

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○○○○

Avaliação de desgaste de materiais de rodas ferroviárias forjadas com microestruturas perlítica e bainítica

Henrique Abrantes Vitoi

Universidade Federal de Juiz de Fora

vitoi.henrique@engenharia.ufjf.br

11 de Julho de 2018

Sumário

1 Introdução

- Resumo
- Propósito do trabalho
- Objetivos

2 Fundamentação teórica

- Tribologia
- Rodas ferroviárias
- Ligas Ferro-Carbono

3 Metodologia

- Preparação das amostras
- Análise de dureza
- Micrografia
- Ensaio de Desgaste

4 Resultados e Análises

5 Conclusões

Resumo

Análise de desgaste

- Aço de composição próxima à eutetóide;
- Rodas forjadas;
- Microestruturas perlítica e bainítica
- Teste do tipo rolo contra disco.



Figura 1: Amostra perlítica.



Figura 2: Amostra bainítica.

Resumo

Tribômetro

Funcionamento:

- Tribômetro do tipo rolo contra disco;
- Análise de desgaste por perda de massa.

Principais partes:

- 1 Rolo (corpo);
- 2 Disco (contracorpo);
- 3 Pino de apoio de carga.

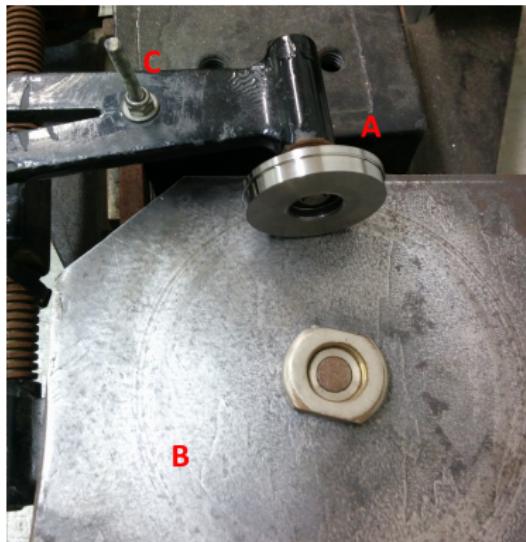


Figura 3: Partes do tribômetro.

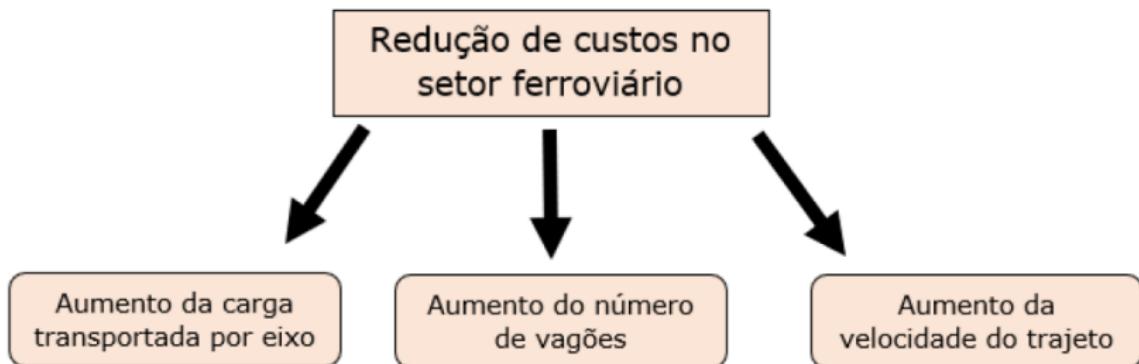
Tribômetro em funcionamento



Figura 4: Teste de desgaste em um tribômetro.

