

ESTUDO DE EFICIÊNCIA DE DIFERENTES MATERIAIS TRATADOS TÉRMICAMENTE PARA MARTELOS DE MOAGEM DE CARVÃO

Vitor Modolon Fileti¹

Fabio Peruch²

Resumo: Os tratamentos térmicos são muito utilizados nas indústrias, principalmente onde o material está sujeito a desgaste e precisa aumentar sua dureza para aumentar a vida útil e diminuir gastos por parada e manutenção. O presente estudo tem como objetivo analisar quatro materiais diferentes, tratados termicamente com tempera e revenimento. Os materiais definidos e analisados foram o SAE 1045, SAE 1060, SAE 1070 e SAE 5160. Foram realizados ensaios de micrografia para analisar as diferenças na estrutura do material antes e depois do tratamento térmico. O ensaio de dureza foi realizado seguindo a norma ASTM E18-94. Por fim foi realizado um ensaio de desgaste em abrasometro ou roda de borracha seguindo a norma ASTM G 65-00, para verificar a perda de cada material e definir qual a melhor escolha para o martelo de impacto. Depois dos ensaios executados ficou constatado que o material que mais se adequa ao martelo de moinho é o aço SAE 1070, que teve 62% mais eficácia no ensaio de desgaste abrasivo.

Palavras-Chave: Tratamento térmico; Martelos de impacto; Desgaste; Minérios; Roda de borracha.

1 INTRODUÇÃO

A grande parte de toda a energia consumida no Brasil é produzida a partir de usinas hidrelétricas, que utiliza a energia potencial dos rios e depende muito das condições climáticas.

As usinas termelétricas funcionam em qualquer estação do ano e condição climática, sendo assim, uma garantia de abastecimento da demanda brasileira. Recentes instalações de parques eólicos e solares, podem acabar substituindo as termelétricas, mesmo ainda dependendo de condições climáticas (sol e vento) para o seu funcionamento.

O carvão mineral ocupa o quarto lugar, 4,2%, da oferta de energia. (GRZECA, 2018).

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. Ano 2021-2. E-mail: vitor.filete@gmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: fabio.peruch@satc.edu.br

A etapa mais cara de beneficiamento do carvão é a moagem, tanto de energia, quanto em custos por desgaste de máquina. O moinho de martelos de impacto é um equipamento de moagem muito utilizado nas plantas energéticas, sendo essencialmente simples, e dividido entre rotor e martelos articulados. Os martelos recebem o mineral, que sequencialmente sofre muitos impactos com o rotor girando em alta rotação, forçando o objeto a passar pelos furos de uma peneira.

A ideia desse estudo se originou a partir do pequeno moinho de martelos da SATC, localizado no laboratório de análise do carvão (LAEC-LABSATC), onde é analisado o carvão consumido pelo Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda (CTJL). Entretanto, o estudo visa analisar materiais para qualquer moinho de martelos de minerais, não especificamente o da instituição.

Os martelos do moinho de martelos são geralmente confeccionados com aços carbono, sendo o mais utilizado o SAE 1045, que são sujeitos a tratamento térmico de tempera e revenimento. O tratamento térmico é feito para aumentar a vida útil dos martelos, porém, mesmo com a técnica, continuam apresentando desgaste.

Como o carvão é um mineral muito abrasivo, a substituição dos martelos tem que ser feita em pouco tempo de uso, parando assim a produção para essa manutenção. No caso do moinho da instituição, onde são moídos mensalmente 2000 kg de carvão, os martelos precisam ser substituídos três vezes ao ano. Em uma grande indústria, onde a produção é muito maior, as paradas e substituições devem ser frequentes.

O presente trabalho deseja realizar um estudo comparativo entre quatro materiais diferentes, todos tratados termicamente com tempera e revenimento, sendo eles três aços carbono, SAE 1045, SAE 1060, SAE 1070 e o SAE 5160, que é um aço cromo de baixa liga, conhecido também como aço mola, por sua vasta aplicação em feixes de mola. Serão avaliados em laboratório, a microestrutura dos materiais, a dureza superficial e a resistência ao desgaste.

O objetivo deste trabalho é encontrar um material que seja resistente ao desgaste abrasivo e aumente a vida útil dos martelos de moinho e maior disponibilidade da máquina. Tendo em vista que Criciúma fica na região carbonífera de Santa Catarina, o estudo é de grande valia tanto para as indústrias, como para futuras teses, ensaios e projetos futuros de equipamentos do mesmo ramo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARVÃO

O carvão é o combustível fóssil mais utilizado na produção de energia elétrica no mundo. Segundo o IEA (2018), 38% da energia produzida no mundo é proveniente do carvão mineral. No Brasil, a maior parte do carvão se localiza na Bacia do Paraná, que abrange os estados do sul do país.

Cerca de 32 bilhões de toneladas de carvão encontram-se distribuídos da seguinte maneira: 89,27% no Rio Grande do Sul, 10,38% em Santa Catarina e menos de 1% no Paraná e São Paulo (ANEEL, 2008).

