



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS - UFGD  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Gabriel Bonatto

**ANÁLISE MICROESTRUTURAL DO AÇO A36 SUBMETIDO A DIFERENTES  
MEIOS DE TÊMPERA**

DOURADOS

2022

GABRIEL BONATTO

**ANÁLISE MICROESTRUTURAL DO AÇO A36 SUBMETIDO A DIFERENTES  
MEIOS DE TÊMPERA**

Trabalho de graduação apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Área de concentração: 3.03.03.06-0

Orientador: Prof. Edilson Nunes Pollnow

DOURADOS

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

---

**ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aluno: **GABRIEL BONATTO**

Título do trabalho e subtítulo (se houver): **ANÁLISE MICROESTRUTURAL DO AÇO A36 SUBMETIDO A DIFERENTES MEIO DE TÊMPERA.**

**BANCA EXAMINADORA**

**1. Presidente (orientador):**

Prof. Dr. EDILSON NUNES POLLNOW, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

**2. Membro:**

Prof. Dr. RAFAEL FERREIRA GREGOLIN, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

**3. Membro:**

Prof. Dr. RODRIGO BORGES SANTOS, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

De acordo com o grau final obtido pelos alunos, nós da banca examinadora, declaramos **APROVADOS** os alunos acima identificados, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados, 11 de novembro de 2022.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** EDILSON NUNES POLLNOW  
Data: 16/11/2022 22:22:31-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Edilson Nunes Pollnow

---

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin

---

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos

## **Análise microestrutural do aço A36 submetido a diferentes meios de têmpera**

Orientador: Edilson Nunes Pollnow  
Aluno: Gabriel Bonatto

<sup>1</sup>Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) - Faculdade de Engenharia (FAEN), Rod. Dourados – Itahum, Km 12, Cidade Universitária, CEP: 79825-070, Dorados, MS  
e-mail: gabriel.bonato@hotmail.com

---

### **RESUMO**

O processo de têmpera é uma das etapas críticas no processo de tratamento térmico dos aços, tendo grande importância na determinação da qualidade do material. Os meios de resfriamentos estão diretamente ligados a qualidade do produto, pois sua estrutura e propriedades variam conforme o meio de resfriamento. Neste trabalho, 3 corpos de prova de aço A36 foram aquecidos a uma temperatura de 900 °C por 30 minutos, atingindo assim sua temperatura de austenitização, e resfriados até temperatura ambiente, porém em meios diferentes. O primeiro foi resfriado em emulsão de polímero (etilenoglicol), o segundo foi resfriado em óleo mineral e o terceiro em água a temperatura ambiente. Quando todas as peças esfriaram e atingiram a temperatura ambiente, realizou-se um corte ao meio das peças, onde foram lixadas e atacadas durante 3 segundos por meio de nital 3%. Após tais processos, as peças foram analisadas em microscópio digital e submetidas há um ensaio de dureza Rockwell, onde tiveram um aumento em duas durezas e uma mudança de microestrutura.

**Palavras-chave:** Tratamento Térmico, Meios, Aço A36, Ensaio de dureza.

---

### **ABSTRACT**

The tempering process is one of the critical steps in the steel production process, having great importance in determining the quality of the material. The cooling means are directly linked to the quality of the product, as its structure and properties vary according to the cooling medium. In this work, 3 A36 steel proof bodies were heated at a temperature of 900 °C for 30 minutes, thus reaching their austenitization temperature, and then up to room temperature, but in different media. The first was cooled in a solution of emulsion polymer (ethylene glycol), the second was cooled in mineral oil and the third in water at room temperature. When all the pieces had cooled down and reached room temperature, a cut was made in the middle of the pieces, where they were sanded and etched with 3% nital. After such processes, the pieces were analyzed under a digital microscope and submitted to a Rockwell hardness test.

Autor Responsável: Gabriel Bonatto    Data de envio: 07/11/2022    Data de aceite: 11/11/2022

## 1. INTRODUÇÃO

A análise das propriedades físicas dos materiais se tornou um dos principais estudos para a engenharia de forma geral. O entendimento aprofundado destas para cada material é de suma importância para todo e qualquer projeto, pois será com base neste que poderemos apontar se atenderá aos requisitos especificados em projeto.

