

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JANAINA ZAGO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM TRILHO  
DE TREM EM SUAS CONDIÇÕES NORMAIS E COM TRATAMENTO TÉRMICO**

**GUARAPUAVA**

**2022**

**JANAINA ZAGO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM TRILHO DE TREM EM SUAS CONDIÇÕES NORMAIS E COM TRATAMENTO TÉRMICO**

**Comparative analysis of mechanical properties of a train track in its normal conditions and with heat treatment**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Mecânica, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Aldo Przybysz

**GUARAPUAVA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JANAINA ZAGO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM TRILHO DE TREM EM SUAS CONDIÇÕES NORMAIS E COM TRATAMENTO TÉRMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Mecânica, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 08/dezembro/2022

---

Prof. Aldo Przybysz  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

---

Profª. Denise Alves Ramalho  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

---

Prof. Henrique Ajuz Holzmann  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

**GUARAPUAVA**

**2022**

## RESUMO

A malha ferroviária brasileira possui capacidade de ampliação e os trilhos, que são elementos da superestrutura da via permanente, necessitam ter dureza, tenacidade, elasticidade e resistência à flexão para exercer sua função. Os trilhos de trem podem ser constituídos de aço carbono, aço-liga, como também de aço tratado, possuem alto teor de carbono e vêm do processo de laminação. Pensando no melhoramento desses trilhos, uma opção que pode modificar essas propriedades é o tratamento térmico. No presente estudo foi analisada a mudança de algumas propriedades mecânicas no trilho que não passou por tratamento e após o tratamento térmico. Para tanto, foram realizados ensaios de dureza, ensaio de compressão e metalografia para analisar a microestrutura com o material cru e após tratamento de têmpera e recozimento. Os dados obtidos através da pesquisa foram comparados à bibliografia sobre o tema, e assim, pode-se concluir que com tratamento de têmpera ocorreu o aumento da dureza, aumento da resistência à compressão e uma mudança na microestrutura observando a presença de martensita. Já com tratamento de recozimento, ocorreu a diminuição da dureza e da resistência a compressão e, por fim, a microestrutura continuou sendo perlita, podendo ser observado uma distância entre as lamelas.

**Palavras-chave:** dureza; microestrutura; tratamento térmico; trilhos.

## ABSTRACT

The Brazilian railway network has the capacity to expand and the rails, which are elements of the superstructure of the permanent way, need to have hardness, tenacity, elasticity and resistance to bending to perform their function. Train tracks can be made of carbon steel, alloy steel, as well as treated steel, have a high carbon content and come from the lamination process. Thinking about the improvement of these rails, an option that can modify these properties is the heat treatment. In the present study, the change of some mechanical properties in the rail that did not undergo treatment and after heat treatment was analyzed. For this purpose, hardness tests, compression tests and metallography were carried out to analyze the microstructure with the raw material and after tempering and annealing treatment. The data obtained through the research were compared to the bibliography on the subject, and thus, it can be concluded that with tempering treatment there was an increase in hardness, an increase in compressive strength and a change in the microstructure observing the presence of martensite. With the annealing treatment, however, there was a decrease in hardness and compressive strength and, finally, the microstructure continued to be pearlite, with a distance between the lamellae being observed.

**Keywords:** heat treatment; microstructure; rails; toughness.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à Deus, por me permitir concluir este grande sonho.

Aos meus pais José Luiz Zago e Wilmari Zago, por sempre incentivarem a estudar e buscar ser sempre uma pessoa melhor.

Ao meu irmão Victor, minha cunhada Suzane e minha irmã Jamille, que sempre estiveram comigo, acompanhando e apoiando minha trajetória.

Ao meu namorado João Paulo Chusca, por estar sempre me incentivando e acreditando em mim.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Aldo Przybysz, pela paciência, dedicação, direcionamento e todo conhecimento compartilhado durante esta trajetória.

Aos técnicos dos laboratórios Lucas e Adriana, pela atenção e auxílio na execução dos experimentos realizados para este trabalho.

A todos os professores que compartilharam conhecimento e meus colegas que fizeram parte de toda a trajetória acadêmica. Também gostaria de agradecer o pessoal do DEPED pelas vezes que prestaram apoio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho como também a todos que de alguma forma contribuíram com minha trajetória acadêmica.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama Fe-C.....	13
Figura 2 - Perfil tipo Vignole. ....	15
Figura 3 - Seção transversal a trilho de aço hipereutetóide.....	20
Figura 4 - Microestrutura da região próxima à pista do trilho.....	20
Figura 5 - Microestrutura da região do centro da alma do trilho.....	21
Figura 6 - Fluxograma da metodologia. ....	23
Figura 7 - (a) Trilho inteiro; (b) trilho em fatias.....	24
Figura 8 - (a) Parte inferior do trilho para amostra; (b) cortadora metalografica.....	25
Figura 9 - (a) embutidora metalografica; (b) amostra longitudinal e (c) amostra transversal..	25
Figura 10 - (a) suporte para lixamento e (b) politriz. ....	26
Figura 11 - Durômetro de bancada para dureza Rockwell Normal Digumess.....	27
Figura 12 - (a) boleto e (b) patim. ....	27
Figura 13 - (a) boleto temperado e (b) patim temperado.....	28
Figura 14 - (a) trilho sem tratamento e (b) trilho com recozimento.....	28
Figura 15 - (a) forno tipo mufla e (b) lata com óleo.....	29
Figura 16 - Alma em formato cilíndrico.....	30
Figura 17 - corpos de prova para ensaio de compressão. ....	30
Figura 18 - Ensaio de compressão.....	31
Figura 19 - amostra longitudinal sem tratamento (a) lente 10x e (b) lente 50x. ....	32
Figura 20 - amostra transversal sem tratamento (a) lente 10x e (b) lente 50x. ....	32
Figura 21 -Temperado (a) lente 10x (b) lente 20x e (c) lente 50x.....	33
Figura 22 - Microestrutura da amostra temperada.....	33
Figura 23 - Recozido (a) lente 10x (b) lente 20x e (c) lente 50x.....	34
Figura 24 - Gráfico Tensão x Deformação.....	36
Figura 25 - Corpos de prova após ensaio de compressão.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistema SAE, AISI e UNS de classificação dos aços. ....	14
Tabela 2 - Tipos de trilhos por massa nominal.....	15
Tabela 3 – Tipos de aço.....	16
Tabela 4 - Propriedades mecânicas dos trilhos.....	16
Tabela 5 - Composições químicas representativas de trilhos.....	17
Tabela 6 - Composição química.....	17
Tabela 7 - Trilhos tratados - Teores máximo de elementos residuais.....	18
Tabela 8 - Trilhos não tratados - Teores máximos de elementos residuais.....	19
Tabela 9 - Valores de dureza.....	34
Tabela 10 - Dureza em Brinell (HB).....	34
Tabela 11 - Valores ensaio de compressão.....	35



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AISI	American Iron and Steel Institute
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA	Estados Unidos da America
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica
INPF	Instituto Nacional de Pesquisas Ferroviarias
PIB	Produto Interno Bruto
SAE	Society Automotive Engineers – EUA

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>11</b>
1.1.1 Objetivo Geral.....	11
1.1.2 Objetivos Específicos .....	11
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Definições do aço.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Definição de trilha e propriedades .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Metalografia .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 Ensaio de dureza .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 Tratamento térmico.....</b>	<b>22</b>
<b>3 ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Local do experimento .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Ensaio metalográfico – micrografia.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Ensaio de dureza.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Tratamento térmico.....</b>	<b>29</b>
<b>3.5 Ensaio de compressão.....</b>	<b>29</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Microestrutura.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 Dureza.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 Resistência a compressão.....</b>	<b>35</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o site do Governo Federal, Ministério da Infraestrutura, as ferrovias no Brasil iniciaram no século XIX, em 1835, quando o Governo Imperial publicou o Decreto nº 101, porém o primeiro trecho ferroviário foi inaugurado em abril de 1854. Atualmente, o modo ferroviário tem 17,7% de participação no transporte brasileiro, percentual pequeno se comparado com sua extensão territorial (FERROVIAS BRASILEIRAS, 2022). Segundo IBGE, o Brasil é o quinto país mais extenso do mundo, sendo menor que apenas a Rússia, Canadá, China e EUA (IBGE, 2022). A malha ferroviária brasileira apresenta uma densidade de 3,35km/km<sup>2</sup> de território, sendo que os EUA possuem 22,87km/km<sup>2</sup> e a Alemanha chega a 117,59km/km<sup>2</sup>. Segundo Instituto Nacional de Pesquisas Ferroviárias, o Brasil apresenta hoje, custos de logística que correspondem a 20% PIB. Se comparado ao EUA com 10,5%, o PIB do Brasil é elevado (INPF, 2022).

Visto que possui a capacidade de ampliação das ferrovias no Brasil e que os trilhos são elementos da superestrutura da via permanente das ferrovias, este trabalho visa analisar as mudanças em algumas propriedades de um trilho de trem em suas condições normais e após a realização de tratamento térmico. Geralmente a maioria dos trilhos são fabricados de aço-carbono, como também são fabricados trilhos especiais de “aço-liga”, de maior vida útil, mas para aumentar sua dureza superficial são tratados termicamente (DNIT, 2015).

Para exercer sua função o trilho necessita ter dureza, tenacidade, elasticidade e resistência à flexão (DNIT, 2015). Para conseguir melhorar uma ou mais dessas propriedades, pode-se utilizar tratamento térmico, que é o conjunto de operações de aquecimento que os aços são submetidos, sob condições controladas de tempo, temperatura, velocidade de esfriamento e atmosfera, com a finalidade de modificar as suas propriedades (CHIAVERINI, 2008).