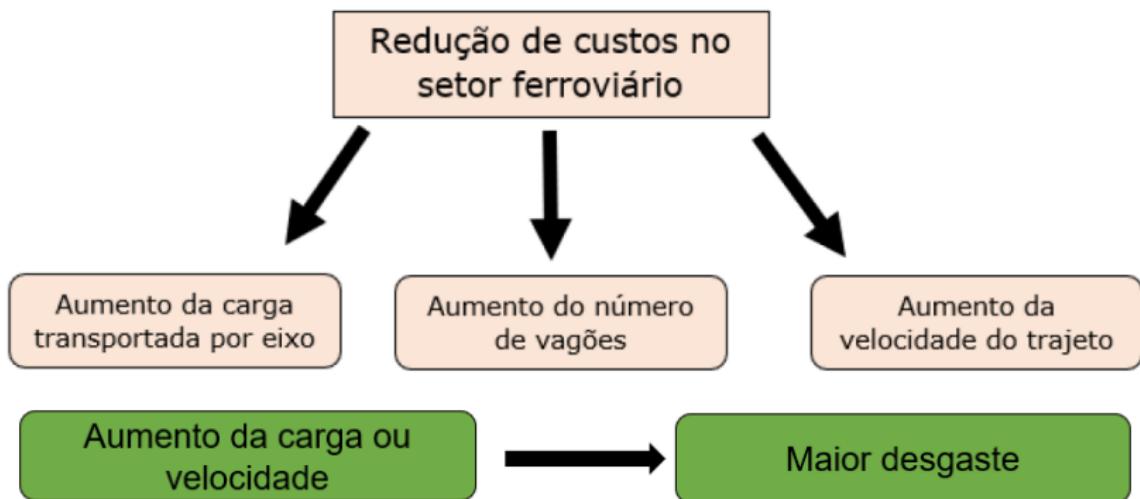
Propósito do trabalho

Redução de custos no setor ferroviário



Propósito do trabalho

Redução de custos no setor ferroviário



Propósito do trabalho

Gasto com manutenções e outros

O maior desgaste das partes mecânicas geram custos diretos e indiretos como:

- 1 Manutenção corretiva;

Propósito do trabalho

Gasto com manutenções e outros

O maior desgaste das partes mecânicas geram custo diretos e indiretos como:

- 1** Manutenção corretiva;
- 2** Manutenção preventiva;

Propósito do trabalho

Gasto com manutenções e outros

O maior desgaste das partes mecânicas geram custo diretos e indiretos como:

- 1 Manutenção corretiva;
- 2 Manutenção preventiva;
- 3 Acidentes;

Gasto com manutenções e outros

O maior desgaste das partes mecânicas geram custo diretos e indiretos como:

- 1 Manutenção corretiva;
- 2 Manutenção preventiva;
- 3 Acidentes;
- 4 Imagem da empresa;

Propósito do trabalho

Gasto com manutenções e outros

O maior desgaste das partes mecânicas geram custo diretos e indiretos como:

- 1 Manutenção corretiva;
- 2 Manutenção preventiva;
- 3 Acidentes;
- 4 Imagem da empresa;
- 5 ...

Propósito do trabalho

Importância da redução de custos

- Para empresas operando no nicho de logística em ferrovias, a redução de custos é essencial.
- Garante a competitividade de seus produtos e serviços.
- Determina a sobrevivência da empresa no mercado, cada vez mais competitivo.

Introdução

○○○
○○○○○○○○
●○○

Fundamentação teórica

○○○○
○○
○○○

Metodologia

○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises

○○○

Conclusões

○○○○○○○

Objetivos

Análise das microestruturas

Analisar o comportamento em desgaste a seco de materiais de rodas forjadas de mesma composição química e dureza, porém com diferentes microestruturas: perlítica e bainítica.

Introdução

○○○
○○○○○○○○
●●○

Fundamentação teórica

○○○○
○○
○○○

Metodologia

○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises

○○○

Conclusões

○○○○○○○

Objetivos

Análise das microestruturas

Analisar o comportamento em desgaste a seco de materiais de rodas forjadas de mesma composição química e dureza, porém com diferentes microestruturas: perlítica e bainítica.

Desgaste do aço eutetóide

Estudo de amostras de roda de aço de composição próxima a eutetóide, muito utilizadas nas aplicações de heavy haul, onde há altas cargas, tensões e esforços mecânicos envolvidos.

Objetivos

Análise das microestruturas

Analizar o comportamento em desgaste a seco de materiais de rodas forjadas de mesma composição química e dureza, porém com diferentes microestruturas: perlítica e bainítica.

Desgaste do aço eutetóide

Estudo de amostras de roda de aço de composição próxima a eutetóide, muito utilizadas nas aplicações de heavy haul, onde há altas cargas, tensões e esforços mecânicos envolvidos.

Orientar empresas

Orientar e sugerir aos fabricantes na indústria ferroviária e empresas operantes em ferrovias sobre qual microestrutura apresenta melhor comportamento em desgaste.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
●○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Tribologia

Conceito

- A tribologia é a ciência que estuda os fenômenos de fricção, desgaste e lubrificação
- A análise da interação entre a roda e o trilho ferroviário também é escopo de estudo da tribologia.

Fricção e movimentos relativos

A força de fricção pode ser definida como a resistência encontrada por um corpo ao se mover sobre outro. A fricção engloba duas importantes classes de movimento relativo:

- 1 Movimento de rolamento;
- 2 Movimento de deslizamento.