Visando atender a estes requisitos, e como muitas vezes o aço não possui a resistência mecânica exigida no projeto, estes são submetidos a processos laboratoriais de aquecimento e resfriamento com intervalos de tempo, que evidenciam suas características mecânicas, algumas vezes, alterando-as de acordo com a circunstância ou esforço no qual o mesmo será submetido. Tais processos são chamados de tratamentos térmicos [1].

Um exemplo de tratamento térmico comumente empregado é a têmpera, que por meio do aquecimento, manutenção da temperatura por um determinado período, e seguinte resfriamento da peça, é capaz de produzir uma microestrutura martensítica. Essa microestrutura é o resultado da difusão da austenita e por isso, essa temperatura de aquecimento deve ser acima da temperatura de austenitização do material trabalhado [1]. Com a mudança da microestrutura, dado o tratamento térmico, é observado então aumento da dureza do material [2].

Um método mais recente que vem sendo muito discutido é o processo de resfriamento por emulsão em polímeros. Os óleos são os principais meios de resfriamento na têmpera, porém, a preocupação com o meio ambiente é algo que está sendo discutido em todo o mundo, o descarte e os problemas toxicológicos dos óleos são algo preocupante. Uma solução para este problema tem sido o resfriamento por emulsão em polímeros, onde é feito uma mistura de água com polímeros solúveis em água, especialmente aqueles formulados a base de PAG (polialquile glicol), onde além de ser melhor para o meio ambiente, possui um menor custo e facilidade de limpeza [3].

A severidade do tratamento térmico consiste na habilidade do fluido em extrair calor do aço aquecido, sendo assim, quanto maior será a severidade do meio, maior será a distorção da peça. Quando utilizados meios de têmpera como óleo e água, ocorre um fenômeno denominado vaporização da solução, onde surge uma bolha de vapor que impede o fluxo de calor, fazendo com que o coeficiente de transferência de calor seja diferente neste momento, resultando em heterogeneidade na extração de calor.

A opção mais usada para evitar a severidade da água, como meio de têmpera, é o óleo, porém, este nem sempre é apropriado para a aplicação, pois não resultará nos valores de resistência mecânica desejados. O polímero possui uma taxa de extração de calor intermediária entre o óleo e a água, tendo como vantagem a redução de emissão de poluentes provenientes de hidrocarbonetos e o fácil descarte.

Visando obter um incremento nas propriedades mecânicas do aço A36, o presente trabalho visa aplicar diferentes tratamentos térmicos a este aço, com uma mudança do meio de resfriamento. Este trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades mecânicas do aço A36 submetido ao tratamento térmico de têmpera.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA

Para a aplicação do tratamento térmico de têmpera, inicialmente as amostras de uma barra redonda de um aço de baixo teor de carbono do tipo A36 (ver composição química na Tabela 1) foram cortadas por meio de uma serra fita nas seguintes proporções: 22 mm de diâmetro e 37 mm de comprimento.

ELEMENTOS (%)				
C	Cu	Mn	P	S
0,26	0,2	0,75	0,04	0,005

**Tabela 1:** Composição química do aço selecionado, conforme o fabricante.

Para o processo de têmpera, foi escolhida a temperatura de 900°C, conforme diagrama de transformação em resfriamento contínuo e foi utilizado um forno do tipo mufla. As amostras foram colocadas no forno a temperatura ambiente (24°C), até atingirem a temperatura de 900°C, e assim permaneceram por mais 30 minutos, para garantir a completa austenitização.

O processo de resfriamento foi realizado em 3 meios diferentes: O primeiro corpo de prova foi retirado do forno com a ajuda de uma pinça tenaz (figura 1), e imediatamente mergulhado e agitado em um recipiente que continha óleo mineral, meio de maior viscosidade. No segundo corpo de prova realizou-se o mesmo procedimento do primeiro, porém foi mergulhado em um recipiente que continha polímero (etilenoglicol p. a.) diluído em água (50% água e 50% etilenoglicol). O terceiro corpo foi mergulhado em um recipiente que continha água em temperatura ambiente. As amostras permaneceram submersas até que atingisse a temperatura ambiente, sendo controladas através de um termômetro digital. Foram feitas 3 amostras para cada meio de resfriamento.