A partir da técnica metalográfica após a preparação de amostras dos materiais é possível identificar a sua microestrutura, observar as fases e os contornos de grãos através do microscópio. Baseado nessas observações é admissível identificar a microestrutura do material e relacionar com suas propriedades mecânicas.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é analisar alterações de algumas propriedades no material de um trilho de trem em suas condições normais e após tratamento térmico, comparando com os dados da literatura.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar a mudança dos valores de dureza nas amostras do material trilho de trem em suas condições normais e após o tratamento térmico através do ensaio de dureza;
- Analisar e identificar as características da microestrutura do material trilho de trem, comparando com a literatura, em suas condições normais e após tratamento térmico, através da metalografia;
- Realizar ensaio de compressão no material trilho de trem em condições normais e após o tratamento térmico.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção do trabalho estão apresentadas as definições, as propriedades do aço do trilho, as técnicas, os ensaios e tratamentos utilizados para análise.

### 2.1 Definições do aço

A composição do aço não é simplesmente ferro e carbono, apesar de esses serem seus principais elementos. Devido aos processos de fabricação sempre existirá a presença de elementos secundários e, dessa forma a definição da classe de aços passa a não ser tão simples (CHIAVERINI, 2008).

Durante a produção do aço além do ferro e do carbono, nesta liga podem estar presentes os seguintes elementos residuais: fósforo (P), enxofre (S), silício (Si) e manganês (Mn). Segundo Chiaverini (2008) tem-se a definição de aço como a seguinte: “Aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes dos processos de fabricação” (CHIAVERINI, 2008, p. 22).

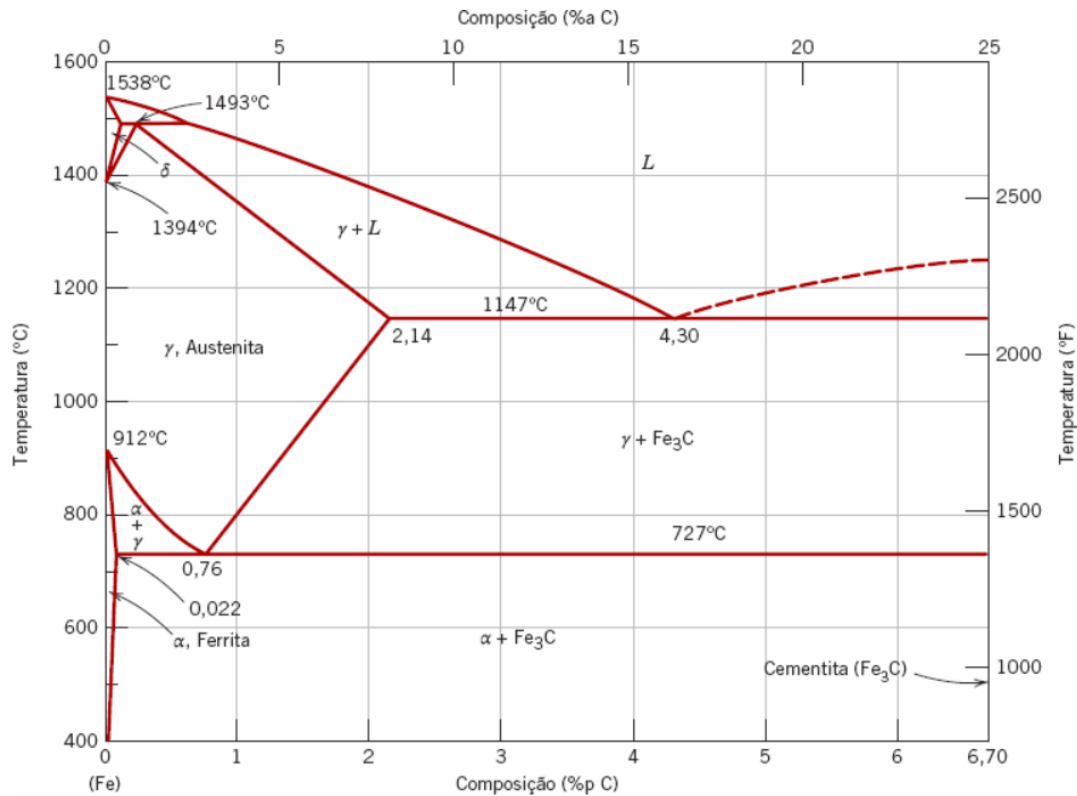
A partir dessa definição tem-se dois tipos de aço: aço-carbono e aço-liga. O aço-carbono possui até 2,11% de carbono e é subdividido nos aços baixo teor de carbono (<0,2%C), aços de médio carbono (0,2%C até 0,5%C), aços de alto teor de carbono (>0,5%C). O aço-liga possui elementos de liga acima do normal e é dividido em aços de baixo teor de liga (<8% de elementos de liga) e aços de alto teor de ligas (>8% de elementos de liga) (CHIAVERINI, 2008).

De acordo com Colpaert (2008): “Os aços são ligas à base de ferro mais amplamente aplicadas. Uma das características mais importantes que diferencia os aços dos ferros fundidos é a capacidade que os aços têm de serem deformados plasticamente.” (COLPAERT, 2008, p.3).

Quando se estuda os aços é indispensável o conhecimento do diagrama de equilíbrio Fe-C, no qual são indicadas as transformações de fases, mudanças da estrutura cristalina conforme a porcentagem de carbono e mudanças de temperatura. Este diagrama mostra os constituintes básicos dos aços que influenciam nas suas características mecânicas, sendo eles: austenita, ferrita, cementita e perlita (CALLISTER, 2021).

O diagrama Fe-C com as curvas de transformações de fase com teores de até 6,7% de carbono está apresentado na Figura 1.

**Figura 1 - Diagrama Fe-C.**



**Fonte: Adaptado de Callister (2021).**

Como representado na Figura 1, os aços que passam da fase  $\gamma$  (austenita) para as fases  $\alpha$  + Fe<sub>3</sub>C sofrem complexas mudanças. Uma liga que é resfriada a partir de uma temperatura dentro da fase  $\gamma$  (austenita) até o ponto de fase eutetoide (0,76%p C) não passando da temperatura de (727°C) se manterá sem mudanças. Já um aço eutetoide que passe abaixo dessa temperatura resfriado lentamente se transformará em perlita ( $\alpha$  + Fe<sub>3</sub>C). Entre 0,022%p C e 0,76%p C, ou seja à esquerda do eutetoide as ligas são chamadas hipoeutetoide, onde um aço a uma temperatura de 875°C que for resfriado da fase  $\gamma$  (austenita) até a região da abaixo da temperature eutetoide, toda  $\gamma$  (austenita) se transforma em perlita contendo a fase ferrita que se formou ao passar pelas fases  $\alpha$  +  $\gamma$  (CALLISTER, 2021).

A classificação dos aços pode ser feita através da composição, processo de acabamento ou ainda forma do produto acabado. A classificação adotada no Brasil leva em consideração a composição dos aços e usa como base os sistemas AISI e SAE (CHIAVERINI, 2008).

Pode ser observadas algumas das classificações representadas na Tabela 1:

**Tabela 1 - Sistema SAE, AISI e UNS de classificação dos aços.**

Designação		Tipos de Aço
AISI-SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aços-carbono comuns
11XX	G11XXX	Aços de usinagem fácil, com alto S
40XX	G40XXX	Aços-Mo com 0,25% de Mo médio
61XX	G61XXX	Aços-Cr-V com 0,6% ou 0,95% de Cr e 0,1 ou 0,15% de V min.
86XX	G86XXX	Aços-Ni-Cr-Mo com 0,55% de Ni, 0,5% de Cr e 0,2% de Mo

**Fonte: Adaptado de Chiaverini (2008).**

Os aços utilizados em trilhos ferroviários podem ser aço carbono, aço-liga, como também podem ser aços tratados (DNIT, 2015).

## 2.2 Definição de trilho e propriedades

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes a definição de trilho para linha férrea é:

“Cada uma das barras de aço carbono laminado (em número de duas na bitola normal e três na bitola mista, e paralela entre si), de formato especial, que se prolongam, assentadas e fixadas sobre dormentes, e que suportam e guiam as rodas dos veículos ferroviários, constituindo, assim, a superfície de rolamento de uma via férrea (superestrutura)” (DNIT, 2015).

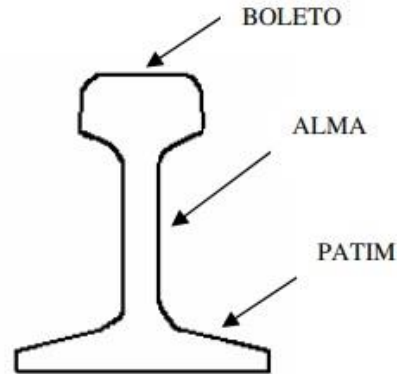
O processo de laminação do trilho deve estar de acordo com a NBR-7590:2012 e o controle das inclusões deve atender aos limites estabelecidos na norma NBR NM 88 – Aço – Determinação de inclusões não metálicas – Método Micrografico, ASTM E45 (método A) ou DIN 50602 (Método M e K3).

Quanto a forma e dimensão do trilho, furação dos trilhos, tolerâncias para todos os tipos de trilho também devem ser conforme a NBR 7590:2012. A inspeção dos trilhos é realizada pelo DNIT e são verificadas as propriedades mecânicas, composição química, marcação, dimensões, massa, aspecto, com ultrassom, ensaio de dureza, ensaio de resistência à tração, alongamento e escoamento, ensaio de resistência ao choque, decarbonetação, ensaio de inclusões não metálicas, condições internas e outros ensaios (DNIT, 2015).

