

TÍTULO

APLICAÇÕES DO ENSAIO JOMINY EM DIFERENTES LIGAS FERROSAS

Laura Victória Souza Carvalho¹ (IC), Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo (PQ)¹¹(Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI).**Palavras-chave:** Aço. Dureza. Ensaio jominy. Microestrutura martensítica. Têmpera. Tratamento térmico.**Introdução**

O tratamento térmico é um dos métodos mais antigos e eficientes para modificar as propriedades físicas de um material. O processo envolve a alteração das taxas de resfriamento por meio do aquecimento e resfriamento controlado, ajustando variáveis como tempo, temperatura e atmosfera. Esses procedimentos são essenciais para garantir que os materiais cumpram os requisitos específicos de desempenho em suas aplicações finais. Assim, compreender esses processos e seus efeitos é crucial para o avanço do estudo da engenharia de materiais, bem como para o desenvolvimento tecnológico e industrial (PINEDO, 2021).

A dureza máxima de um aço ao carbono está diretamente relacionada a uma microestrutura completamente martensítica. Essa microestrutura só pode ser alcançada quando as transformações controladas por difusão da austenita são suprimidas por um resfriamento rápido o suficiente. A transformação martensítica ocorre quando a austenita, ao ser resfriada bruscamente, se converte em uma fase metaestável. Esse processo envolve a mudança da estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC) da austenita para uma estrutura tetragonal de corpo centrado (TCC), característica da martensita (CALLISTER, 2016).

O ensaio Jominy é uma técnica utilizada para avaliar a temperabilidade dos aços, ou seja, sua capacidade de endurecimento sob diferentes condições de resfriamento. Ele permite entender como o aço reage ao tratamento térmico, considerando as variações na taxa de resfriamento e as microestruturas resultantes, como a martensita por exemplo (GONÇALVES, 2008).

Essas mudanças têm impacto direto nas propriedades mecânicas, como dureza, ductilidade, resistência mecânica e tenacidade. A compreensão das microestruturas é fundamental para determinar as

propriedades do material e suas possíveis aplicações.

Assim, é essencial entender como diferentes taxas de resfriamento durante o tratamento térmico afetam a microestrutura e a dureza dos aços, pois isso permite definir com precisão o tratamento térmico necessário para alcançar as propriedades desejadas no material final.

O objetivo deste trabalho foi analisar a microestrutura, dureza e microdureza ao longo do corpo de prova, dos aços 1070 e 1045, após a realização do ensaio de temperabilidade Jominy. A importância desse estudo reside no fato de que as propriedades dos aços são diretamente influenciadas pela microestrutura, a qual é determinada por fatores como o tratamento térmico, histórico mecânico e composição química.

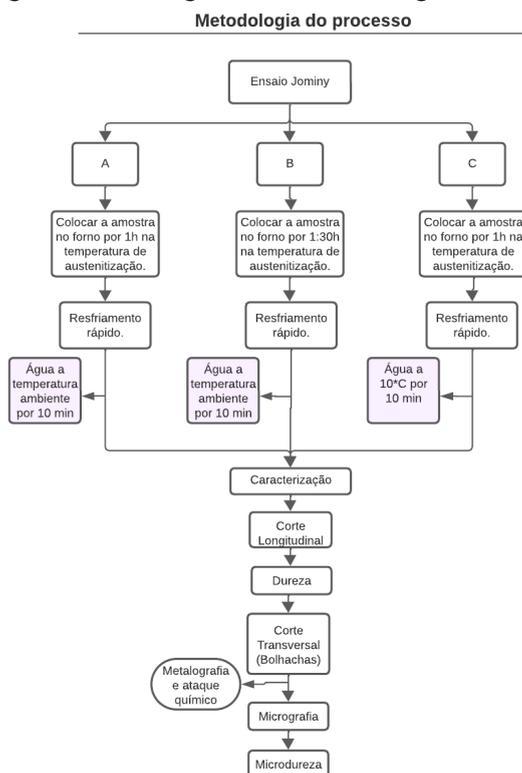
Metodologia

No ensaio Jominy, a amostra é aquecida até a temperatura de austenitização, sendo 870°C para amostras do aço AISI 1045 e 840°C para as amostras do aço AISI 1070. Esse resfriamento ocorre de forma assimétrica, resultando em diferentes taxas de resfriamento ao longo do comprimento da amostra. Como resultado, formam-se microestruturas distintas conforme a variação da taxa de resfriamento, o que leva a diferentes valores de dureza ao longo da amostra. A medição dessas durezas ao longo do eixo axial permite a construção de uma curva de temperabilidade (GONÇALVES, 2008).