**Figura 1:** Pinça tenaz e luva de resistência térmica.

## **2.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS**

### **2.2.1 MICROSCOPIA ÓPTICA**

Para avaliação do comportamento microestrutural das amostras utilizou-se a técnica de microscopia óptica. As análises foram realizadas em um microscópio óptico de luz refletida INSIZE (ISM-M1000) com sistema de análise de imagens com aquisição de imagens digital.

Para a análise microscópica, foi necessária a realização de uma preparação metalográfica das amostras. Esta contou com as etapas de corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico das amostras, com uma solução de Nital 3%. As amostras foram cortadas ao meio através de uma máquina de corte metalografico, afim de não aquecerem, fazendo com que não ocorresse a mudança de sua microestrutura. O lixamento e o polimento foram realizados na politriz lixadeira de velocidade variável PVV (TECLAGO), com lixas de granulometria 80, 180, 320, 400, 600 e 1200 mesh e para a etapa de polimento com suspensão de alumina com granulometria de 0,1  $\mu\text{m}$ .



**Figura 2:** Amostras cortadas, lixadas e polidas.

### **2.2.2 Dureza Rockwell**

Para avaliar a dureza das amostras foi realizado o ensaio de dureza em um durômetro Rockwell Hardness Teser, modelo LHR-150 em escala Rockwell B. Foi feito um perfil de dureza com dez identificações em cada amostra, com uma distância de 3mm da borda e intervalo de 1,6 mm entre cada ponto. Aplicando um carga de 10Kgf inicialmente, afim de eliminar qualquer rugosidade e por fim aplicou-se uma carga de 60Kgf. Foram coletadas as médias das durezas e desvio padrão entre elas.

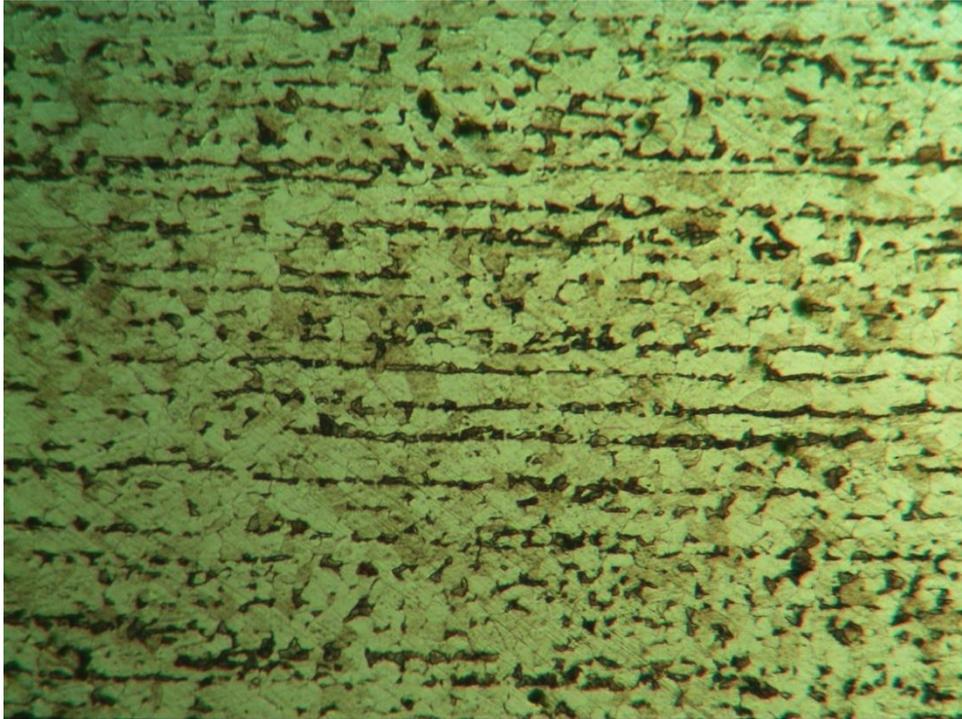
## **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **3.1 MICROGRAFIAS**

Após a análise microscópica dos diferentes meios, diferentes tipos de micrografias com propriedades específicas foram notadas e comparadas uma com as outras.