O perfil do tipo Vignole é o mais utilizado em trilhos ferroviários, sendo composto por boleto, alma e patim é apresentado na Figura 2. Onde o boleto é a parte para apoio e

deslocamento da roda ferroviária, a base do trilho onde é apoiado e fixado é chamada de patim, a parte entre o boleto e o patim é chamada de alma (Semprebone, 2005).

**Figura 2 - Perfil tipo Vignole.**



**Fonte: Adaptado de Semprebone (2005).**

A classificação dos trilhos se dá conforme sua massa por metro, em kg/m, estabelecida pela NBR 7590:2012, conforme na Tabela 2, nesta tabela o trilho UIC60 corresponde ao TR60 e os trilhos 140RE e 141RE ao trilho TR70.

**Tabela 2 - Tipos de trilhos por massa nominal.**

Tipos de trilhos	Massa nominal por metro linear de trilho (kg/m)
TR37	37,10
TR45	44,64
TR50	50,35
TR57	56,90
UIC60	60,34
TR68	67,56
140RE	69,50
141RE	69,90

**Fonte: Adaptado de DNIT (2015).**

A NBR 7590:2012 também estabelece quanto ao tipo do aço conforme a Tabela 3:



**Tabela 3 – Tipos de aço.**

Nível de resistência	Tipos de aço	
Mínima	Aço-carbono	3 4
Média	Aço-liga	7 8
Alta	Aço tratado	10

**Fonte: Adaptado de DNIT (2015)**

Segundo a NBR 7590:2012 as propriedades mecânicas do aço dos trilhos devem estar de acordo com a Tabela 4:

**Tabela 4 - Propriedades mecânicas dos trilhos.**

Tipo de aço		Resistência à tração mínima (Mpa)	Alongamento mínimo (%)	Escoamento mínimo (Mpa)	Dureza Brinell (HB)
Aço-carbono (resistência mínima)	3	880	10	420	260 a 310
	4	980	10	510	280 a 320
Aço-liga (média resistência)	7	1000	8	580	310 a 340
	8	1190	10	770	340 a 370
Aço tratado (alta resistência)	10	1200	10	840	370 a 420

**Fonte: Adaptado DNIT (2015).**

As propriedades mecânicas dos trilhos segundo Chiaverini (2008) possuem os seguintes valores: limite de escoamento de 495Mpa, limite de resistência à tração de 960Mpa, alongamento 9%, estrição 12%, dureza Brinell 300 e resistência ao choque 2,75J.

Onde o principal contribuinte para resistência ao desgaste e para conter a fragilidade a quente é o elemento manganês, quando seus teores são relativamente elevados e levando em consideração que os trilhos são laminados a quente.

Segundo Chiaverini (2008) a composição química de trilhos deve ser de acordo com a Tabela 5, a seguir:

**Tabela 5 - Composições químicas representativas de trilhos.**

Constituintes	Peso nominal em lb/jd	
	90/120	121 e acima
Carbono	0,67-0,80%	0,72-0,82%
Manganês	0,70-1,00%	0,75-1,05%
Fósforo(máx)	0,035	0,035
Enxofre	0,040	0,035
Silício	0,10-0,35	0,10-0,35

Fonte: Adaptado de Chiaverini (2008).

A composição química do aço para trilho ferroviário também deve estar de com a NBR 7590:2012, conforme mostrada na Tabela 6:

**Tabela 6 - Composição química de aços para trilho.***continua*

Composição química (%)		Aço-carbono		Aço-liga			Variação admitida	
		3	4	7	8	10	Abaixo da mínima	Acima da máxima
Carbono (C)	Máxima	0,80	0,82	0,80	0,92	0,92	-	+0,04
	Mínima	0,60	0,72	0,70	0,72	0,72	-0,04	-
Manganês (Mn)	Máxima	1,30	1,10	1,40	0,79	1,25	-	+0,06
	Mínima	0,80	0,80	1,00	0,60	1,11	-0,06	-
Silício (Si)	Máxima	0,50	0,60	1,00	0,60	0,60	-	+0,05
	Mínima	0,10	0,10	0,60,	0,10	0,10	-0,02	-
Fósforo (P)	Máxima	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	+0,008
	Mínima	-	-	-	-	-	-	-
Enxofre (S)	Máxima	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	+0,008
	Mínima	-	-	-	-	-	-	-
Níquel (Ni)	Máxima	-	-	-	0,15	0,15	-	-
	Mínima	-	-	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	Máxima	0,15	0,15	0,40	0,70	0,70	-	-
	Mínima	-	-	0,15	0,15	0,15	-	-
Molibdênio (Mo)	Máxima	-	-	-	0,05	0,05	-	-
	Mínima	-	-	-	-	-	-	-

Vanádio (V)	Máxima	-	-	-	0,01	0,01	-	-
	Mínima	-	-	-	-	-	-	-
Nióbio (Nb)	Máxima	-	-	0,05	-	-	-	-
	Mínima	-	-	0,02	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de DNIT (2015).

Pode-se notar que os elementos de composição em comum entre as Tabelas 5 e 6 são: carbono, manganês, enxofre, silício e fósforo. Dentre os outros constituintes apenas o cromo que aparece tanto para aço carbono como para o aço-liga, o restante dos constituintes aparece apenas na composição de aço-liga.

De acordo com DNIT (2015) para os trilhos tratados são especificados os teores máximos de elementos residuais na Tabela 7:

**Tabela 7 - Trilhos tratados - Teores máximo de elementos residuais.**

Valores em porcentagem em massa (%)		
INDIVIDUALIZADOS	CLASSE	
	A	B
Cromo (Cr)	-	0,10
Molibdênio (Mo)	0,02	0,02
Níquel (Ni)	0,10	0,10
Cobre (Cu)	0,15	0,15
Estanho (Sn)	0,04	0,04
Antimônio (Sb)	0,02	0,02
Titânio (Ti)	0,025	0,025
Nióbio (Nb)	0,01	0,01
Vanádio (V)	0,03	0,03
Alumínio (Al)	0,004	0,004
Nitrogênio (N)	0,009	0,009
COMBINADOS	$Mo + Ni + V < 0,20$	$Cr + Mo + Ni < 0,25$

Fonte: Adaptado de DNIT (2015).

Os elementos cromo, molibdênio, vanádio, níquel e cobre, são utilizados para expressar a temperabilidade de uma liga através do cálculo do Carbono Equivalente. Esse cálculo é

importante para estabelecer uma temperatura de aquecimento antes da soldagem dos trilhos (DNIT, 2015).

Para os trilhos aço-liga não tratados, quando os teores de Manganês exceder 1,10% os teores máximos de elementos residuais estão apresentados na Tabela 8:

**Tabela 8 - Trilhos não tratados - Teores máximos de elementos residuais.**

Valores em porcentagem em massa (%)			
Níquel	Cromo	Molibdênio	Vanádio
0,25	0,40	0,10	0,03

Fonte: Adaptado de DNIT (2015).

### 2.3 Metalografia

A técnica metalográfica nos permite identificar a macroestrutura e a microestrutura dos materiais, podendo ser observadas as características, microconstituintes e fases presentes, fases como por exemplo: Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ) e Gama ( $\gamma$ ). Segundo Colpaert (2008) a técnica metalográfica – macrografica:

“Consiste no exame do aspecto de uma peça ou amostra metálica, segundo uma seção plana devidamente polida e, em geral, atacada por um reativo apropriado. O aspecto assim, obtido, chama-se *macroestrutura*. O exame é feito à vista desarmada ou com auxílio de uma lupa.” (COLPAERT, 2008, p.38).

A macrografia é utilizada para reprodução em tamanho natural ou com ampliação máxima até de 10 vezes. Ampliações acima de 10 vezes usa-se o termo micrografia, observadas através do microscópio. Existem várias técnicas para observar a estrutura dos aços e ferros fundidos em escala microscópica. Com a microscopia eletrônica de varredura (MEV) é possível observar as superfícies praticamente sem preparação, sendo útil na análise de falhas, já a microscopia eletrônica de transmissão (MET) exige que a mostra passe por uma preparação (COLPAERT, 2008).

A Figura 3 apresenta a seção transversal de um trilho de trem de aço hipereutetóide, com dureza aproximadamente 400 HB. Na figura podem ser observadas as três partes de um trilho: região do boleto (parte superior), alma (centro) e patim (parte inferior).

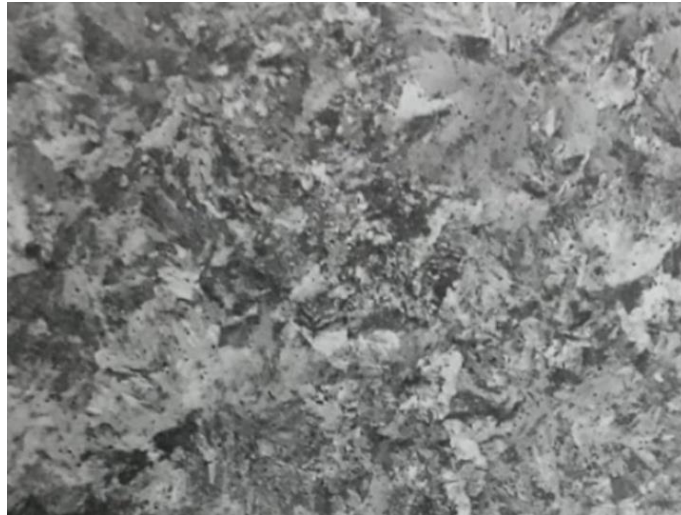
**Figura 3 - Seção transversal a trilho de aço hipereutetóide.**



**Fonte: Adaptado de Colpaert (2008).**

A Figura 4 mostra a microestrutura da região mais próxima da pista do trilho da Figura 3, ou seja parte inferior da figura que é chamada de patim onde é possível observar colônias de perlita fina. Pode-se notar que não apresenta constituintes pró-eutetóides, apenas perlita fina.