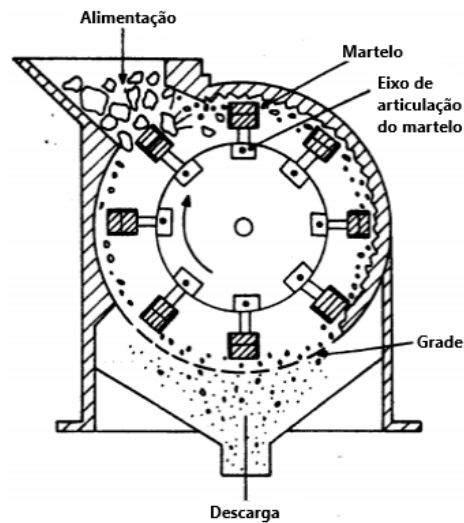
Segundo EPE (2017), o carvão passa por etapas de beneficiamento até sua queima. As etapas são: mineração, britagem, armazenamento, moagem e por fim é levado até a caldeira. A moagem, que finaliza o ciclo de fragmentação do minério, é feita por moinhos de impacto que tritura o carvão até adquirir a granulometria desejada.

2.2 MOINHO DE MARTELO

O processo de moagem de uma indústria deve ser rigorosamente analisado nas etapas de dimensionamento e escolha do equipamento, pois é nele que acontece a maior parte do custo do beneficiamento. A grande maioria de moinhos utilizados nas instalações são os moinhos de barras, bolas, martelos, vibratório e discos (Carvalho, 2012).

Segundo Figueira (2004), o moinho de martelos se caracteriza de um eixo com vários martelos presos de forma articulada que giram em alta rotação. A alimentação do material acontece pela parte superior da máquina, como mostra a Fig. 1, e então as partículas sofrem o impacto dos martelos. Quando o minério se fragmenta, ele é forçado a passar pela peneira com a granulometria desejada na descarga do equipamento.

Figura 1 – Detalhamento moinho de martelos



Fonte: Figueira (2004)

2.3 DESGASTE

Segundo Belém *et al.* (2020), o desgaste é a principal causa de falhas e degradação de componentes e equipamentos industriais. É um dano progressivo e geralmente envolve perda de material. Os desgastes mais comuns acontecem por fricção, deslizamento, impacto, erosão e abrasão.

Segundo Leite e Marques (2009), o desgaste mais frequente em qualquer segmento industrial é o abrasivo, sendo a causa de 50% dos problemas envolvendo desgaste. Kallel *et al.* (2017) afirma que o custo do desgaste por abrasão de um país industrializado pode chegar a 4% do seu produto interno bruto.

2.3.1 Desgaste abrasivo

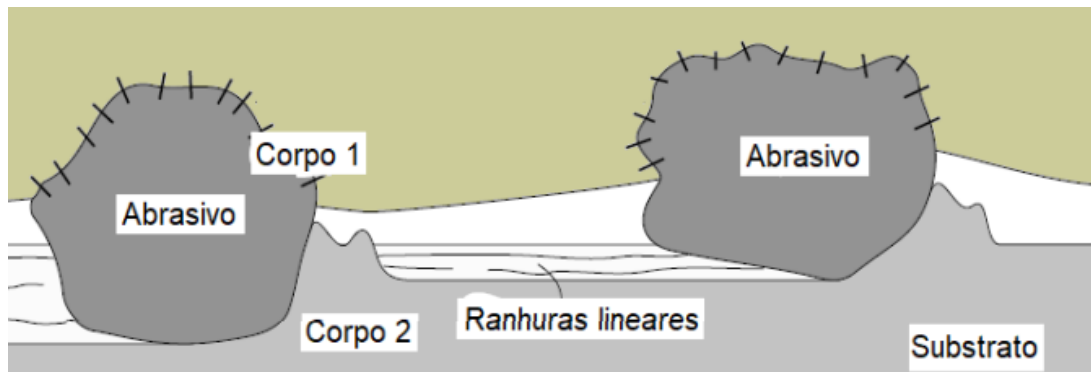
O desgaste abrasivo pode acontecer de dois modos, sendo que em ambos ocorre abrasão de um material macio por um mais duro. A “abrasão de dois corpos” acontece quando um material de maior dureza desliza sobre uma superfície mais macia. Já a abrasão de três corpos acontece por partículas abrasivas livres e de maior dureza que deslizam entre duas superfícies (LACERDA, 2020).

Segundo Silva Neto (2021), a partícula de desgaste pode ser resultado do processo, fragmento de desgaste endurecido a frio ou uma partícula surgida fora do

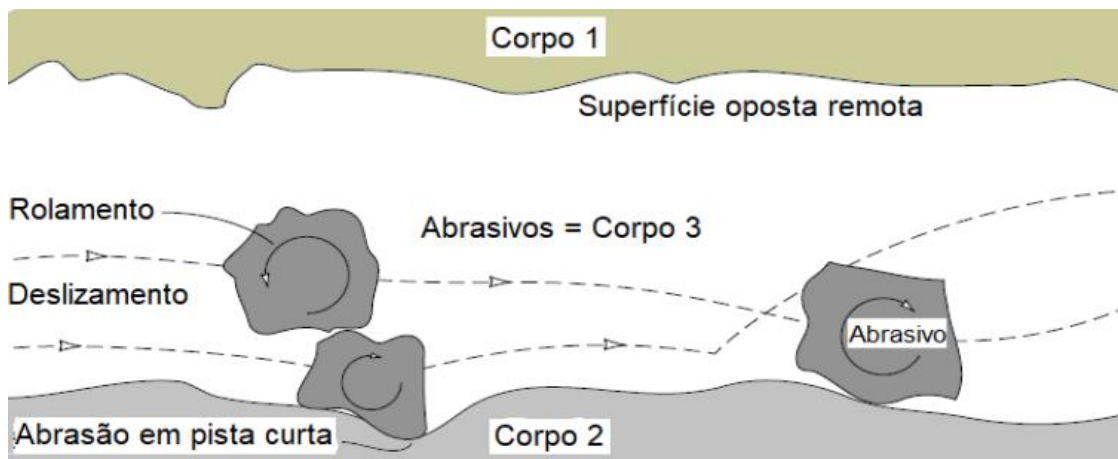
tribosistema. A representação de como funcionam os dois sistemas de desgaste abrasivo são representados na Fig. 2.

