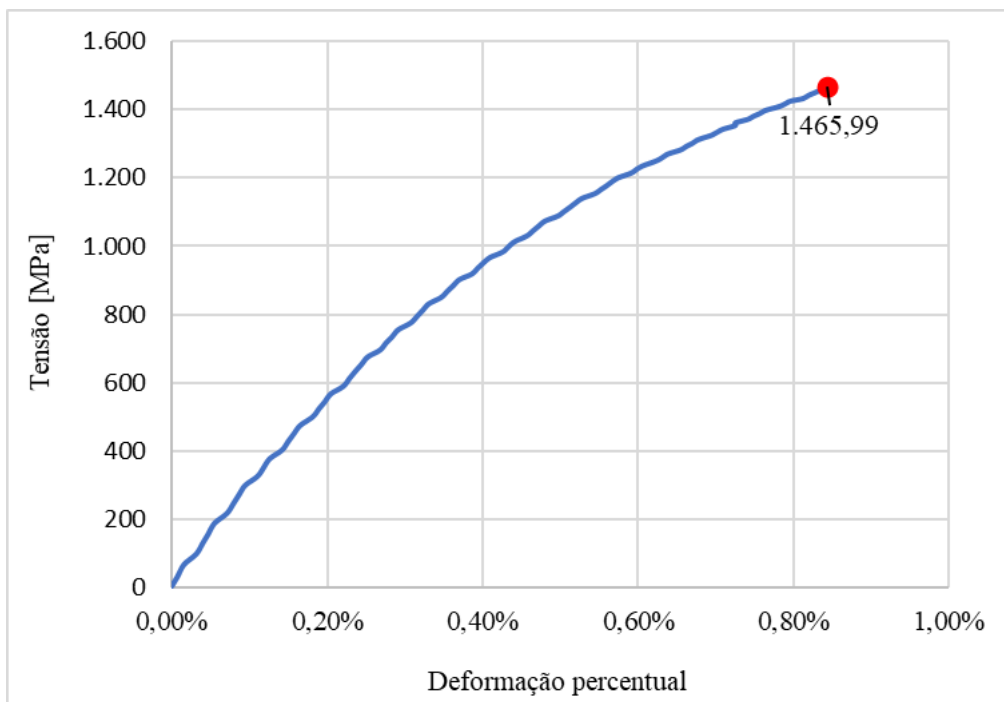


Figura 5: Diagrama tensão-deformação para o corpo de prova 2

Analisando o comportamento dos diagramas mostrados nas figuras, observase que o diagrama do corpo 1 apresenta o formato de um material com alto grau de ductibilidade, tendo altos níveis de decormação antes da ocorrência da falha. Já o compo de prova 2 apresenta um diagrama com comportamento de material frágil, onde a ruptura ocorre sem deformação plástica, e, conseqüentemente, O LRT corresponde a tensão de ruptura, tendo valor de 1465,99 MPa conforme destacado na figura 5.

Para efeito comparativo de elasticidade, os módulos de elasticidade são calculados pela equação (3), onde os dados das tabelas podem ser conferidos nos anexos.

$$E_1 = \frac{200,44 - 189,54}{0,0011 - 0,000943} MPa = 69,424 GPa$$

$$E_2 = \frac{568,362 - 545,44}{0,002050 - 0,001972} MPa = 293,95 GPa$$

A tensão de escoamento, LRT e tensão de ruptura para o corpo de prova 1 estão bem definidos na figura 4, e correspondem a $\sigma_{esc} = 332,53 MPa$, $LRT = 528,70 MPa$ e $\sigma_{rup} = 92,20 MPa$. Para o corpo de prova 2, não é possível observar nitidamente a tensão de escoamento do material, onde de acordo com Callister^[2], quando isso acontece, deve-se estimar esse valor adotando a convenção de que a tensão de escoamento corresponde à tensão necessária para promover uma deformação permanente de 0,2%. Portanto, como o diagrama do corpo de prova 2 não possui região plástica, tem-se que não é possível determinar a tensão de escoamento. Já para as tensões de ruptura e LRT, tem-se que $LRT = \sigma_{rup} = 1465,99 MPa$. Por fim, tem-se que os cálculos de ductibilidade e alongamento total são dados abaixo, e a tabela 2 ilustra a comparação dos valores em relação ao aço estrutural AISI 1020 cru^[4] (sem sofrer tratamentos térmicos).