### 3.1.1 AMOSTRA 0 (SEM TRATAMENTO TÉRMICO)

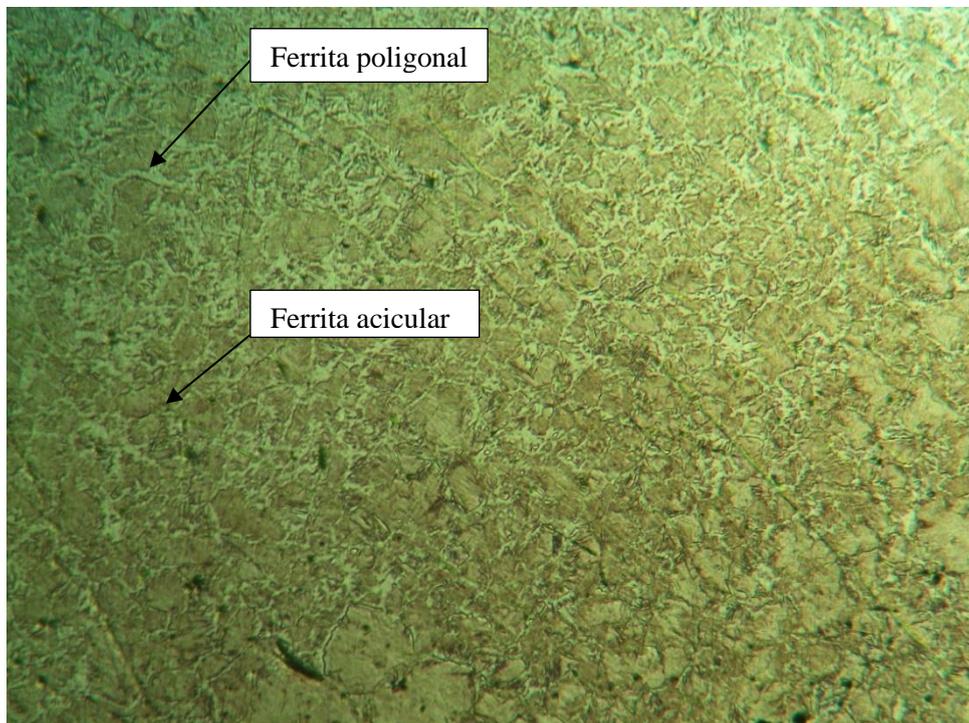
Como pode-se notar na figura 3, a amostra sem tratamento térmico apresenta uma microestrutura composta por ferrita equiaxial ( parte clara da imagem) e perlita (grãos escuros).