Figura 2 – a) desgaste abrasivo de dois corpos; b) desgaste Abrasivo de três corpos

a)



b)



Fonte: Adaptado Silva Neto (2021)

2.4 AÇOS

O aço é um produto siderúrgico obtido através da mistura de ferro e carbono (aço-carbono), podendo a concentração do mesmo variar entre 0,008% e 2,11%, ou ainda, ser misturados com outros elementos secundários (cromo, níquel, molibdênio, vanádio, tungstênio) a fim de adquirir propriedades necessárias à aplicação, chamados de aços liga. (VASCONCELOS, 2018)

Além do carbono, alguns elementos residuais do processo de fabricação podem ser encontrados na liga, como o manganês, enxofre, fósforo, silício, níquel entre outros. O aço-carbono pode ser dividido pelo teor de carbono em três categorias:

baixo (menos de 0,3%), médio (entre 0,3% e 0,7%) e alto (mais de 0,7%) (SCOPEL, 2019).

O aço SAE 5160 é um aço de baixa liga que possui em média 0,6% de teor de carbono, entre outros elementos como manganês (Mn), cromo (Cr), silício (Si) que proporciona uma maior temperabilidade ao material. Conhecido como aço mola, é largamente utilizado na fabricação de molas devido ao bom custo benefício e bons resultados no tratamento térmico. Os feixes de mola produzidos com SAE 5160 são temperados e revenidos (JUVENCIO, 2020).

2.5 TRATAMENTO TÉRMICO DOS AÇOS

Segundo Buzato *et al.* (2021), tratamentos térmicos são operações de aquecimento e resfriamento em ambientes controlados de temperatura, tempo e velocidade de esfriamento, que pretendem afetar características dos aços. Os principais tipos de tratamento são, recozimento, normalização, tempera e revenimento.

Os principais objetivos no tratamento térmico são melhorar a resistência ao desgaste, aumento da ductilidade, aumento ou diminuição da dureza e melhora na resistência mecânica do material (SCOPEL, 2019).

Segundo Lourenço (2018), no tratamento de tempera o material é aquecido até a temperatura de austenitização e depois resfriado rapidamente, em água, óleo ou ar, e com isso o material se torna martensítico, o que aumenta sua dureza. Segundo Buzato *et al.* (2021), o objetivo da tempera é a formação de martensita, que é uma solução sólida supersaturada de carbono. Depois da tempera o material deve passar pelo tratamento de revenimento, para aliviar as tensões internas criadas no processo de tempera, aumentando assim sua ductilidade, trazendo um balanço entre dureza e tenacidade.

Segundo Scopel (2019), o revenido consiste em elevar a temperatura abaixo da austenitização e deixar alguns minutos até a mesma equalizar de toda a peça e obter as propriedades necessárias no material.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesse capítulo serão detalhadas as etapas dos procedimentos necessários a esse estudo.

3.1 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

Para a definição dos insumos para a produção do martelo, foram pesquisados materiais com médio e alto teor de carbono, e um aço de baixa liga com boa resistência ao desgaste abrasivo e temperabilidade. Foram escolhidos os seguintes materiais: SAE 1045, SAE 1060, SAE 1070 e SAE 5160.

3.2 ANÁLISE QUÍMICA

Para confirmação dos materiais utilizados nesse trabalho, foram feitas análises químicas no espectrômetro das dependências do laboratório da Fundação Usipe. Cada material teve um corpo de prova analisado. O ensaio foi realizado em um espectrômetro de emissão ótica *Metal Lab* modelo 75-80J, que emite uma descarga elétrica de alta intensidade em uma atmosfera inerte por gás argônio.

A amostra de material foi posicionada na máquina na região da descarga elétrica e fixada com o bico de contato. Em seguida foi selecionada a faixa de teste específica para cada tipo de material e iniciada a queima. Entre as análises de cada amostra, era necessária a limpeza do eletrodo de queima para que não houvesse contaminação. Os resultados encontrados foram comparados com as normas de referência SAE de cada material.

3.3 CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA

Para analisar a mudança de fase dos grãos após tratamento térmico nas peças, foi feito o procedimento de análise metalográfica. A amostra foi preparada de acordo com a norma NBR 13284, os materiais foram cortados e então lixados em várias lixas d'água de diferentes granulometrias, começando da maior para a menor. Depois do lixamento concluído, foi feito o polimento da peça com alumina e em pano

rotativo. Quando a peça ficou com aspecto espelhado foi atacada com o composto ácido nítrico (3%), seguindo a Norma NBR 8108.

Depois da preparação da peça, ela foi alocada no microscópio eletrônico *Olympus BX51Me* e as imagens foram feitas a partir do *software AnalySIS GetIT*. Foram coletadas imagens com ataque com ampliações de 50x, 100x, 200x, 500x e 1000x, e sem ataque de 100x, seguindo a Norma NBR 15454. Todos os procedimentos dessa etapa foram realizados no LACAMI – Laboratório de Caracterização Micro estrutural da Universidade SATC.