$$ductibilidade_1 = \frac{7,12mm}{127,30mm} \times 100 = 5,5931\% \rightarrow alongamento_{tot} = 7,12mm$$

$$ductibilidade_2 = \frac{1,07mm}{126,80mm} \times 100 = 0,8438\% \rightarrow alongamento_{tot} = 1,07mm$$

Tabela 2: Resultados dos corpos de prova em comparação com o aço sem tratamentos térmicos

Propriedade	Corpo de Prova 1	Corpo de Prova 2	Aço AISI 1020
Módulo de elasticidade (GPa):	69,424	293,95	186
Tensão de escoamento (MPa):	332,53	—	350
LRT (MPa)	528,70	1465,99	420
Tensão de ruptura (MPa):	92,20	1465,99	324
Ductibilidade (%):	5,5931	0,8438	15
Alongamento total (mm):	7,12	1,07	Aumento de 15%

Pelos dados apresentados na tabela, algumas observações e inferências podem ser feitas. Em relação ao corpo de prova 1, tem-se que suas propriedades mecânicas diminuíram em relação ao valor sem tratamentos. Em consulta a literatura e ao material de aula do professor, constatou-se que a temperatura é o principal responsável por afetar diretamente o módulo de elasticidade, e conseqüentemente torna o material mais dúctil e tenaz, visto que passa a ter maior deformação, e conseqüentemente absorver mais energia até a ocorrência da falha. Além disso, o corpo de

prova tem sua rigidez diminuída, fato comprovado pela diminuição de E , e consequentemente passa a absorver mais energia proveniente de impactos antes da ruptura. Sendo assim, pelas características citadas e pelo comportamento do diagrama tensão-deformação do corpo de prova 1, pode-se atribuir estes efeitos à tratamentos térmicos específicos, onde, possivelmente, o corpo de prova 1 tenha sido sujeito ao tratamento de recozimento subcrítico. Nesse tipo de tratamento, o material é sujeito a uma temperatura elevada por um período de tempo prolongado, sendo, em seguida, resfriado lentamente. Isso faz com que haja aumento de ductibilidade e tenacidade no material, além de produzir microestruturas específicas no corpo de prova.

Em relação ao corpo de prova 2, tem-se que suas propriedades mecânicas sofreram aumento em relação ao aço sem tratamento. Pelo aumento do módulo de elasticidade, é possível observar efeito contrário em relação ao corpo de prova 1, onde então o corpo de prova 2 apresenta baixos índices de tenacidade e ductibilidade, além de apresentar alta rigidez, onde o comportamento de seu gráfico $\sigma \times \varepsilon$ é semelhante ao comportamento de materiais cerâmicos, sendo altamente frágeis. Consequentemente, esse material apresenta fratura frágil, e não é indicado para situações sujeitas a impactos mecânicos. Novamente, pela consulta na bibliografia clássica^[2] e no material do professor, pode-se inferir que o tratamento térmico aplicado no corpo de prova 2 é a têmpera seguida de revenimento. Nesse tipo de tratamento, o corpo de prova é aquecido, e logo em seguida resfriado abruptamente, com o objetivo de aumentar a rigidez do material, sua dureza e sua resistência a fadiga. O fato do corpo de prova ser resfriado rapidamente justifica o ocorrido com o módulo de elasticidade, que aumenta ao invés de diminuir dado a drástica mudança na estrutura cristalina do material. Visto que o tratamento por têmpera ocasiona acúmulo de tensões residuais, faz-se então necessário o revenimento, completando o tratamento térmico. Portanto, ao corpo de prova 2 é atribuído o tratamento de têmpera por revenimento.