**Figura 4 - Microestrutura da região próxima à pista do trilho.**



**Fonte: Adaptado de Colpaert (2008).**

Já na Figura 5, está apresentada a microestrutura do mesmo trilho na região do centro da alma do trilho, a parte mais estreita do trilho.

**Figura 5 - Microestrutura da região do centro da alma do trilho.**



**Fonte: Adaptado de Colpaert, 2008.**

Como pode ser observado a Figura 5 apresenta a mesma estrutura de perlita fina, sem presença de constituintes pró-eutetoides e possui marcas de lixas vindas da preparação.

## **2.4 Ensaio de dureza**

De acordo com Garcia (2010) o ensaio de dureza:

“Consiste na impressão de uma pequena marca feita na superfície da peça pela aplicação de pressão com uma ponta de penetração. A medida da dureza do material ou da dureza superficial é dada como função das características da marca de impressão e da carga aplicada em cada tipo de ensaio de dureza realizado”. (GARCIA, 2010, p.115).

Segundo DNIT (2015) a dureza Brinell para um trilho de linha férrea deve ser igual ou superior à especificada na Tabela 4. Para realizar a medida da dureza, de acordo com a norma ABNT NBR NM 6506-1 é necessário realizar dois ensaios para inspeção, a cada corrida de trilho laminado. A realização do ensaio deve ocorrer após a remoção da descarbonetação e com a esfera de carbeto de tungstênio, na região do topo do boleto do trilho. Nessa região não pode ser maior que 30 HB a diferença de dureza entre dois pontos.

## 2.5 Tratamento térmico

De acordo com Chiaverini (2008):

“Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de esfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinadas.” (CHIAVERINI, 2008, p.81).

Os tratamentos térmicos têm como principais objetivos remoção de tensões, aumento da resistência mecânica, aumento ou diminuição da dureza, melhora da usinabilidade, melhora da ductibilidade, melhora das propriedades de corte, melhora da resistência à corrosão, melhora resistência ao desgaste, melhora de resistência ao calor e modificação das propriedades elétricas e magnéticas (CHIAVERINI, 2008).

Segundo Pinedo (2021), o objetivo do tratamento térmico de têmpera:

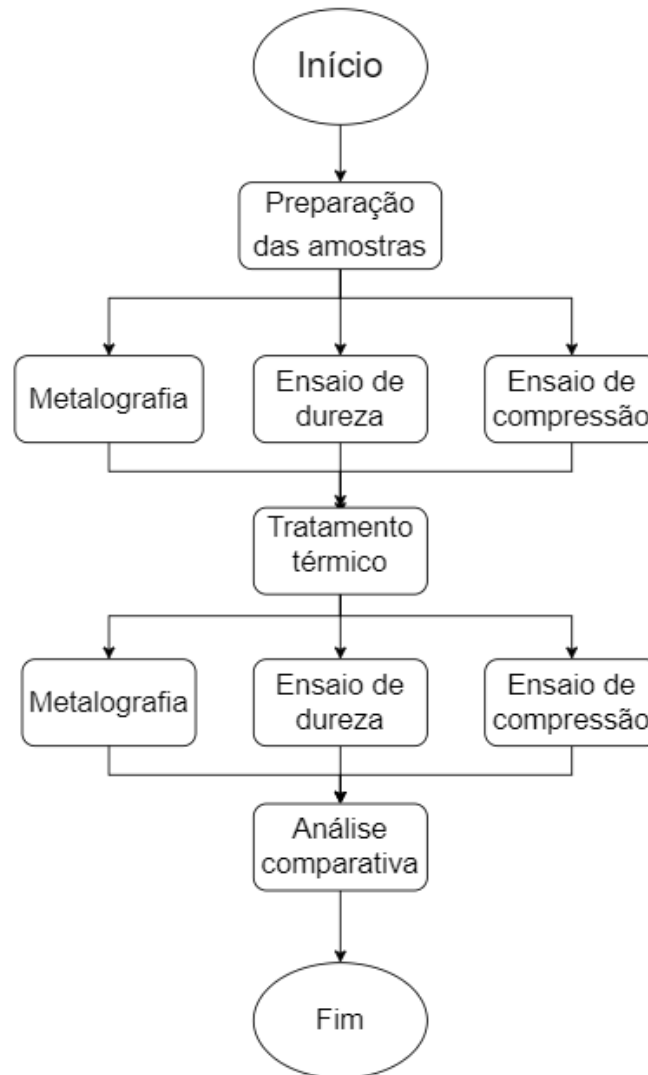
“É atingir a máxima dureza de um aço. Como visto anteriormente, a máxima dureza está relacionada: (i) à composição química, principalmente com relação ao teor de carbono; (ii) a sua temperabilidade; e (iii) à prática de tratamento, principalmente ao método de resfriamento utilizado.” (PINEDO, 2021, p. 24).

O tratamento térmico de recozimento consiste em elevar o material a uma alta temperatura por um prolongado tempo e então resfria-lo lentamente até a temperatura ambiente. Este tratamento é realizado para reduzir a dureza, aumentar a ductilidade e tenacidade, aliviar tensões, como também para produzir uma microestrutura específica (CALLISTER, 2021).

### 3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção está apresentado o local do experimento, como também os materiais e métodos utilizados para realizar os ensaios e testes. O fluxograma da Figura 6 mostra resumidamente as etapas que foram executadas.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autoria própria.

#### 3.1 Local do experimento

A parte experimental deste trabalho e caracterização do material foram realizadas no Campus de Guarapuava da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Os procedimentos de microscopia óptica, ensaio de dureza, tratamento térmico e ensaio de

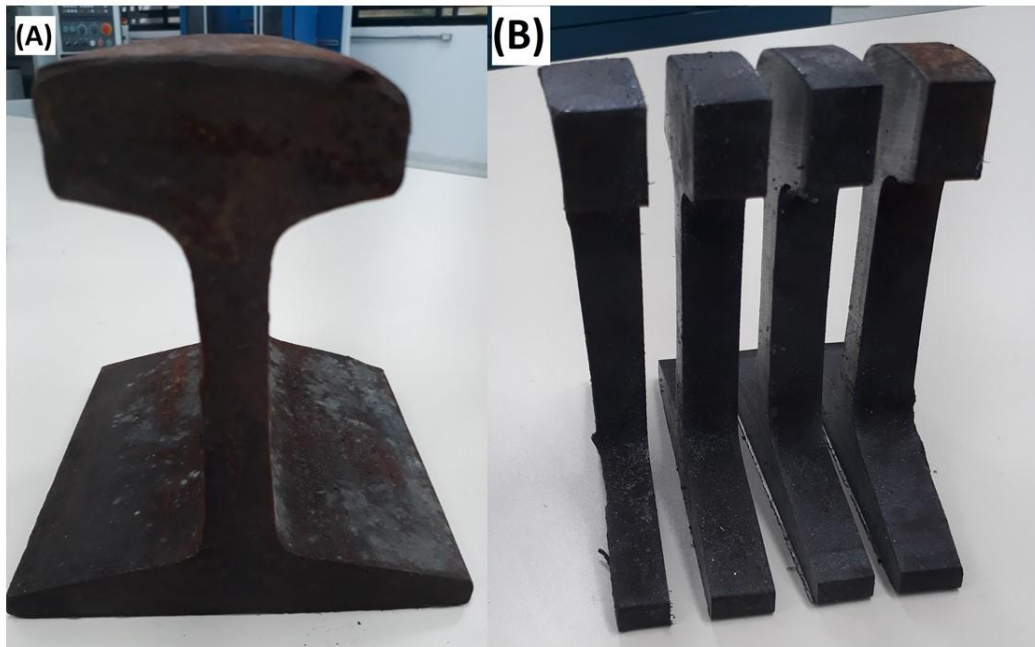


compressão foram realizados no laboratório de ensaios de materiais. Também utilizou-se do laboratório de usinagem para preparação de amostras.

### 3.2 Ensaios Metalográficos – Micrografia

Para este estudo utilizou-se um trilho de trem disponível no laboratório do Campus. Para realizar o ensaio metalográfico se fez necessário a elaboração das amostras utilizando-se primeiro a serra fita do laboratório de usinagem, onde como pode ser observado na Figura 7 o trilho cortado em quatro fatias.

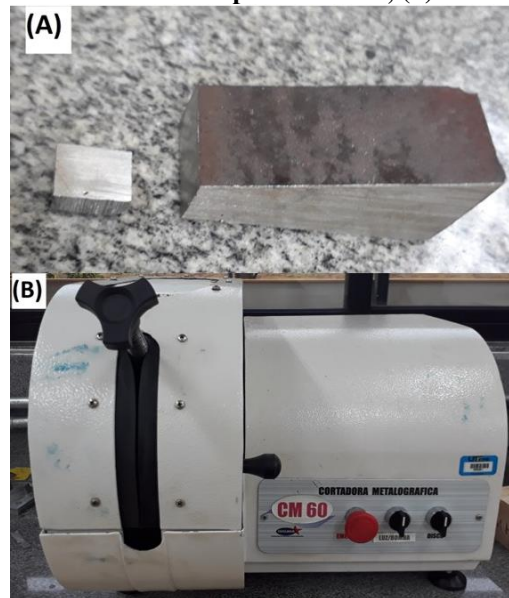
Figura 7 - (a) Trilho inteiro; (b) trilho em fatias.