O ensaio foi dividido em três experimentos, denominados A, B e C. Em cada um deles, foi alterada uma variável, mantendo-se a mesma metodologia para os dois tipos de aço utilizados (AISI 1045 e AISI 1070). O experimento "A" seguiu as condições padrão, o experimento "B" variou o tempo de encharque e o experimento "C" variou a temperatura da água de resfriamento. No experimento "A", as amostras de ambos os aços foram aquecidas no forno por 1 hora, à temperatura de austenitização correspondente de cada

aço, e em seguida resfriadas no dispositivo Jominy por 10 minutos com água a 25°C (temperatura ambiente) e vazão constante. No experimento "B", o tempo de encharque foi ajustado para 1 hora e 30 minutos, mantendo-se a mesma temperatura de austenitização de cada aço, e posteriormente as amostras foram resfriadas no dispositivo Jominy por 10 minutos com água a 25°C e vazão constante. O experimento "C" consistiu na variação da temperatura da água utilizada no dispositivo Jominy. As amostras foram austenitizadas por 1 hora no forno e, em seguida, resfriadas por 10 minutos no dispositivo Jominy com água a 10°C. O resfriamento da água foi realizado com a adição constante de gelo, e a temperatura foi monitorada e controlada utilizando um termopar. A figura 1 mostra o fluxograma do procedimento experimental para os ensaios A, B e C.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia do experimento.



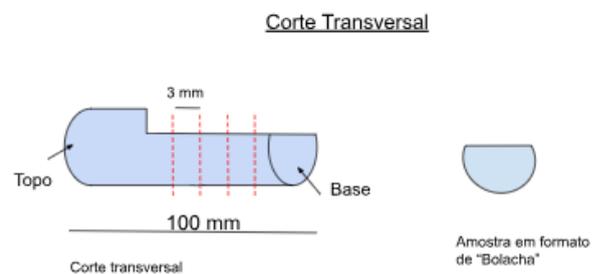
Fonte: Própria autoria

Durante o resfriamento de todos os experimentos foram usados termopares presos ao corpo de prova, localizados próximo a base do corpo de prova (área onde encosta o jato de água), no meio e no topo (área que fica em contato com o ar, longe do contato com a água). Os resultados das temperaturas foram coletados com ajuda de um software para aquisição de sinais térmicos (Labtrix) e transformados em um gráfico, onde permite ver a diferença de gradiente de temperatura entre as diferentes regiões do corpo.

Para avaliar a temperabilidade, foram realizados testes de dureza e microdureza. Para isso, as amostras foram cortadas em sentido longitudinal, até 6 cm da base em relação ao topo da amostra. Após o corte longitudinal, utilizou-se um paquímetro de bancada para marcar as distâncias entre as medições de dureza, com intervalos de 1/16 de polegada entre cada medida. A dureza foi medida por um durômetro com ponta de diamante, com uma carga de 150, da marca Durograf, modelo RSB N° 80.

Posteriormente o corte longitudinal e a medição de dureza, foram realizados cortes na seção transversal, gerando 8 amostras com 3 mm de espessura. Os cortes foram feitos em relação à base e ao topo do corpo de prova, conforme mostrado na figura 2. Logo as amostras denominadas como 8 representam a amostra mais perto do topo, e por consequência a mais longe da base (área onde teve contato direto com a água), enquanto que as amostras 1 estão relacionadas às amostras da base, que por sua vez tiveram maior taxa de resfriamento.

Figura 2 - Corte transversal das amostras.



Fonte: Própria Autoria.

As amostras derivadas do corte transversal passaram por um processo de embutimento, lixamento, polimento e ataque químico para análise metalográfica. As micrografias foram tiradas no microscópio e permitiu a avaliação da microestrutura formada em diferentes taxas de resfriamento nas diferentes alturas do corpo de prova. Após essa análise as amostras foram para o microdurômetro com carga de 1Kg por 15 segundos.