**Figura 3:** - Micrografia da amostra sem tratamento térmico com um aumento de 100x em microscópio.

### 3.1.2 AMOSTRA 1 (TÊMPERA EM ÁGUA)

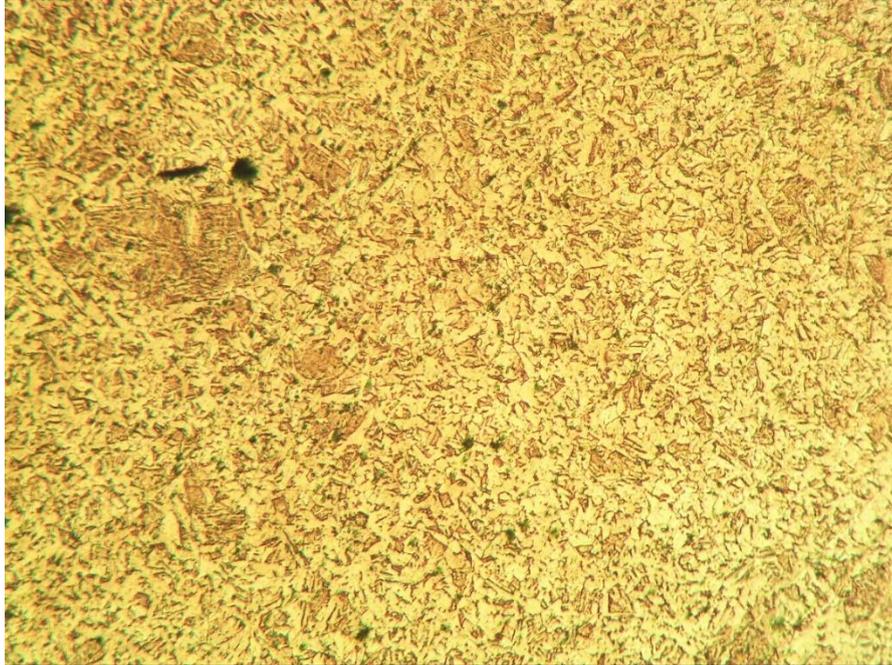
Já na amostra 1, figura 4, onde foi realizada a têmpera e resfriamento brusco em água, o calor trocado entre a peça e o meio foi rápido, verificou-se na micrografia a presença de ferritas aciculares nos contornos de grãos, algumas agulhas mais finas de martensita e algumas ferritas poligonais. A presença destas fases é característica para tratamento de têmpera em água, embora se esperasse uma presença mais marcante da fase martensítica, esta não se formou de forma apreciável em função do baixo teor de carbono do aço.



**Figura 4:** - Micrografia da amostra resfriada em água com um aumento de 100x em microscópio.

### 3.1.3 AMOSTRA 2 (RESFRIAMENTO EM ÓLEO MINERAL)

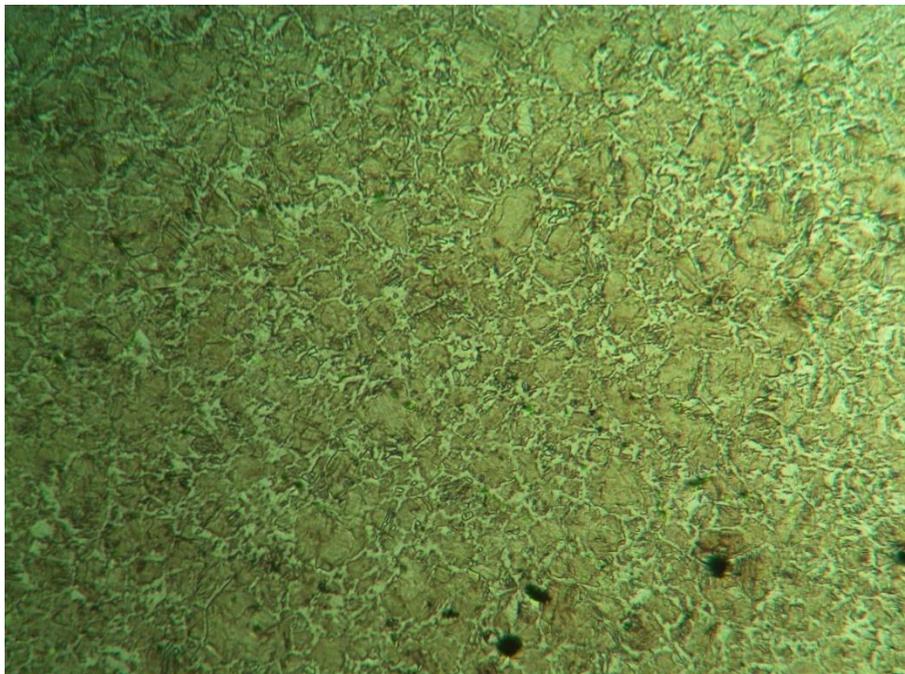
No resfriamento em óleo, observa-se que a troca de calor entre a peça e o meio é mais lento, em comparação a água. Na micrografia da amostra temperada a óleo observam-se algumas alterações na microestrutura, principalmente uma redução de ferritas aciculares, com maior quantidade de ferritas poligonais. Esse comportamento é esperado em função do óleo ser um meio de troca de calor menos agressivo em comparação com a água.