Fonte: Autoria própria.

Após o corte, a partir de uma dessas fatias utilizando-se a esmerilhadeira, realizou-se a retirada da parte do boleto e também a uma parte do patim. Com a cortadora metalográfica CM40/60 da marca Teclago foram retiradas as amostras da parte inferior do trilho, como mostrado na Figura 8.

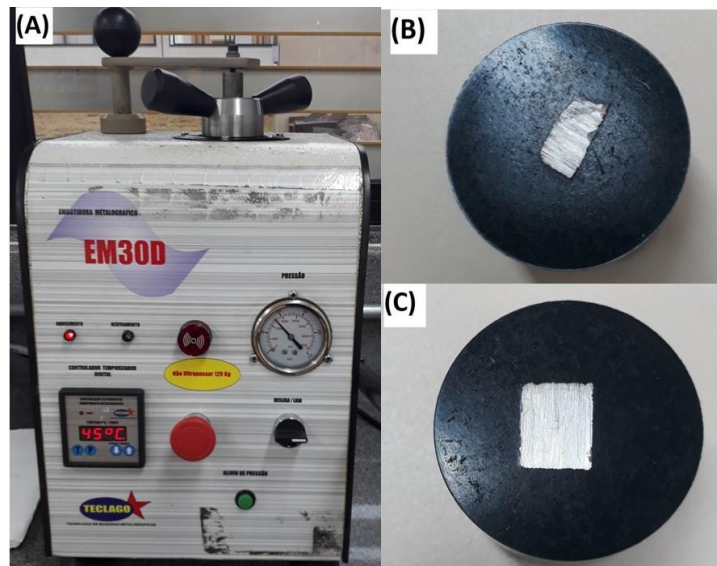
Figura 8 - (a) Parte inferior do trilho para amostra; (b) cortadora metalográfica.



Fonte: Autoria própria.

Depois foram embutidas as amostras na Prensa Embutidora Metalográfica Manual EM30D ( $\phi$  30mm). Sendo que a Figura 9(a) mostra a embutidora, a Figura 9(b) apresenta a amostra sem tratamento do sentido longitudinal e a Figura 9(c) apresenta a amostra sem tratamento do sentido transversal.

Figura 9 - (a) embutidora metalografica; (b) amostra longitudinal e (c) amostra transversal.

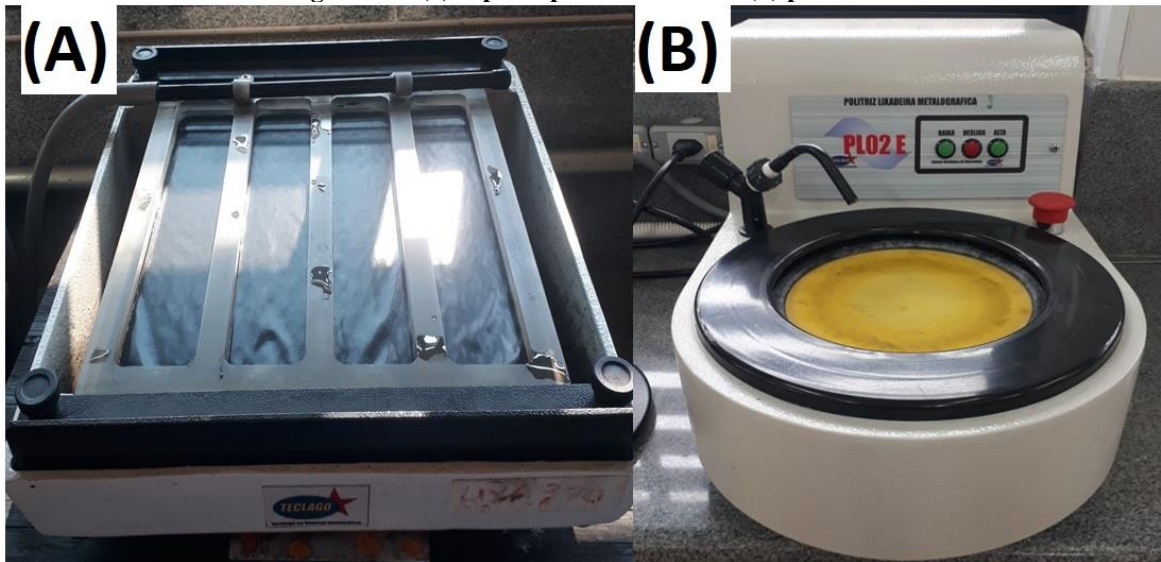


Fonte: Autoria própria.

Na próxima etapa as amostras passaram pelo lixamento manual. As lixas que foram utilizadas seguiram a ordem de granulometria crescente, sendo as seguintes: 320, 360, 400, 600 e por último uma lixa de 1200. Foi utilizada a plataforma de lixamento Teclago, onde além da

lixa possui água corrente para fazer a limpeza da amostra. A cada nova lixa foram rotacionadas as amostras em 90°, pois isto garante a homogeneidade da rugosidade. Para saber o momento de troca de lixa realizou-se a observação da amostra no microscópio e verificação se os riscos estavam na mesma direção. Após toda a etapa de lixamento foram retiradas as micropartículas abrasivas com água e álcool. Para realização do polimento utilizou-se da Politriz Lixadeira Metalográfica – PL02E, com um pano de polimento (flanela) e solução de alumina em pó, obtendo uma superfície bem espelhada. A Figura 10 apresenta o suporte utilizado para realizar o lixamento e o polimento.

**Figura 10 - (a) suporte para lixamento e (b) politriz.**



**Fonte: Autoria própria.**

Para revelar a microestrutura realizou-se o ataque químico de 5 segundos com o reagente Nital+Picral (1:1) e obtidas as imagens através do microscópio óptico da marca Olympus BX51 para analisar a sua microestrutura.

Depois de realizado tratamento térmico de têmpera e de recozimento (alívio de tensões) foram preparadas as amostras do mesmo material, realizando o mesmo procedimento explicado acima, utilizando-se a parte inferior do trilho para análise da mudança ocorrida na microestrutura deste material. Porém o ataque da amostra do tratamento de recozimento (alívio tensões) levou um tempo de 4 segundos com Nital+Picral(1:1), já a amostra do tratamento de têmpera o ataque durou um tempo de dois minutos e trinta segundos apenas com o reagente Picral.

### 3.3 Ensaio de dureza

Neste ensaio utilizou-se a norma ABNT NBR ISO 6508-1:20119 e o equipamento Durômetro de Bancada para Dureza Rockwell Normal Digumess como mostra a Figura 11.

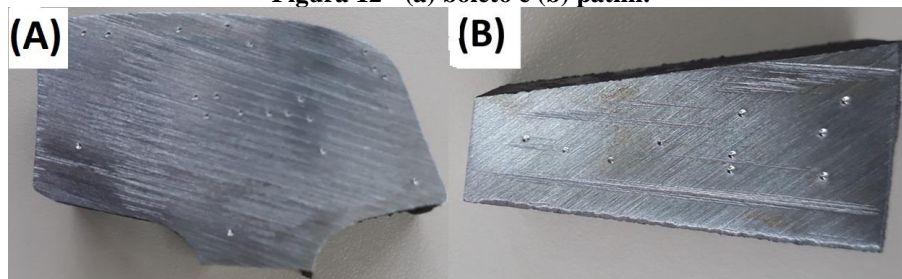
**Figura 11 - Durômetro de bancada para dureza Rockwell Normal Digumess.**



**Fonte: Autoria própria.**

Realizada primeiramente a medida de dureza da parte superior chamada boleto e da parte inferior chamada patim do material sem tratamento térmico, com o penetrador de diamante e uma carga de 150 kgf, assim realizada a leitura no mostrador preto que está dentro da escala Rockwell C (HRC). A Figura 12 mostra os pontos de medida de dureza no boleto e no patim.

**Figura 12 - (a) boleto e (b) patim.**

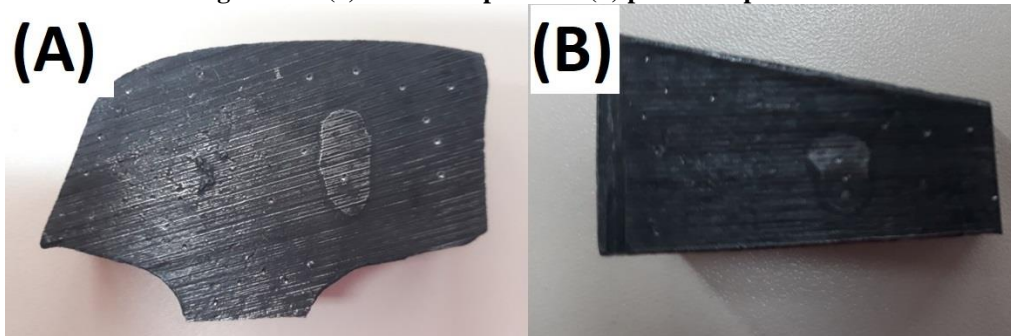


**Fonte: Autoria própria.**

Nessas mesmas regiões do material realizou-se tratamento de têmpera e medição de dureza utilizando o mesmo penetrador de diamante e uma carga de 150 kgf, assim realizada a

leitura no mostrador preto que está dentro da escala Rockwell C (HRC). A Figura 13 mostra os pontos de medida de dureza no boleto e no patim tratados termicamente.