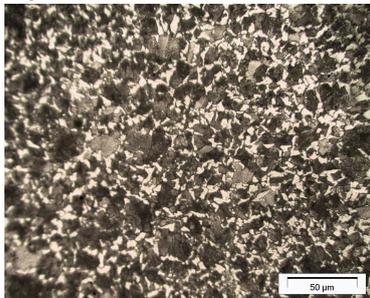
Resultados e discussão

As micrografias apresentam diferentes microestruturas ao longo do corpo de prova. A figura 3 mostra a micrografia da amostra 8 ("bolacha" do topo, a mais longe do jato de água) do aço 1045, experimento A. Essa amostra corresponde a área que teve a taxa de resfriamento mais lenta.

O experimento A corresponde ao considerado "padrão",

nele a amostra foi aquecida por 1 hora, na sua temperatura de austenitização, e resfriada por 10 minutos com água a temperatura ambiente e vazão constante de 12 L/min, no dispositivo Jominy.

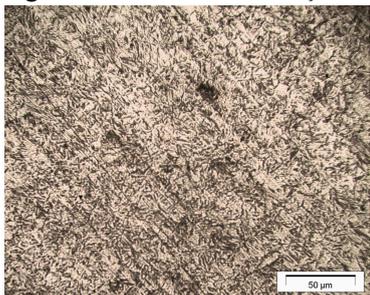
Figura 3 - Amostra 8 do aço 1045 do experimento A.



Fonte: Própria autoria

A figura 4 mostra micrografia da amostra 1 (“bolacha” da base, com contato direto com a água) do aço 1045, experimento A. Essa amostra corresponde a área que teve a maior taxa de resfriamento.

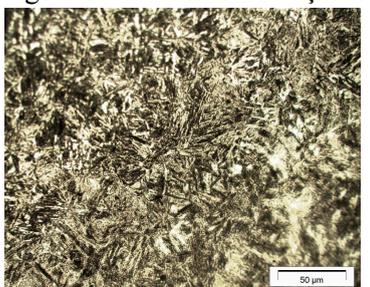
Figura 4 - Amostra 1 do aço 1045 experimento A.



Fonte: Própria autoria

Na figura 5, é possível observar a micrografia da amostra 1 do aço 1070 no experimento A, denominado como padrão. Essa amostra teve a taxa de resfriamento mais rápida.

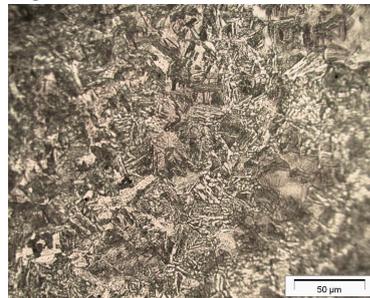
Figura 5 - Amostra 1 do aço 1070 do experimento A.



Fonte: Própria autoria

A figura 6 representa a micrografia da amostra 8 do aço 1070 experimento A. Essa amostra teve menor taxa de resfriamento.

Figura 6 - Amostra 8 do aço 1070 do experimento A.



Fonte: Própria autoria

Com as micrografias, é possível observar que na base do corpo de prova que teve um resfriamento mais rápido ocorreu a formação da microestrutura martensítica e no topo do corpo de prova que teve um resfriamento mais lento, em contato do ar, foi possível observar a microestrutura perlítica e ferrítica, no aço 1045. No entanto, no aço 1070 ocorreu a estrutura martensítica em todas as amostras. Logo o aço 1070 apresentou uma maior temperabilidade, facilidade em gerar martensita. A tabela 1 exemplifica a diferença de valores das durezas medidas para os diferentes aços nos experimentos. As posições foram medidas de acordo com a base do corpo de prova. Sendo assim, a posição 1,5 mm é relacionada a área mais próxima do jato d’água.

Tabela 1 - Dureza em HRC dos aços 1045 e 1070.

Posição (mm)	Dureza Aço 1045 (HRC)			Dureza Aço 1070 (HRC)		
	A	B	C	A	B	C
1,5	48	48	50	55	53	57
3,0	48	47	47	54	50	55
4,5	39	45	40	50	49	53
6,0	34	40	39	49	47	50
7,5	29	35	32	48	44	49
9,0	25	30	32	45	40	48
10,5	23	29	30	40	38	45
12,0	23	28	27	38	37	40

Fonte: Própria autoria

O aço 1070 apresentou maiores valores de dureza por ter

maior temperabilidade devido ao seu alto teor de concentração de carbono em relação ao aço 1045. A tabela 2 mostra os valores de microdureza das amostras cortadas transversalmente.