3.4 ENSAIO DE DUREZA

O ensaio de dureza foi feito no LACAMI da universidade SATC. Foi utilizado o durômetro Mitutoyo HR-400, e medido na escala *Rockwell C* (HRc). Esse durômetro utiliza um diamante de 120° para as endentações, aplicando-se uma carga de 150N. A escala tem uma faixa de utilização que fica entre 20 e 70 HRc. Todas as medições seguiram as especificações da norma ASTM E18-94.

3.5 TRATAMENTO TÉRMICO

Para o tratamento térmico foi necessário determinar as temperaturas de austenitização do material. Para isso, foram utilizadas as equações A_{c1} (Eq.1) e A_{c3} (Eq. 2) que levam em consideração a composição química de cada material. Nenhuma transformação acontece abaixo da temperatura Eq. 1, e recomenda-se aquecimento do material acima da temperatura de Eq. 2 para total austenitização.

$$A_{c1} = 723 - 20,7(\%Mn) - 16,9(\%Ni) + 29,1(\%Si) - 16,9(\%Cr) \pm 11,5^{\circ}C \quad (1)$$

$$A_{c3} = 910 - 203\sqrt{\%C} - 15,2(\%Ni) + 44,7(\%Si) + 104(\%V) + 31,5(\%Mo) \pm 16,7^{\circ}C(2)$$

Tabela 1: Faixa de temperatura dos aços, Eq. 1 (Ac1) e Eq. 2 (Ac3).

Material	Temperatura Ac1 (°C)	Temperatura Ac3 (°C)
SAE 1045	714,4 ± 11,5	776,2 ± 16,7
SAE 1060	709,8 ± 11,5	759,6 ± 16,7
SAE 1070	715,3 ± 11,5	753,7 ± 16,7
SAE 5160	710,1 ± 11,5	765,0 ± 16,7

Fonte: Autor (2021).

O aquecimento para austenitização de aços hipoeutetóides deve ser de 50°C acima da temperatura de recristalização total Eq. 2. Sem essa adição na temperatura, a ferrita não se transforma em austenita, o que diminui a dureza após a tempera, pois a ferrita tem menor dureza (KRELLING, 2018).

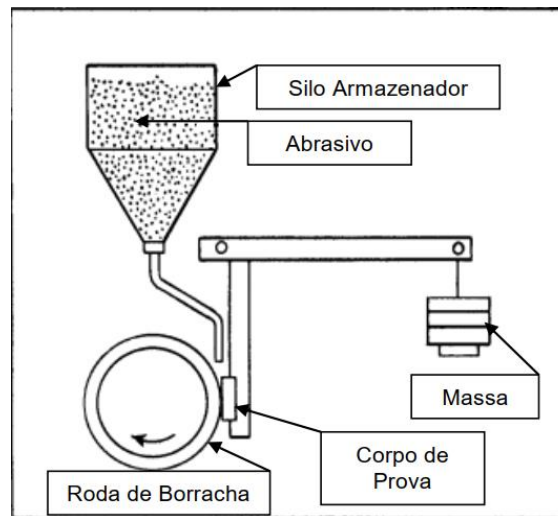
Segundo Gerdau (2021), a temperatura de tempera para o aço SAE 1045 fica entre 840°C e 860°C, já os aços SAE 1060 e SAE 1070, a temperatura pode variar entre 845°C a 885°C. Seguindo as temperaturas encontradas na Tab.1 e com auxílio das referências citadas acima, definiu-se a temperatura de 845°C para a tempera de todos os aços carbono, que fica na média das temperaturas indicadas em catálogos. O tempo de forno mufla foi de 45 minutos e depois 45 minutos em temperatura de encharque. Os corpos de prova foram então retirados e resfriados em óleo.

A temperatura de tempera para o aço SAE 5160 ficou definida em 865°C e o tempo de forno em 45 minutos. Depois de retirado do forno, as amostras foram resfriadas em salmoura (PERUCH, 2009). O Revenimento de todas as amostras teve temperatura de 300°C e duração de 1 hora.

3.6 ENSAIO DESGASTE RODA DE BORRACHA

O ensaio de desgaste abrasivo em laboratório é importante pois simula a condição abrasiva do martelo no moinho de carvão. Para este ensaio foram usados um corpo de prova de cada material. O procedimento segue os padrões da norma ASTM G 65-00, onde a mesma indica que deve ser usado um abrasometro tipo roda de borracha, que usa como partícula abrasiva a areia. Um fluxo de areia fica em constante atrito com o corpo de prova que fica entre o fluxo e uma roda de borracha, como mostra a Fig. 3.

Figura 3 – Roda de Borracha



Fonte: Standart ASTM G 65-00.

Os aços temperados se encaixam no procedimento B da norma ASTM G 65-00, onde o braço terá força atuante de 130N e a areia passa em fluxo contínuo entre o corpo de prova e a roda de borracha, que trabalha numa rotação de 2000 rpm. Os ensaios tiveram duração de 6 min para cada corpo de prova. A areia foi colocada no forno mufla por 30 min para que toda umidade fosse retirada e a granulometria foi reduzida a 0,35mm com a utilização de peneiras apropriadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a conclusão dos ensaios do procedimento experimental, foi realizada a análise dos resultados e compilados nesse capítulo, para, enfim, analisar qual o melhor material a ser aplicado nos martelos de impacto do moinho.

4.1 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Após análise química dos materiais presentes nesse estudo, os dados foram comparados com as normas correspondentes de cada material para a validação dos mesmos, como mostra a Tab. 2.