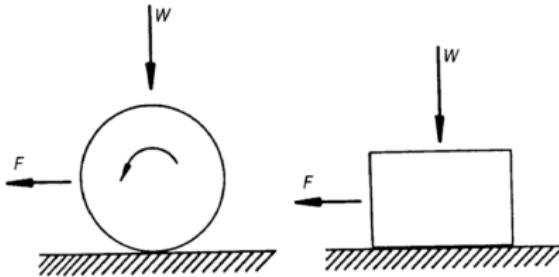


Figura 5: Movimentos de rolamento e deslizamento.

Análise de desgaste por deslizamento e rolamento

- Experimentações são feitas para estudar o desgaste por deslizamento e rolamento.
- Investigações em laboratório simulam aplicações práticas com diferentes variáveis.
- Visa a obtenção de taxas de desgaste e coeficientes de fricção para cada caso.

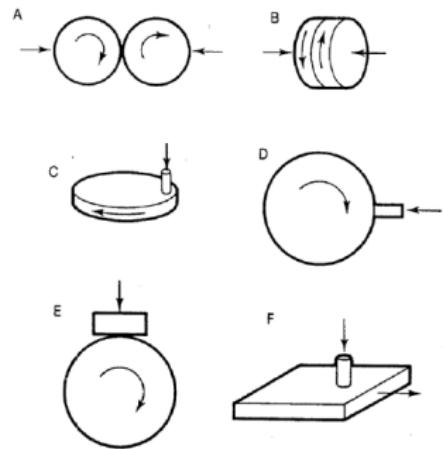


Figura 6: Geometrias empregadas em testes de desgaste.

A equação de desgaste de Archard

A taxa de desgaste é baseada a partir de uma simples teoria do desgaste: a equação de desgaste de Archard.

$$Q = K \frac{W}{H} \quad (1)$$

Onde:

Q: Taxa de desgaste (Volume de material perdido com o atrito);

K: Constante de severidade do desgaste;

W: Carga aplicada para o contato entre os corpos;

H: Dureza do material mais macio.

Rodas ferroviárias

Características relevantes da roda

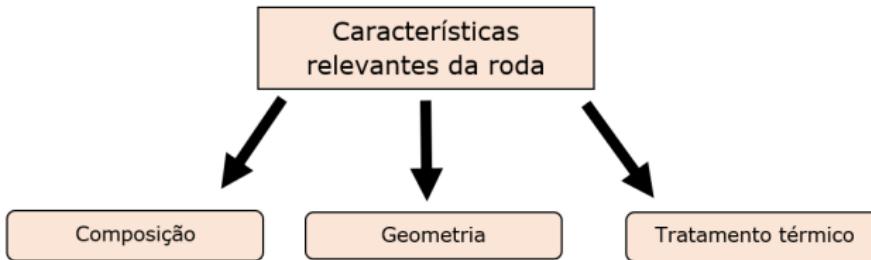


Figura 7: Características relevantes da roda ao se analisar desgaste.

Cada vez mais pesquisas são realizadas a fim de se aprimorar o sistema roda-trilho.

Rodas ferroviárias

Análise do impacto do tratamento térmico no desempenho da roda

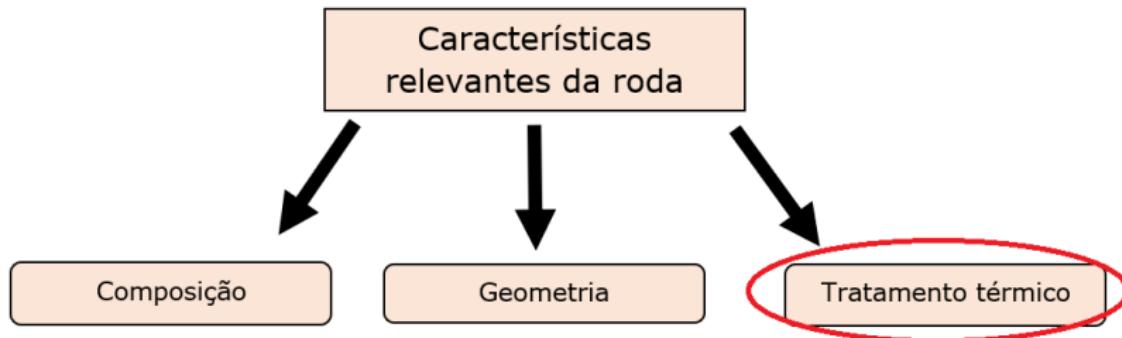


Figura 8: Características relevantes da roda ao se analisar desgaste.