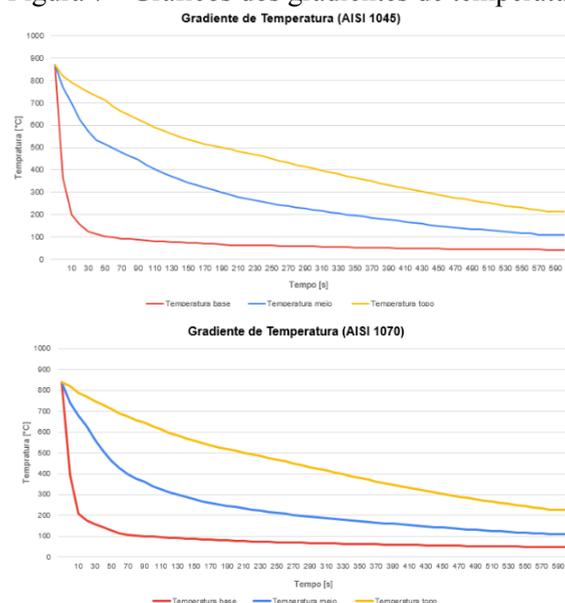
Tabela 2 - Microdureza HV do aço 1045 e 1070

Amostra	Aço 1045 (HV)			Aço 1070 (HV)		
1	544,2	579,6	602,3	654,9	669,0	678,9
2	498,7	543	551,8	598,8	595,0	607,6
3	411,6	420	375,3	562,2	524,9	551,3
4	319,8	325,4	301,7	502,5	505,0	500,2
5	289,6	275,8	283,2	400,1	420,7	411,5
6	273,8	268,3	266,2	393,7	402,6	382,0
7	258,4	260,8	254,0	385,0	386,9	363,4
8	255,6	254,9	249,2	371,1	277,2	357,8

Fonte: Própria autoria

A figura 7 mostra os gráficos da variação de temperatura do corpo de prova de aço 1045 e do aço 1070 nos experimentos A e B. A linha vermelha representa o termopar da base, a em azul corresponde ao meio e a amarela corresponde ao topo.

Figura 7 - Gráficos dos gradientes de temperatura.



Fonte: Própria autoria

Conclusões

Com as micrografias, foi possível observar a presença de martensita em todas as amostras “1” relacionadas à base do corpo de prova. No entanto, no aço 1045, as amostras que correspondem a distâncias mais longe do contato com a água apresentaram microconstituintes perlíticos e ferríticos, ao contrário do aço 1070 que só teve estrutura martensita. Isso ocorreu pelas diferentes taxas de resfriamentos observadas pelos gráficos de temperatura e a maior temperabilidade do aço 1070 gerada pelo seu maior teor de carbono. O aço 1070 apresentou maiores valores de dureza e microdureza. Sendo assim, concluímos que o aço 1070 tem maior temperabilidade devido a maior facilidade de formar martensita e aos maiores valores de dureza e microdureza em relação ao aço 1045.

Agradecimentos

Acima de tudo eu agradeço a Deus por me proporcionar ver um pouco de sua magnitude através do entendimento de como funciona suas leis físicas e químicas que regem o universo e todos os materiais.

Agradeço a Profa. Dra. Mirian De Lourdes Noronha Motta Melo pela orientação e suporte ao longo desta pesquisa. Sou grata à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) por toda infraestrutura que ela me fornece para realizar os meus estudos da graduação. Também agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela oportunidade de conduzir este estudo a partir da bolsa de Iniciação Científica (Pibic).

Sou grata a minha família, ao meu namorado e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Referências

- CALLISTER, William D. Ciência e engenharia de materiais. 2016.
- GONÇALVES, T. S. et al. A determinação da temperabilidade dos aços pelo método Jominy. **Cadernos UniFOA**, v. 3, n. 1 esp, p. 8-8, 2008
- PINEDO, Carlos Eduardo. **Tratamentos térmicos e superficiais dos aços**. Editora Blucher, 2021.