Tabela 2: Composição química aços carbono SAE 1045, SAE 1060, SAE 1070 e SAE 5160 com suas respectivas normas.

Material	%C	%Si	%Mn	%S (Máx.)	%P (Máx.)	%Fe	%Cr
SAE 1045	0,43-0,48	0,15-0,3	0,6-0,9	0,05	0,04	-	-
C.P. SAE 1045	0,475	0,139	0,587	0,008	0,02	98,686	-
SAE 1060	0,55-0,65	0,15-0,35	0,6-0,9	0,05	0,03	-	-
C.P. SAE 1060	0,546	0,138	0,586	0,022	0,010	98,614	-
SAE 1070	0,65-0,75	0,15-0,35	0,6-0,9	0,05	0,03	-	-
C.P. SAE 1070	0,655	0,180	0,608	0,008	0,015	98,457	-
SAE 5160	0,625	0,283	0,850	0,0140	0,0224	-	0,682
C.P. SAE 5160	0,571	0,262	0,869	0,009	0,020	-	0,726

Fonte: Autor (2021)

Com a comparação da análise química dos materiais utilizados, é possível observar que os mesmos estão dentro da faixa especificada pela norma ASTM E39-84.

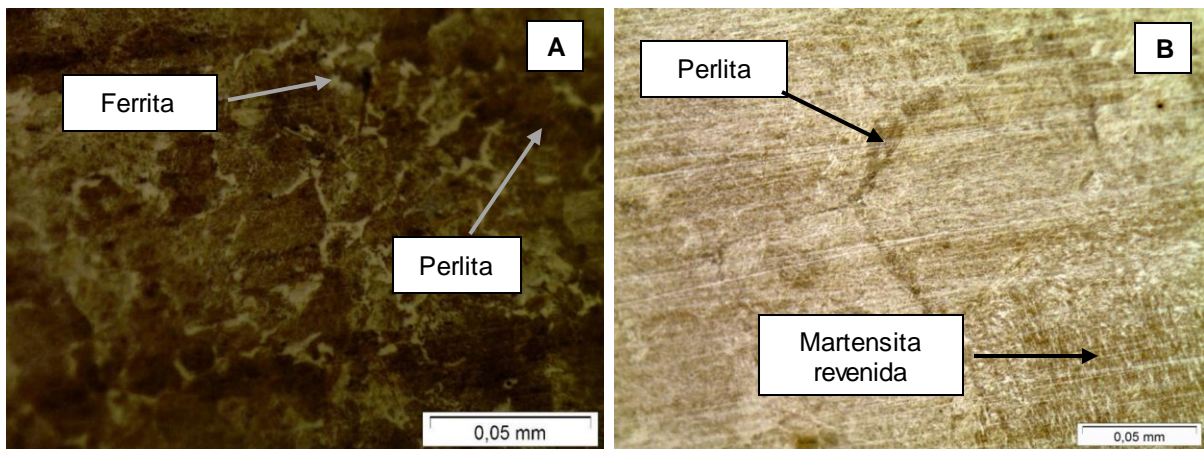
4.2 ANÁLISE METALOGRAFICA

Foram feitas metalografias antes e depois do tratamento térmico para analisar as mudanças de estrutura em cada material.

4.2.1 Aço SAE 1045

Analisando a microestrutura do aço SAE 1045 sem tratamento térmico é possível ver perlita e ferrita em proporções de praticamente 50%, conforme Fig. 4-A. O objetivo final da tempera é a formação de martensita para assim aumentar a sua dureza.

Figura 4 – Análise microestrutura corpo de prova SAE 1045 sem tratamento térmico (A) e com tratamento térmico (B), ampliação 500x.



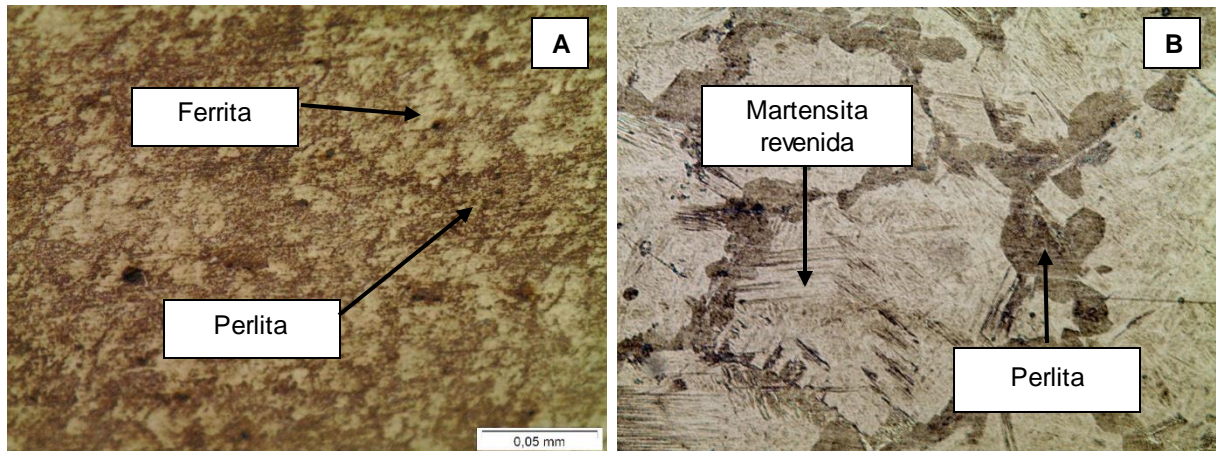
Fonte: Autor (2021)

Na Fig. 4-B, pode-se observar que, após tratamento térmico de tempera e revenimento o aço SAE 1045 apresenta maior estrutura martensítica em sua microestrutura. Segundo Juvencio (2020), a martensita é o resultado de uma transformação adifusional da austenita, essa transformação acontece quando a taxa de resfriamento é rápido e previne a difusão de carbono. A martensita agrega maior dureza e maior fragilidade ao aço, como se pode ver na análise de dureza de cada estrutura após tratamento.