**Figura 5:** - Micrografia da amostra resfriada em óleo mineral com um aumento de 100x em microscópio.

### 3.1.4 AMOSTRA 3 (RESFRIAMENTO EM SOLUÇÃO DE POLÍMERO)

Observa-se que o resfriamento em polímero não é um resfriamento brusco como o da água, porém não é tão lento como o do óleo, ou seja, a troca de calor deste meio está entre os dois meios acima. A sua microestrutura também reflete isso. Verifica-se a presença de algumas ferritas aciculares e poligonais, principalmente no contorno do grão. Na região intergranular verifica-se a presença de ferritas equiaxiais na região onde anteriormente era o grão austenítico.



**Figura 6:** - Micrografia da amostra resfriada em solução de polímero com um aumento de 100x em microscópio.

### 3.2 PERFIL DE DUREZA

Foi realizado um perfil de dureza com 10 indicações em cada amostra, sendo que cada meio de resfriamento possui 3 amostras. Foi calculado a média e desvio padrão entre as 3 amostras. O mesmo se repetiu para cada meio de resfriamento.

a)

RESFRIAMENTO EM ÁGUA											
Amostras	Identações										
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	
<b>1.1</b>	106.5	107.5	108.5	108.5	90	93.5	103.5	103.5	104	104	<b>HB60</b>
<b>1.2</b>	117	111	110	109.5	110	109.5	109.5	110	110.5	114	<b>HB60</b>
<b>1.3</b>	114	111.5	110	110	108.5	109.5	107.5	110	109.5	112.5	<b>HB60</b>
<b>Média</b>	112.5	110	109.5	109.3	102.8	104.1	106.8	107.8	108	110.1	<b>HB60</b>
<b>Desvio padrão</b>	5.40	2.17	0.86	0.76	11.1	9.23	3.05	3.75	3.5	5.39	

Tabela 2: Perfil de dureza de amostras resfriadas em água.

b)

RESFRIAMENTO POR ÓLEO											
Amostras	Identações										
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	
<b>2.1</b>	100	103.5	97	97	89.5	92	92.5	93	96.5	102	<b>HB60</b>
<b>2.2</b>	95	97	97	98	95.5	95.5	96	96.5	99.5	96.5	<b>HB60</b>
<b>2.3</b>	101.5	103	98	98	97	98	100	101	101	100	<b>HB60</b>
<b>Média</b>	98.8	101.1	97.3	97.6	94	95.1	96.1	96.8	99	99.5	<b>HB60</b>
<b>Desvio padrão</b>	3.40	3.61	0.57	0.57	3.96	3.01	3.75	4.01	2.29	2.78	

Tabela 3: Perfil de dureza de amostras resfriadas em óleo.

c)

RESFRIAMENTO POR POLÍMERO											
Amostras	Identações										
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	
<b>3.1</b>	99.5	107.5	108.5	107	99	101	98	105.5	105.5	105	<b>HB60</b>
<b>3.2</b>	103.5	100.5	102.5	100	101	99.5	101	105.5	101	100	<b>HB60</b>
<b>3.3</b>	96	97.5	96	102	102	107.5	100	100.5	102	96	<b>HB60</b>
<b>Média</b>	96.6	101.8	102.3	103	100.6	102.6	99.6	103.8	102.8	100.3	<b>HB60</b>
<b>Desvio padrão</b>	3.75	5.13	6.25	3.60	1.52	4.25	1.52	2.88	2.36	4.50	

Tabela 4: Perfil de dureza de amostras resfriadas em polímero.

Por se tratar de uma peça pequena e com baixa porcentagem de carbono, os valores de durezas não apresentaram grande aumento, porém nota-se que conforme mostrado nas imagens micrográficas, quanto maior a taxa de resfriamento, maior é a dureza da peça, ou seja, as amostras resfriadas em água que apresentaram uma estrutura de ferrita acicular ficaram mais duras, enquanto as resfriadas em óleo onde mantiveram a estrutura de ferrita equiaxial tiveram o menor aumento de dureza. Em média para têmpera em água tivemos um aumento da dureza, em 14,98%, 5,48% em óleo e 7,96% em polímero. A figura 7 mostra a média de dureza para cada meio de resfriamento.