4.2 Ensaios de impacto e dureza

Os resultados de impacto e dureza para os corpos de prova podem ser vistos abaixo na tabela 3, ressaltando que **o material 1 para a o impacto e dureza não necessariamente são os mesmos, ou seja, o material 1 para a dureza pode ser o 2 para o impacto, e o mesmo vale para os ensaios de tração e microscopia.**

Tabela 3: Resultado dos testes de impacto e dureza dos materiais 1 e 2

Medidas	Energia (J) Material 1	Energia (J) Material 2	Dureza (HRC) Material 1	Dureza (HRC) Material 2
1	32	11	55	11
2	30	9	54	13
3	28	10	56	14
4	40	11	69	12
5	30	9	52	8
Média:	32	10	57,200	11,600
Desvio Padrão:	4,690	1,000	6,760	2,302

Em relação ao teste de impacto, observa-se pelos dados da tabela que o material 1 apresentou os maiores valores de energia absorvida. Materiais com alta absorção energética possuem altos valores de ductibilidade e tenacidade, visto que seu comportamento elástico é mais acentuado. Em concordância com as análises efetuadas no ensaio de tração e com o gráfico da figura 4, tem-se, portanto, que o material 1 do teste de impacto representa o material 1 do teste de tração, dado o alto comportamento elástico, e consequentemente a alta ductibilidade e tenacidade. Conclui-se portanto que o material 1 do teste de impacto e o material do corpo de prova 1 do teste de tração são os mesmos, onde este material é submetido ao tratamento térmico de recozimento subcrítico.

Em relação ao material 2 do teste de impacto, o mesmo apresentou baixos valores de energia absorvida, comportamento típico de materiais sujeitos a fratura frágil, onde falham abrupta-

mente. Esse tipo de material apresenta alta rigidez e baixos valores de ductibilidade e tenacidade, onde, consequentemente, esse material é associado ao material do corpo de prova 2 do ensaio de tração, onde o comportamento é mostrado na figura 5. Portanto, o material 2 do teste de impacto e o material 2 do ensaio de tração são os mesmos, onde pela explicação já discutida na seção de ensaio de tração, o material foi sujeito a têmpera e revenimento.

Em relação ao teste de dureza, as análises são análogas ao já discutido nos ensaios de tração e impacto. O material 1 do teste de dureza apresentou altos valores de dureza Rockwell, enquanto que no material 2 os valores são extremamente baixos. Pelas explicações já mencionadas, tem-se portanto que o material 1 do ensaio de dureza representa o material 2 do ensaio de tração, apresentando comportamento de material frágio da figura 5, onde o metal foi sujeito ao tratamento térmico de têmpera seguida de revenimento. Consequentemente, o material 2 do teste de dureza representa o material 1 do ensaio de tração, visto que materiais com altos valores de ductibilidade e tenacidade apresentam baixa dureza. Portanto, este material foi sujeito ao recozimento subcrítico.

4.3 Metalografia por microscopia óptica

Após a realização da metalografia, os resultados foram observados em microscópios ópticos com aumentos de 100 e 1000 vezes. Os resultados podem ser observados abaixo nas figuras 6 e 7.