4.2.2 Aço SAE 1060

No aço 1060, que possui alto teor de carbono, foi possível observar grande concentração de perlita em sua microestrutura sem tratamento, como pode-se perceber na Fig.5-A.

Figura 5 - Análise microestrutura corpo de prova SAE 1060 sem tratamento térmico (A) e com tratamento térmico (B), ampliação 500x.



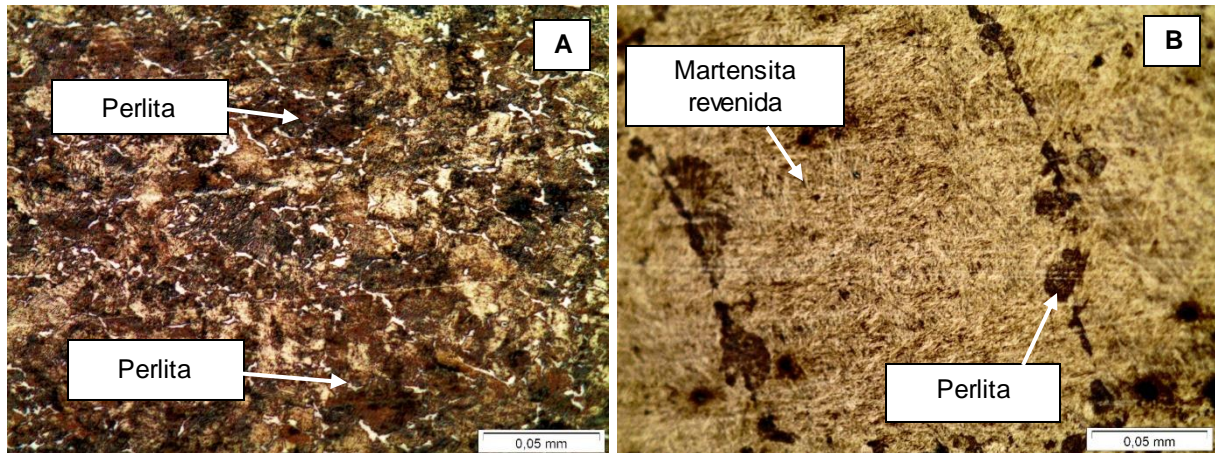
Fonte: Autor (2021).

Depois do tratamento térmico de tempera e revenimento, observa-se na Fig. 5-B o surgimento de martensita revenida em grande parte do material, com o diferencial de formação de perlita nos contornos dos grãos martensíticos. O contorno de perlita fornece ao material um ganho na tenacidade em relação ao SAE 1045, ou seja, pode diminuir a fragilidade dos martelos do moinho durante o processo de moagem do carvão.

4.2.3 Aço SAE 1070

O aço 1070 é o aço em estudo que se encontra mais próximo do ponto eutetóide. Por isso, pode-se observar na Fig. 6-A, que quase todo o material antes do tratamento térmico é composto de perlita e na Fig. 6-B, depois de tratado, fica basicamente composto de martensita.

Figura 6 - Análise microestrutura corpo de prova SAE 1070 sem tratamento térmico (A) e com tratamento térmico (B), ampliação 500x.



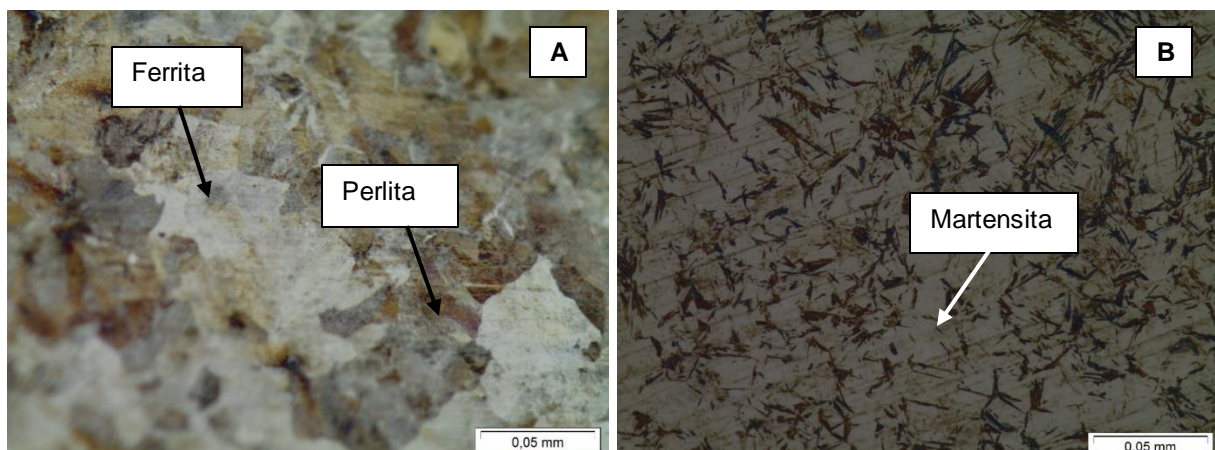
Fonte: Autor (2021).