Porém quanto mais brusco é o resfriamento, maior é a chance de trincas e pontos críticos da peça, por isso é aconselhado este meio somente em peças homogêneas, como esferas e quadrados, evitando estruturas com “pontas” onde possuem um ponto crítico de tensão, podendo formar uma trinca. Já o resfriamento mais lento, como do óleo, a peça sofre um alívio de tensões, aumento da ductilidade e boa resistência a fratura. Portanto cada meio possui uma finalidade, e são os requisitos do projeto que determinarão qual meio deverá ser usado.

Gráfico feito por meio das médias de dureza de cada meio de resfriamento:

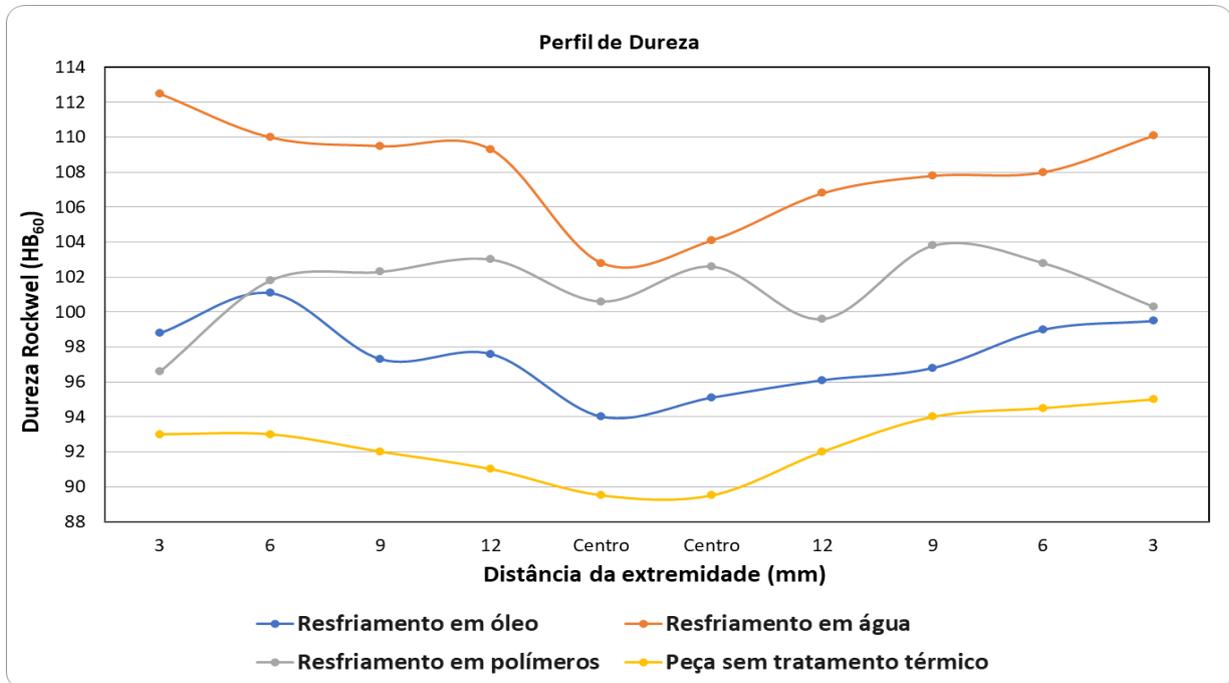


Figura 7 - Gráfico referente a média de durezas referente a cada meio de resfriamento.

Por se tratar de uma peça pequena e com uma baixíssima porcentagem de carbono, os valores de durezas não apresentaram grande aumento, porém nota-se que conforme mostrado nas imagens micrográficas, quanto maior a taxa de resfriamento, maior é a dureza da peça, ou seja, as amostras resfriadas em água que apresentaram uma estrutura de ferrita acicular ficaram mais duras, enquanto as resfriadas em óleo onde mantiveram a estrutura de ferrita equiaxial tiveram o menor aumento de dureza. Em média para têmpera em água tivemos um aumento da dureza, em 14,98%, 5,48% em óleo e 7,96% em polímero.