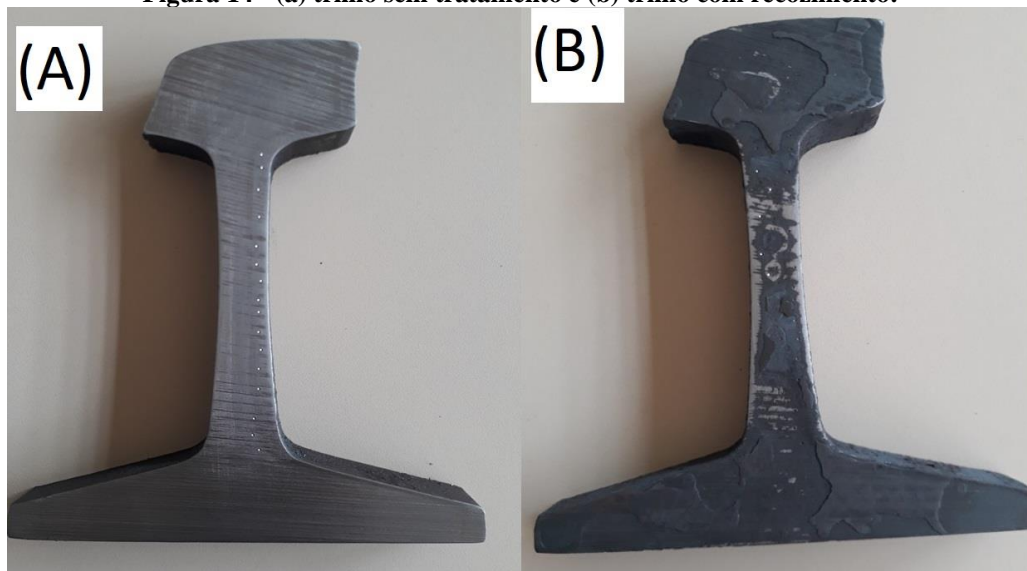
Figura 13 - (a) boleto temperado e (b) patim temperado.



Fonte: Autoria própria.

Utilizando de uma das fatias do trilho foram realizadas as medidas de dureza antes e após o recozimento (alívio de tensões), como mostrado na Figura 14. Neste caso utilizou-se um edentador esférico de aço temperado de diâmetro 1/16" e uma carga de 100kgf, assim obtidas as medidas na escala Rockwell B (HBR).

Figura 14 - (a) trilho sem tratamento e (b) trilho com recozimento.



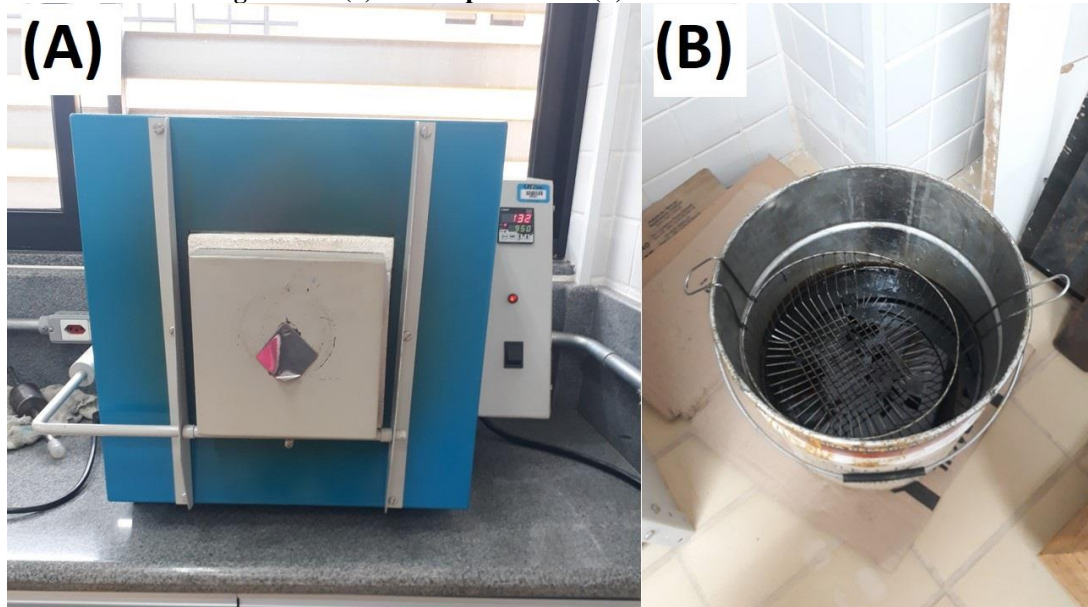
Fonte: Autoria própria.

Após realizadas as medições e estabelecidas a dureza pela escala Rockwell foi convertida para escala Brinell para ser comparada com dados das referências.

### 3.4 Tratamento térmico

Um dos tratamentos térmicos que foi realizado nas amostras do material trilho de trem é o tratamento térmico de têmpera, onde a parte superior (boleto) e a parte inferior (patim) foram aquecidas acima da zona crítica, acima da temperatura de austenitização, ou seja até 950°C no Forno tipo mufla – marca TEK LABOR, foram deixadas por cerca de trinta minutos nesta temperatura no forno e logo após retiradas do forno foram resfriadas em óleo SAE W40 (usado), à temperatura ambiente e sem agitação. A Figura 15 (a) mostra o forno e Figura 15(b) a lata com o óleo onde foram resfriadas as partes do trilho.

Figura 15 - (a) forno tipo mufla e (b) lata com óleo.



Fonte: Autoria própria.

Outro tratamento foi de recozimento (alívio de tensões), onde uma das fatias do trilho foi aquecido até 950°C no mesmo forno, permaneceu por trinta minutos nesta temperatura e após foi deixado resfriar lentamente dentro do forno até a temperatura ambiente.

### 3.5 Ensaio de compressão

Para o ensaio de compressão, foram utilizadas de outras duas fatias do trilho, onde a partir da parte da alma do trilho, usando o torno CNC e o torno mecânico foram confeccionados dois cilindros de diâmetro 10,3mm, a Figura 16 mostra um dos cilindros.

**Figura 16 - Alma em formato cilíndrico.**



**Fonte: Autorial própria.**

A partir destas duas peças cilíndricas foram cortados na cortadora metalográfica nove corpos de prova de altura 12mm, como mostra a Figura 17.

**Figura 17 - corpos de prova para ensaio de compressão.**

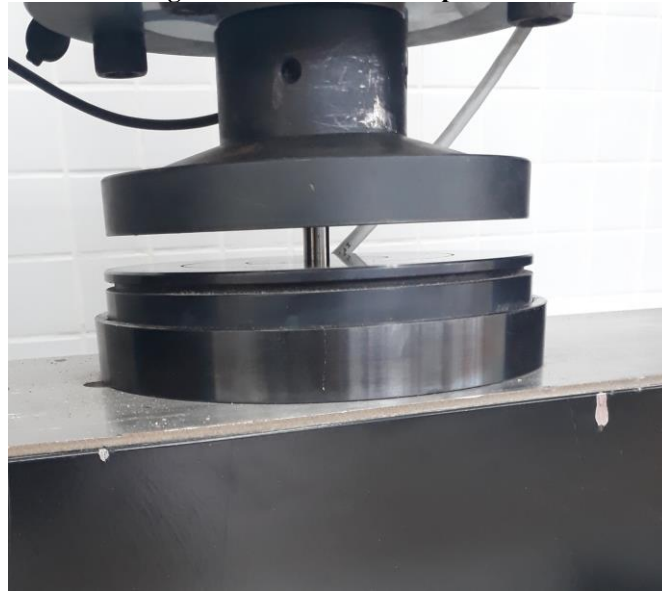


**Fonte: Autorial própria.**

Desses nove corpos de prova, três corpos foram realizados tratamento de têmpera, onde foram aquecidos a uma temperatura de 950°C e resfriados no óleo. Outros três foram realizados

tratamento de recozimento, onde foram aquecidos até 950°C e deixado resfriar lentamente dentro do forno até temperatura ambiente. Após feito esses tratamentos todos os nove corpos foram ensaiados na máquina universal de ensaios EMIC DL 30.000 (com célula de carga com 30 kgf), como mostrado na Figura 18.

**Figura 18 - Ensaio de compressão.**



**Fonte: Autorial própria.**

Neste ensaio ocorreu a aplicação de carga de compressão uniaxial crescente no corpo de prova e a resposta é obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo versus a carga de compressão. Este ensaio fornece resultados semelhantes aos obtidos no ensaio de tração (GARCIA, 2015).



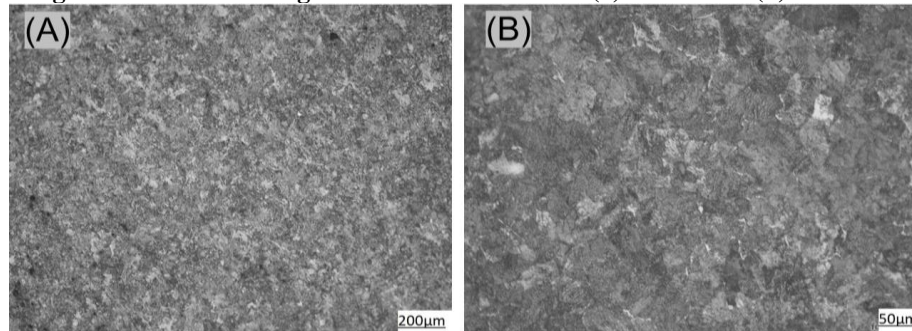
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizados os experimentos nos laboratórios e coletado os dados, esta seção apresenta os resultados obtidos através de tabelas, imagens e gráficos.