O aço SAE 1070 foi o aço carbono que apresentou maior predominância de martensita na sua estrutura, ao final do tratamento de tempera e revenimento. Ainda assim, como o aço 1060, possui presença de perlita, diminuindo sua fragilidade.

4.2.4 Aço SAE 5160

O aço liga SAE 5160 foi analisado sem tratamento térmico e temperado com resfriamento em salmoura. Na Fig. 7-A é possível ver a sua estrutura sem tratamento térmico, basicamente ferrita, mas ainda com presença de perlita.

Figura 7 - Análise microestrutura corpo de prova SAE 5160 sem tratamento térmico (A) e com tratamento térmico (B), ampliação 500x.



Fonte: Autor (2021).

Na Fig. 7-B, observa-se a microscopia da amostra temperada com resfriamento em salmoura, com uma grande formação martensítica, que causou grande aumento em sua dureza. É possível ver na imagem a estrutura martensítica em forma de agulha.

4.3 ENSAIO DE DUREZA

Para o ensaio de dureza, foram feitas 3 endentações de dureza Rockwell C em cada material, antes e depois do tratamento térmico. Em todos os materiais foi feita uma média aritmética entre as medições e o cálculo do desvio padrão de cada uma, como mostra a Tab. 3.

Tabela 3: Dureza superficial de cada amostra na escala Rockwell C (HRc).

Material	Dureza Pré Tratamento (HRc)	Desvio Padrão (HRc)	Dureza Pós Tratamento (HRc)	Desvio Padrão (HRc)
SAE 1045	18	0,98	46,5	0,95
SAE 1060	18	1,08	46,5	1,77
SAE 1070	22	1,29	47,5	1,58
SAE 5160 (Salmoura)	25,4	1,15	62,03	1,60

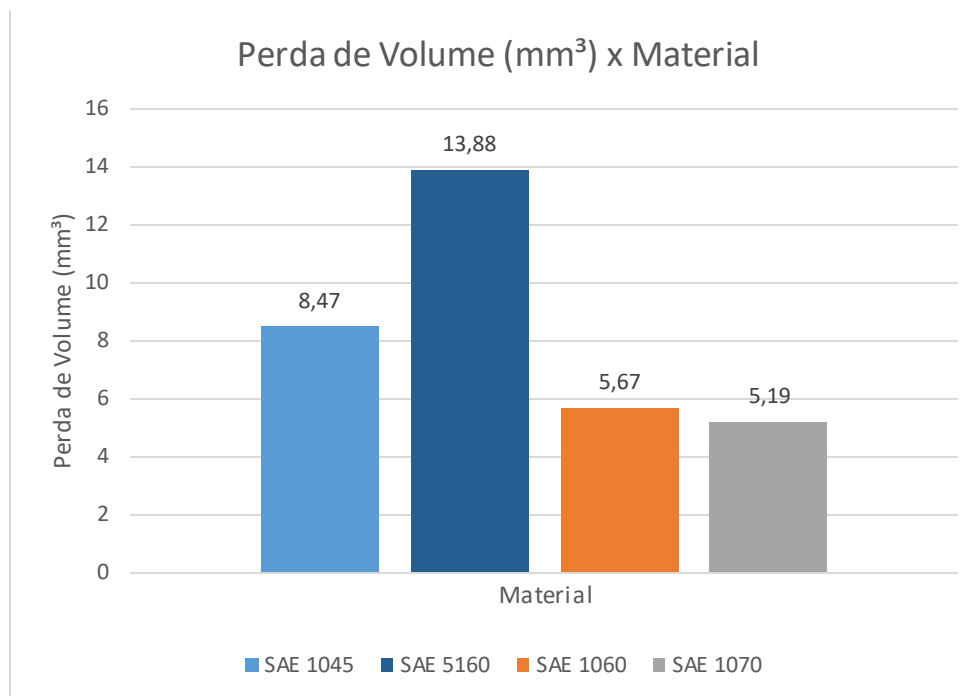
Fonte: Autor (2021).

Pode-se observar que, em todas as amostras, houve um grande aumento em sua dureza superficial. A maior dureza se apresentou no aço SAE 5160, devido sua boa temperabilidade. Já os aços SAE 1045, SAE 1060 e SAE 1070 não apresentaram grande diferença entre si nas durezas pós tratamento.

4.4 ENSAIO DE DESGASTE EM ABRASOMETRO

Após tratamento térmico, os corpos de prova foram sujeitos ao ensaio desgaste na máquina roda de borracha por 6 min, de acordo com a norma ASTM 65-00. Com os testes realizados, a Fig. 8, apresenta os resultados dos respectivos valores da perda de volume de cada corpo de prova.

Figura 8 – Gráfico desgaste x material.



Fonte: Autor (2021).

Em comparação ao aço SAE 5160, o aço SAE 1070 apresentou 62% mais resistência ao abrasivo, em relação ao aço SAE 1045, que apresentou 38%, e ao aço SAE 1060, que apresentou apenas 9%. Os aços carbono tiveram uma vantagem sobre o aço SAE 5160, que perdeu mais material, mesmo com dureza elevada. O material que teve melhor desempenho foi o SAE 1070.