Microestruturas do aço

- Dependendo da temperatura, da composição e do tratamento térmico utilizado, o aço pode apresentar diferentes microestruturas.

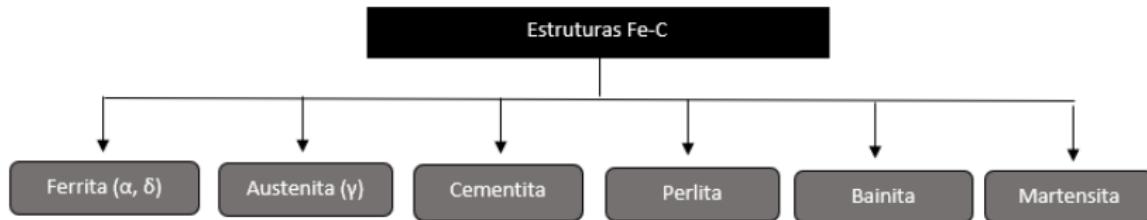


Figura 9: Algumas microestruturas comuns em aços.

Propriedades das microestruturas

- As propriedades de cada microestrutura são bem distintas entre si, apresentando cada uma aplicações diferentes.

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos microconstituintes do aço.

Constituinte	Limite de resistência à tração		Alongamento em 2" (%)	Dureza Brinell
	kgf/mm ²	MPa		
Ferrita	35	340	cerca de 40	90
Perlite	85	830	cerca de 10	250-300
Cementita	3	30	0	650

Perlita e Bainita

Microestrutura perlítica

- Macia e dúctil
- Resfriamento lento sob temperaturas de 700°C a 540°C



Microestrutura bainítica

- Mais dura, mas também possui boa tenacidade
- Tratamento austêmpera



Obtidas através de diferentes tratamentos térmicos.

Preparação das amostras

Local de retirada do material

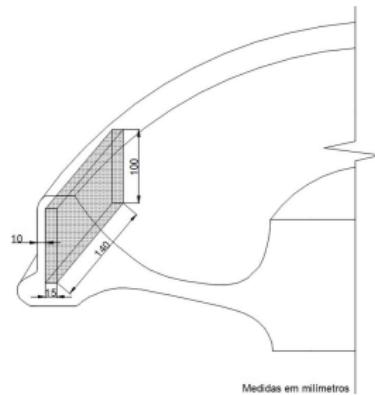
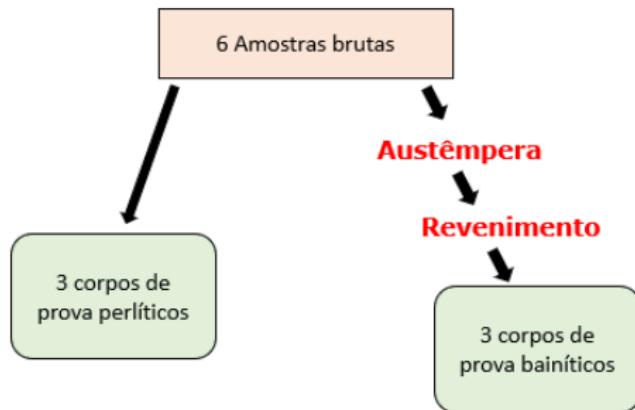


Figura 10: Desenho esquematizado do local de retirada do material.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○●○○○○○○
○○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Preparação das amostras

Espectrometria do material

Tabela 2: Composição química das amostras via Espectrômetro de Emissão Óptica

Elementos	Identificação das Amostras
Carbono (%)	0,760
Manganês (%)	0,846
Silício (%)	0,906
Fósforo(%)	0,014
Enxofre(%)	0,017
Cromo (%)	0,096
Molibdênio (%)	0,032
Níquel (%)	0,022
Alumínio (%)	0,004
Cobre (%)	0,034
Boro (%)	0,000
Vanádio (%)	0,002
Cobalto (%)	0,007

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○●○○○○○
○○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Preparação das amostras

Preparação das rodas perlíticas

- Usinagem do material para a fabricação de um disco de 42 mm de diâmetro e 6 mm.
- Usinagem de um chanfro para reduzir a área de contato a 2 mm.
- Acoplamento de um rolamento.