### 4.1 Microestrutura

A análise metalográfica foi realizada para verificar as alterações na microestrutura do trilho com os diferentes tratamentos. Primeiramente verificou-se a estrutura do material sem tratamento térmico, onde através das Figura 19 e Figura 20 pode ser verificado a microestrutura de perlita.

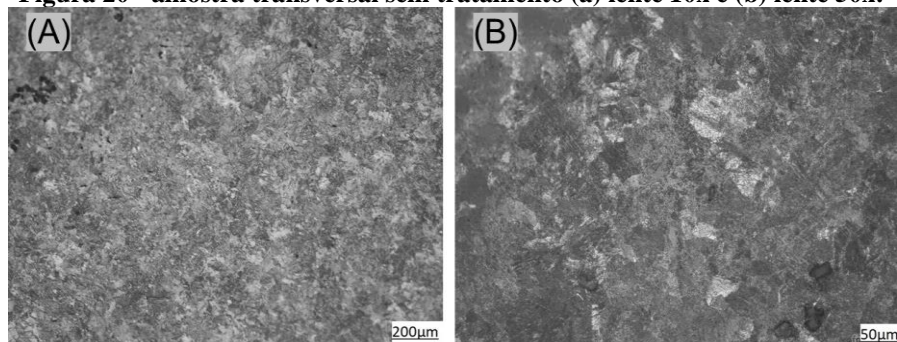
**Figura 19 - amostra longitudinal sem tratamento (a) lente 10x e (b) lente 50x.**



**Fonte: Autoria própria.**

Também pode se notar que entre as duas figuras não existe diferença na microestrutura, tanto no sentido longitudinal quanto no transversal a microestrutura é de perlita. As imagens coincidem com a Figura 4 apresentando a mesma estrutura perlítica.

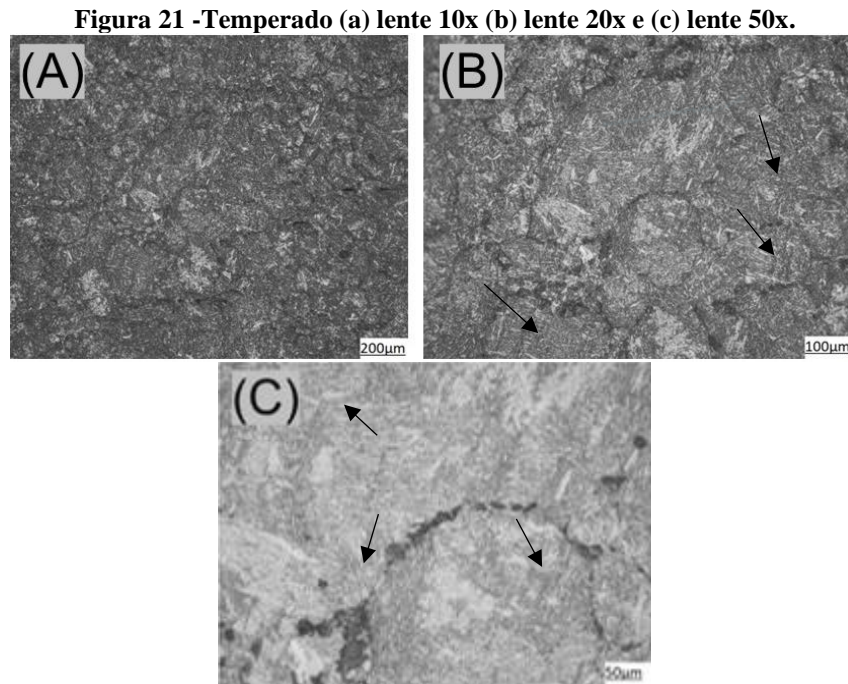
**Figura 20 - amostra transversal sem tratamento (a) lente 10x e (b) lente 50x.**



**Fonte: Autoria própria.**

A Figura 21 apresenta a imagem da microestrutura da amostra temperada, onde pode ser notado uma mudança, vindo ser uma microestrutura composta, na Figura 21(a) não é possível

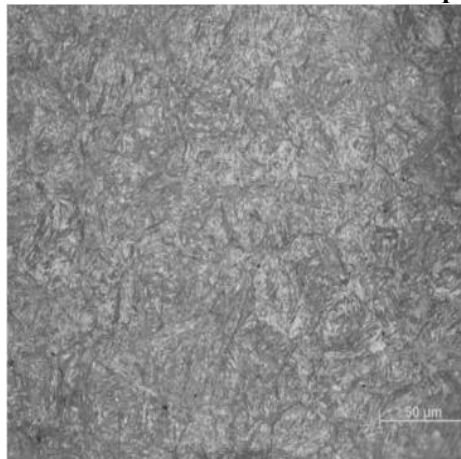
notar a mudança, mas na Figura 21(b) e Figura 21(c) pode ser notado a presença de formação de martensita junto com a microestrutura de perlita.



**Fonte: Autoria própria.**

Nota-se que a microestrutura não se transformou completamente nas Figura 21(a), Figura 21(b) e Figura 21(c), mas percebe-se uma semelhança com a microestrutura da Figura 22 onde ocorreu a transformação completa para estrutura martensítica.

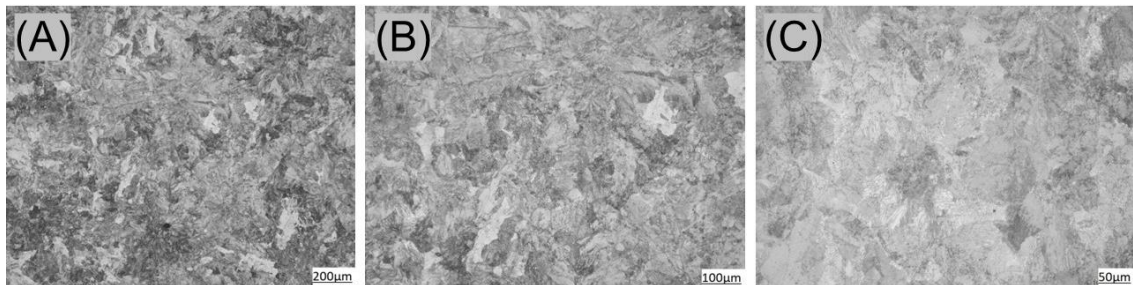
**Figura 22 - Microestrutura da amostra temperada.**



**Fonte: Adaptado de Ribeiro, Costa e Silva (2017).**

Na Figura 23 está apresentada a micrografia da amostra que passou pelo recozimento, onde pode ser observada a mesma microestrutura do material sem tratamento, microestrutura de perlita, porém com aumento da distância entre suas lamelas.

**Figura 23 - Recozido (a) lente 10x (b) lente 20x e (c) lente 50x.**



**Fonte: Autoria própria.**

## 4.2 Dureza

Os resultados de dureza obtidos através do Durômetro de Bancada estão apresentados na Tabela 9, como pode ser observado o patim e o boleto antes e após o tratamento de têmpera foram realizadas as medidas dentro da escala Rockwell C, já os valores de dureza da alma antes do tratamento de recozimento foram medidas na escala Rockwell C e após os valores foram medidos dentro da escala Rockwell B.

**Tabela 9 - Valores de dureza.**

	Média de dureza antes do tratamento	Média de dureza após têmpera	Média de dureza após recozimento
<b>Patim</b>	24,7 (HRC)	33,1 (HRC)	
<b>Boleto</b>	24,7 (HRC)	33,7 (HRC)	
<b>Alma</b>	24,4 (HRC)		93,7 (HRB)

**Fonte: Autoria própria.**

Para facilitar a comparação os valores foram convertidos todos para a escala Brinell, como mostra a Tabela 10.

**Tabela 10 - Dureza em Brinell (HB).**

	Média de dureza antes do tratamento	Média de dureza após têmpera	Média de dureza após recozimento
<b>Patim</b>	251,2	311,8	
<b>Boleto</b>	251,2	316,6	
<b>Alma</b>	249,4		201,9

**Fonte: Autoria própria.**

Pode ser observado que após o tratamento de têmpera obteve um aumento da dureza tanto no patim como no boleto. Na alma após o tratamento de recozimento (alívio de tensões) ocorreu a diminuição de dureza. Quanto maior a velocidade de resfriamento maior o aumento de dureza, por isso que com o resfriamento em óleo aumentou a dureza e com o resfriamento lento ocorreu a diminuição da mesma.

#### 4.3 Resistência a compressão

Alguns dados obtidos no ensaio de compressão estão apresentados na Tabela 11, como área da seção transversal, força máxima e tensão máxima. Na tabela as siglas CP1R, CP2R e CP3R referem-se aos corpos que foram recozidos, CP1S, CP2S e CP3S os corpos sem tratamento térmico e CP1T, CP2T e CP3T os corpos de prova que foi realizado tratamento de têmpera.