5 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento desse trabalho foi possível chegar as seguintes conclusões:

- Após tratamento térmico, os aços SAE 1045, SAE 1060, SAE 1070 e SAE 5160 apresentaram grande transformação em sua estrutura em martensita, o que agregou grande dureza ao material;
- O aço que teve melhor desempenho em todos os procedimentos, com ótima temperabilidade, dureza satisfatória e bom resultado ao desgaste abrasivo, foi o aço SAE 1070. É o aço em estudo que mais se adequa a produção de martelos de moinhos;

- Em comparação ao aço SAE 1045, altamente utilizado em martelos de moinhos de carvão, a utilização do aço SAE 1070 se mostra quase 40% mais vantajoso;
- O aço SAE 5160, largamente utilizado na fabricação de molas, apesar de apresentar boa formação martensítica, e ser o aço com maior dureza entre os estudados, não apresentou bons resultados em desgaste abrasivo. Por isso, não é indicado a produção dos martelos;

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se sugerir utilização de materiais de alta liga, diferentes métodos de resfriamento no tratamento térmico e ensaios de desgaste em campo.

REFERÊNCIAS

ANEEL, 2008. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. **Agencia Nacional de Energia Elétrica**. Brasília. 236 p.

BELÉM, Maria Julia Xavier et al. Avaliação da resistência ao desgaste erosivo e abrasivo de revestimentos WC 12Co aplicados por aspensão térmica HVOF. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 01, p. 1-13, jan. 2020.

BUZATO, Fabricio dos Santos et al. Análise do Comportamento Mecânico de Molas Utilizadas em Implementos AgrícolaS. **Sitefa - Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho, Sertãozinho, v. 3, n. 1, p. 106-114**, 7 mar. 2021. Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho. <http://dx.doi.org/10.33635/sitefa.v3i1.129>.

CARVALHO, Mariana Xavier Sans de. Equipamentos de Fragmentação: Uma Revisão Avaliando Circuitos Alternativos para a Moagem de Finos. 2012. 70 f. **Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2012.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016. **Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro: EPE, 2017.

FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. Cominuição. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de minérios. 4ª Edição**. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq-MCT, 2004. Capítulo 4, páginas 113-194.

GERDAU. **GERDAU**. 2021. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/>. Acesso em: 02 out. 2021.

GRZECA, Mauricio. ANÁLISE DO PROCESSO DE COMINUIÇÃO PARA COMBUSTÃO DO CARVÃO MINERAL DE CANDIOTA. 2018. 82 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Mineral, Universidade Federal do Pampa**,

Caçapava do Sul, 2018.

IEA (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY) (Paris). Coal 2018. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/coal-2018>. Acesso em: 07 set. 2021.

JUVENCIO, Natanael da Silva. Análise da Viabilidade da Dureza de Uma Ferramenta de Corte Fabricada a Partir de um Feixe de Mola. 2020. 10 f. **TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Ufersa - Universidade Federal Rural do Semiárido**, Mossoró, 2020.

KALLEL, Mouna et al. Hammer Premature wear in mineral crushing process. **Tribology Internacional**, Sfax, Tunisia, v. 115, n. 1, p. 493-505, nov. 2017.

KRELLING, Anael. **Tratamentos Térmicos e Termoquímicos**. Joinville: Ifsc, 2018. 85 slides, color. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~anael.krelling/T%C3%A9rmicos%20em%20Mec%C3%A2nica%20Integrado/TTT/2%20-%20Tratamentos%20T%C3%A9rmicos%20e%20Termoqu%C3%ADmicos.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

LACERDA, Winnie Freitas. ANÁLISE DO EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO DO AÇO P410D SOBRE O DESGASTE ABRASIVO. **X Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da Fei**, São Bernardo do Campo, v. 10, n. 006, p. 1-2, dez. 2020.

LEITE, Ricardo Vinícius de Melo; MARQUES, Paulo Villani. Estudo Comparativo de Resistência ao Desgaste Abrasivo do Revestimento de Três Ligas Metálicas Utilizadas na Indústria, Aplicadas por Soldagem com Arames Tubulares. **Soldagem e Inspeção**, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 329-335, out. 2009.

LOURENÇO, Rodrigo Francisco Borges et al. DIFERENÇA DE TEMPERABILIDADE ENTRE AÇO LIGA E AÇO CARBONO ATRAVÉS DO ENSAIO DE JOMINY. **Gts - Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade, S.I.**, v. 1, n. 1, p. 1-10, maio 2018.

PERUCH, Fábio. INFLUENCIA DO CICLO DE RECOZIMENTO PARA ESFEROIDIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO ABNT 5160. 2009. 88 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2009.

SCOPEL, Mateus. ESTUDO DE DESGASTE ABRASIVO DO MATERIAL ASTM SC 4140 APÓS TRATAMENTO TÉRMICO PARA APLICAÇÕES EM ESCAVADEIRA DE MINERAÇÃO. 2019. 28 f. **TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, SATC**, Criciúma, 2019.

SILVA NETO, Osvaldo da. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NÍOBIO EM UM FERRO FUNDIDO BRANCO ALTO CROMO HIPOEUTÉTICO NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE. 2021. 128 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Departamento de Metalúrgica**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

VASCONCELOS, Maria Filomena Leitão. ESTUDO DOS EFEITOS DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS DE LIGA NA MICROESTRUTURA DOS AÇOS CARBONO, AÇOS BAIXA LIGA E AÇOS ALTA LIGA. 2018. 51 f. **Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, esposa e amigos pelo apoio que sempre me deram. Ao professor Fabio Peruch pela orientação, disponibilidade e conhecimentos passados neste trabalho. Agradeço também a universidade SATC por disponibilizar seus equipamentos e laboratórios para realização desse estudo.