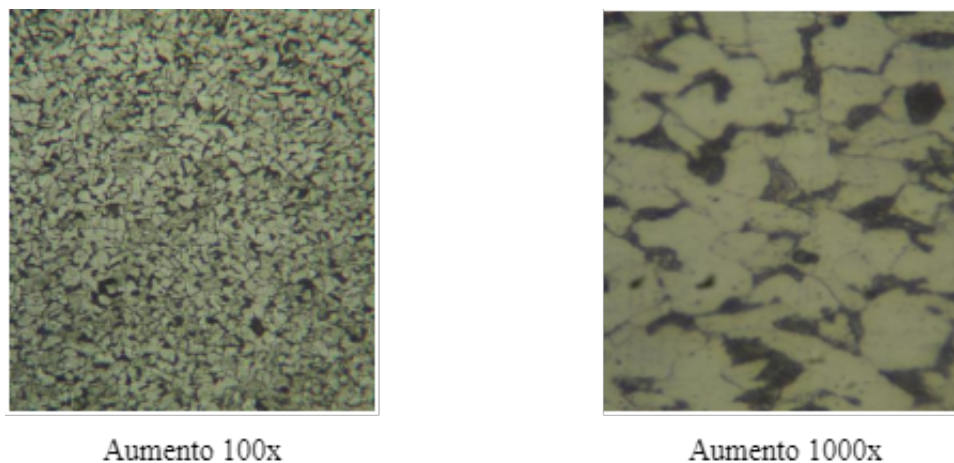


Figura 6: Análises metalográficas do corpo de prova 1

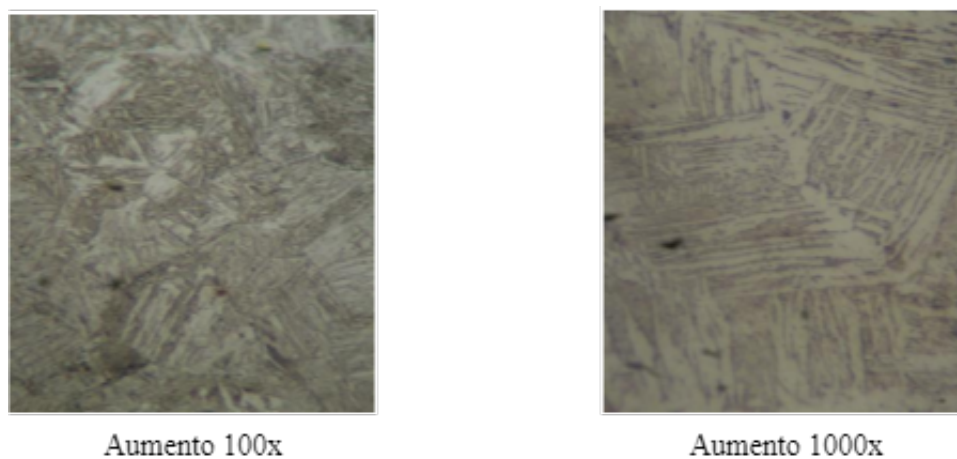


Figura 7: Análises metalográficas do corpo de prova 2

Pela observação da metalografia do corpo de prova 1, é possível perceber a presença de Ferrita (**grãos claros**) e de Perlita (**grãos escuros**), onde a concentração de perlita é o que determina o grau de dureza do material. A figura 7 mostra a presença de Martensita, onde esse componente surge através do processo de têmpera. Nesse processo, a Ferrita presente inicialmente no aço se transforma em Austenita quando aquecida acima da temperatura crítica do aço, e o rápido resfriamento converte a Austenita em Martensita. Essa transformação pode ser melhor observada no diagrama de fase do aço, mostrado abaixo na figura 8^[2].