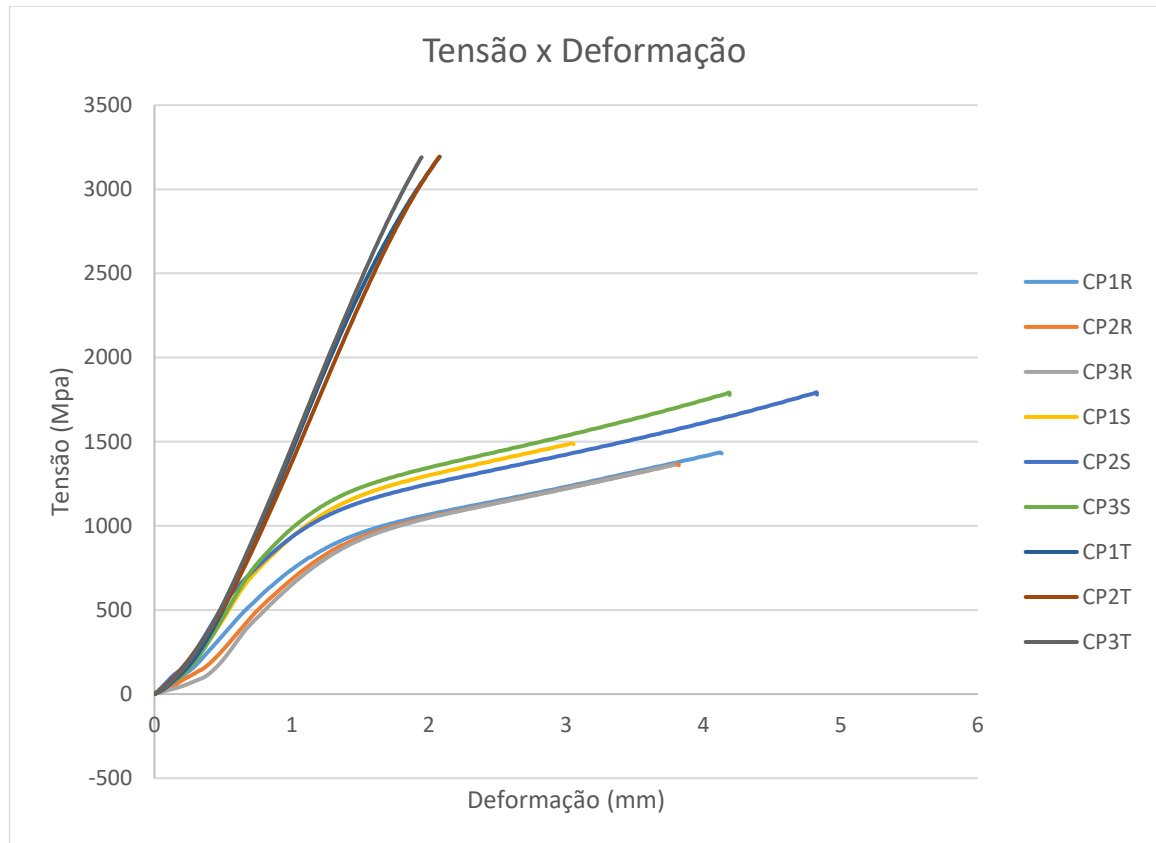
**Tabela 11 - Valores ensaio de compressão.**

Corpo de Prova	Área/ Seção (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)
CP1R	83,32	119645,65	1435,93
CP2R	83,32	113936,85	1367,41
CP3R	83,32	113479,31	1361,92
Média	83,32	115687,27	1388,42
CP1S	83,32	124189,81	1490,46
CP2S	83,32	149447,88	1793,60
CP3S	83,32	149302,30	1791,85
Média	83,32	140979,99	1691,97
CP1T	83,32	266046,75	3192,96
CP2T	83,32	266119,53	3193,84
CP3T	83,32	265807,59	3190,09
Média	83,32	265991,29	3192,30

Fonte: Autoria própria.

A partir destes valores foi gerado o gráfico, a Figura 24 apresenta o gráfico de tensão por deformação gerado pelos ensaios de compressão dos nove corpos de prova, sendo CP1R, CP2R e CP3R os corpos que foram recozidos, CP1S, CP2S e CP3S os corpos sem tratamento térmico e CP1T, CP2T e CP3T os corpos de prova que foi realizado tratamento de têmpera.

**Figura 24 - Gráfico Tensão x Deformação.**

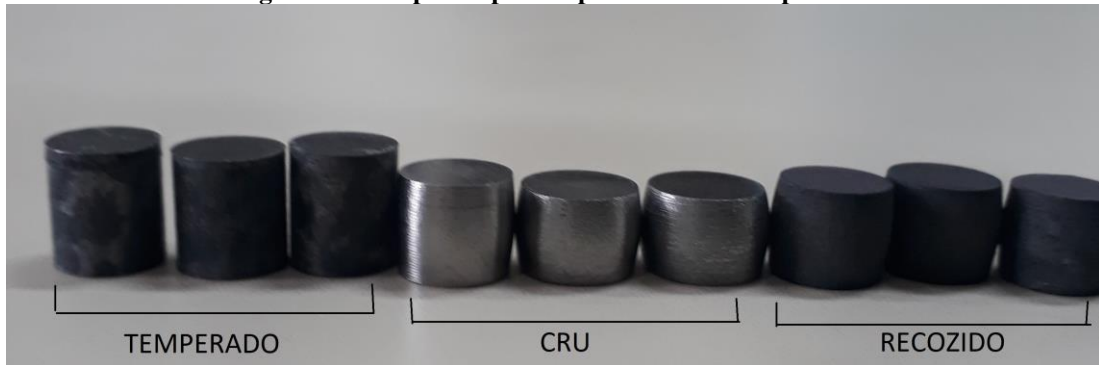


**Fonte: Autoria própria.**

Pode ser observado na Figura 24 que os corpos de prova sem tratamento (CP1S, CP2S e CP3S) resistiram a uma tensão um pouco maior que os corpos que foram recozidos (CP1R, CP2R e CP3R), ou seja, com o recozimento tanto a dureza como a resistência a compressão diminuíram. Já os corpos de prova realizado tratamento de têmpera (CP1T, CP2T e CP3T) obteve praticamente o dobro da resistência a compressão quando comparados aos sem tratamento.

Na Figura 25 pode ser observado os corpos de prova após o ensaio de compressão.

**Figura 25 - Corpos de prova após ensaio de compressão.**



**Fonte: Autorial própria.**

Pode ser observado que os primeiros três corpos de prova se mantiveram da mesma forma, não sofreram nem flambagem, nem embarrilamento e nem fratura, esses são os corpos que foram realizados tratamentos de tempera, e como mostrado anteriormente no gráfico obteve maior resistência. Já nos outros corpos de prova são os sem tratamento térmico e com recozimento, apresentam a deformação do tipo embarrilamento, onde o corpo de prova adquire o formato de um barril, esse formato surge por causa do atrito entre as placas da máquina e o corpo de prova durante a execução do ensaio de compressão. Os corpos de prova recozidos tiveram uma menor resistência a compressão, essa maior deformação a baixa tensão dos corpos recozidos em relação aos corpos sem tratamento está relacionada ao fato do recozimento aumentar a distância entre as lamelas de perlita como apresentado na microestrutura da Figura 23 deixando assim o material mais dúctil.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste trabalho, conclui-se:

- O tratamento térmico de têmpera realizado no trilho de trem obteve resultados que condizem com a literatura, como a microestrutura que apresentou uma pequena transformação mostrando semelhança a microestrutura da martensita. Assim, ocorreu também o aumento da dureza, não sendo um aumento tão significativo, isso devido a microestrutura não ser totalmente transformada em martensita.

- O tratamento de têmpera se mostrou muito satisfatório em relação a resistência de compressão, onde seus valores praticamente dobraram.

- O tratamento de recozimento (alívio de tensões) apresentou uma diminuição significativa na dureza. Já em relação a resistência, a compressão, ocorreu a diminuição porém ficou bem próxima do material sem tratamento. Através da micrografia pode ser observado a mesma microestrutura do material sem tratamento, porém, uma maior distância entre as lamelas de perlita que tornou o material mais dúctil.

## REFERÊNCIAS

- CALLISTER, W. D. J. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro. LTC. 2021. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637325/>. Acesso em: 11 mai. 2022.
- CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, 2008.
- CHIAVERINI, V. **Tratamento térmico das ligas metálicas**. São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, 2008.
- COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4ª edição. ed. [S. l.]: Blücher Ltda, 2008. 652 p. ISBN 978-85-212-0449-7.
- DNIT. **PIM 01**: Trilho para linha férrea. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/procedimentos-para-inspecao/pim-001-trilho-para-linha-ferrea.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- DNIT. **ISF-213**: Projeto de superestrutura da via permanente – trilhos e dormentes. Ferrovias Brasileiras. 2016a. Disponível em: Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/ferrovias-brasileiras>>. Acesso em: 02 mai. 2022
- DNIT. **Instituto Nacional de Pesquisas Ferroviárias**. 2016b. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/ferrovias/inpf>>. Acesso em: 02 mai. 2022.
- GARCIA, A; SPIM, J. A; SANTOS, C. A. **Ensaio dos Materiais**. 1ª edição. ed. [S. l.]: LTC, 2010.
- GARCIA, A; SPIM, J. A; SANTOS, C. A. **Ensaio dos Materiais**. 2ª edição. ed. [S. l.]: LTC, 2015. 365 p. ISBN 978-85-216-2067-9.
- IBGE. **O Brasil no mundo**. s/d. Disponível em: <<https://cnae.ibge.gov.br/en/component/content/article/94-7a12/7a12-vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/1461-o-brasil-no-mundo.html>>. Acesso em: 02 mai. 2022.
- PINEDO, C. E. **Tratamentos térmicos superficiais de aços**. São Paulo: Editora Blucher, 2021. 9786555062212. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555062212/>. Acesso em: 12 May 2022
- RIBEIRO, J. A. F; COSTA, D. S; SILVA, M. J. G. Caracterização Microestrutural do aço SAE 1080 após diferentes tratamentos térmicos. **Anais...** Enemet - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas. vol. 17, num. 1 (2017). Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/56890/1/2017\\_eve\\_jafribeiro.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/56890/1/2017_eve_jafribeiro.pdf)> Acesso em: 23 out. 2022.
- SEMPREBONE, P. S. **Desgastes em Trilhos Ferroviários**: Um estudo Teórico. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas – São Paulo, 2005.