Porém quanto mais brusco é o resfriamento, maior é a chance de trincas e pontos críticos da peça, por isso é aconselhado este meio somente em peças homogêneas, como esferas e quadrados, evitando estruturas com “pontas” onde possuem um ponto crítico de tensão, podendo formar uma trinca. Já o resfriamento mais lento, como do óleo, a peça sofre um alívio de tensões, aumento da ductilidade e boa resistência a fratura. Portanto cada meio possui uma finalidade, e são os requisitos do projeto que determinarão qual meio deverá ser usado.

#### 4. CONCLUSÕES

O intuito do tratamento térmico geralmente é a formação de martensita na microestrutura do aço, pois esta é a que conduz a melhor combinação de resistência e tenacidade nos aços. Em geral, esta microestrutura não pode ser garantida em aços no estado bruto de fornecimento, recozidos ou normalizados, por isso é necessário aplicar o tratamento térmico de têmpera. Uma das principais características para a formação da martensita é o percentual de carbono, e como o aço A36 é um aço de baixo teor de carbono, a presença desta fase se fez minimamente presente somente no resfriamento em água.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] CALLISTER JUNIOR, WILLIAM D.; RETHWISCH, DAVID G. CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS: UMA INTRODUÇÃO. RIO DE JANEIRO: LTC, V. 589, P. 249, 2016.
- [2] CHIAVERINI, VICENTE. TECNOLOGIA MECÂNICA ESTRUTURA E PROPRIEDADES: PROCESSOS DE FABRICAÇÃO, VI. MC GRAW-HIL DO BRASIL, SÃO PAULO, 2012.
- [3] MICHELS, CAROLINA SANTANA ET AL. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VISCOSIDADE DE ÓLEOS MINERAIS E SINTÉTICOS COMO MEIO DE TÊMPERA NA MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1045. 2018.
- [4] COLPAERT, HUBERTUS ET AL. METALOGRAFIA DOS PRODUTOS SIDERÚRGICOS COMUNS. EDITORA BLUCHER, 2008.
- [5] CANALE, LAURALICE DE CAMPOS FRANCESCHINI; TOTTEN, GEORGE EDWARD; CANALE, ANTONIO CARLOS. POLÍMEROS DE TÊMPERA À BASE DE PAG. **MINERVA**, V. 3, N. 2, P. 209-214, 2006.
- [6] TAVARES, CLAUDIOMAR DE SOUZA ET AL. ESTUDO DO PROCESSO DE TÊMPERA EM AÇO 15B28 APLICADO EM LÂMINAS DE MOTONIVELADORAS. 2012.
- [7] KNOLL, PEDRO KUPKA. UTILIZAÇÃO DE SOLUÇÃO POLIMÉRICA EM SUBSTITUIÇÃO AO ÓLEO COMO MEIO DE RESFRIAMENTO NO TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA DE BARRAS DE AÇO. 2009.
- [8] MARTINS, PRISCILA GRAZIELA MELO ET AL. UTILIZAÇÃO DE UM ATAQUE POR IMERSÃO NA CARACTERIZAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE AUSTENITIZAÇÃO SOBRE O TAMANHO DE GRÃO AUSTENÍTICO E MORFOLOGIA DA MARTENSITA EM UM AÇO DO TIPO ABNT1045. IN: **69TH ABM ANNUAL CONGRESS**. 2014. P. 21-24.
- [9] DE MORI, G. N.; CESCONETI, LORENA BERTRANDA. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES METALOGRÁFICAS DO AÇO SAE 1045 NOS PROCESSOS TÉRMICOS DE NORMALIZAÇÃO, REVENIMENTO E TÊMPERA. **REVISTA ESFERA ACADÊMICA TECNOLOGIA**, V. 3, N. 1, P. 29-38, 2018.
- [10] VIANA, DÁVILA DE OLIVEIRA. TRATAMENTO TÉRMICO EM AÇO CARBONO ASTM A36 E SUA INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO. 2019.