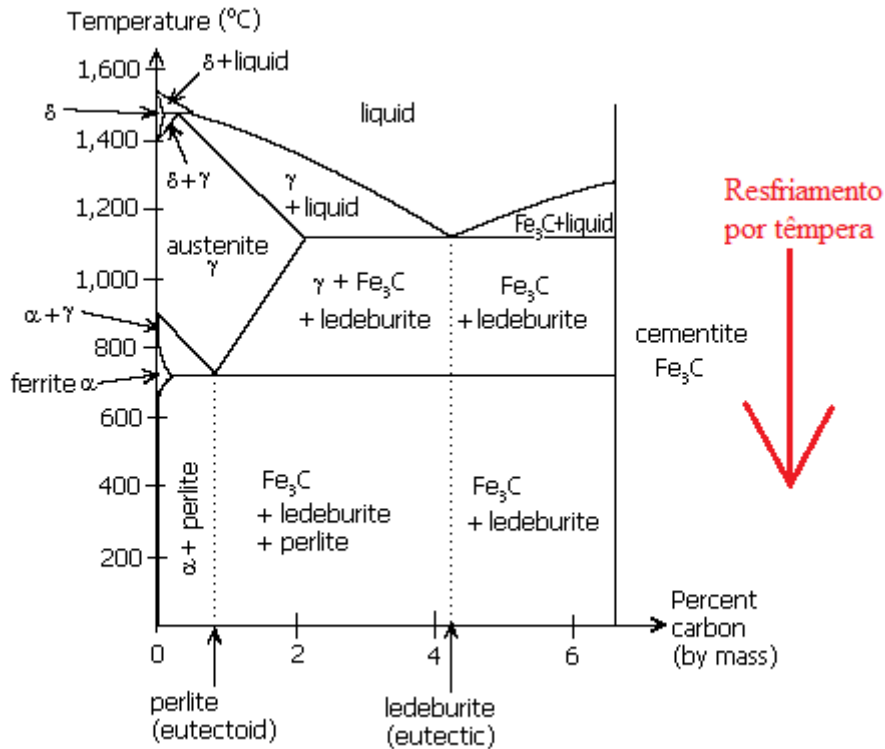


Figura 8: Diagrama de fase do aço

No contexto dos tratamentos térmicos citados anteriormente, pode-se dizer que a figura 6 que representa o corpo de prova 1 do ensaio metalográfico representa o corpo de prova 1 do ensaio de tração, visto que esse corpo é mais dúctil e tenaz. A predominância de Ferrita (ver figura 8) e o baixo índice de Perlita na microestrutura faz com que o material tenha baixa rigidez, consequência direta do tratamento de recozimento subcrítico recebido. Consequentemente, o corpo de prova 2 do ensaio metalográfico corresponde ao corpo de prova 1 do ensaio de tração, visto que o surgimento de Martensita é decorrente do rápido resfriamento da têmpera^[5].

5 Conclusão

O presente trabalho buscou correlacionar os resultados obtidos em ensaios mecânicos com os possíveis tratamentos térmicos responsáveis por alterar as propriedades mecânicas de aços. O ensaio de tração permitiu a obtenção dos diagramas tensão-deformação, onde as propriedades mecânicas puderam ser quantificadas de maneira mais visual. Viu-se também que baixos módulos de elasticidade contribuem para altos valores de ductibilidade e tenacidade, e que o oposto ocasiona aumento nas propriedades que envolvem alta rigidez estrutural. Os ensaios de impacto e dureza comprovaram os resultados obtidos no ensaio de tração, onde foi visto que materiais dúcteis absorvem grandes quantidades de energia de impacto antes da ruptura, e que os materiais frágeis absorvem baixa energia de impacto. Por fim, foi possível obter uma excelente visualização das estruturas microscópicas, sendo possível observar os grãos de Perlita,

Ferrita e também de Martensita, concluindo com sucesso todos os ensaios propostos.

Referências

- 1 MECÂNICA, C. de I. M. *Corpos de Prova para o Ensaio de Tração*. 2022. <https://www.cimm.com.br/portal/materialdidatico/6543-corpos-de-prova-para-o-ensaio-de-tracao-google-ignette>.
- 2 CALLISTER, W. D.; RETHWISH, D. G. *Ciência e Engenharia de Materiais*. [S.l.]: LTC Editora, 2016. v. 1.
- 3 GARCIA, A. et al. *Ensaio de materiais*. [S.l.]: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2012. v. 2.
- 4 MATERIAL, P. D. *Mechanical properties of AISI 1020 Steel, cold rolled*. 2022. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffbbckck=>
- 5 SENAI. *telecurso 2000: Tratamentos térmicos*. 2000. <https://www.telecurso.org.br/colecao-de-teleaulas>.

A Anexos

A.1 Tabela do ensaio de tração

<https://drive.google.com/file/d/1WExzMJZehYVw6xgy3KrtPIUDE5yjlYDt/view?usp=sharing>