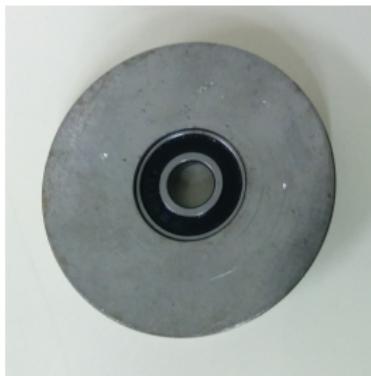


Figura 11: Amostras de perlita com rolamento.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○●○○○○
○○○○
○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Preparação das amostras

Preparação das rodas bainíticas

Tratamento térmico de austêmpera

- 1 Aquecimento do material a 900°C por 15 min;
- 2 Imergir o material em um banho de sais a 380°C por 5 min;
- 3 Resfriar sob temperatura ambiente.

Tabela 3: Parâmetros utilizados na austêmpera.

Austêmpera	
Temperatura de aquecimento	900°C
Tempo de aquecimento	15 min
Temperatura do banho	380°C
Tempo de resfriamento	5 min
Tipo de banho	Nitrato de potássio e nitrito de sódio

Preparação das amostras

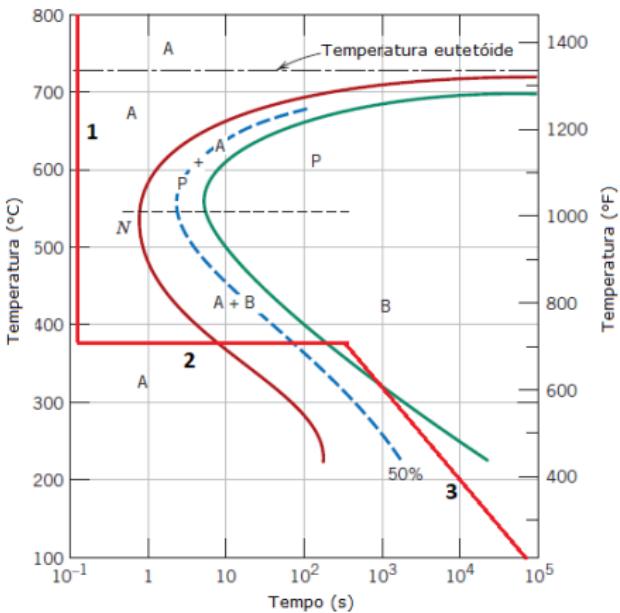


Figura 12: Diagrama TTT do aço eutetóide com representação da austêmpera.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○●○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Preparação das amostras

Preparação das rodas bainíticas



Figura 13: Sal utilizado para o banho.



Figura 14: Resfriamento da amostra no sal.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○●○
○○○○
○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Preparação das amostras

Preparação das rodas bainíticas

Controle de temperatura:

- Para o sal: através de um pirômetro portátil.
- Para a amostra: através do controle de temperatura da mufla



Figura 15: Pirômetro utilizado.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○●
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Preparação das amostras

Preparação das rodas bainíticas

Após o tratamento as amostras foram usinadas da mesma forma que as amostras perlíticas:

- 42 mm de diâmetro e 6 mm de espessura.
- Chanfros reduzindo a área de contato para 2 mm.



Figura 16: Amostra de bainita após o tratamento térmico.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
●○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Análise de dureza

Dureza pós-austêmpera

Tabela 4: Leituras obtidas para as amostras perlíticas e para as amostras bainíticas (pós tratamento de austêmpera).

Dureza (HRC)					
Amostra	Leitura	Média	Amostra	Leitura	Média
Perlita 1	40	40,3	Bainita 1	59	59,7
	40			60	
	41			60	
Perlita 2	40	40,3	Bainita 2	42	44,0
	40			45	
	41			45	
Perlita 3	41	40,7	Bainita 3	56	53,7
	41			52	
	40			53	

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○●○○○
○○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Análise de dureza

Dureza pós-austêmpera

- O tratamento de austêmpera elevou consideravelmente a dureza dessas amostras bainíticas
- Sem uma dureza comum, não é possível comparar dois materiais em desgaste, conforme a Equação de Archard

$$Q = K \frac{W}{H} \quad (2)$$

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○●○○
○○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○○○○

Análise de dureza

Revenido

- Realizou-se o processo de revenimento nos corpos de prova que foram austemperados, que se consiste em reaquecer o corpo de prova a uma temperatura muito inferior à da fase de austenitização e manter sob tal temperatura por um intervalo de tempo.
- Os materiais permaneceram no forno por 20 min e, logo em seguida, foram resfriados com água, para evitar a fragilização no revenido.

Análise de dureza

Revenido

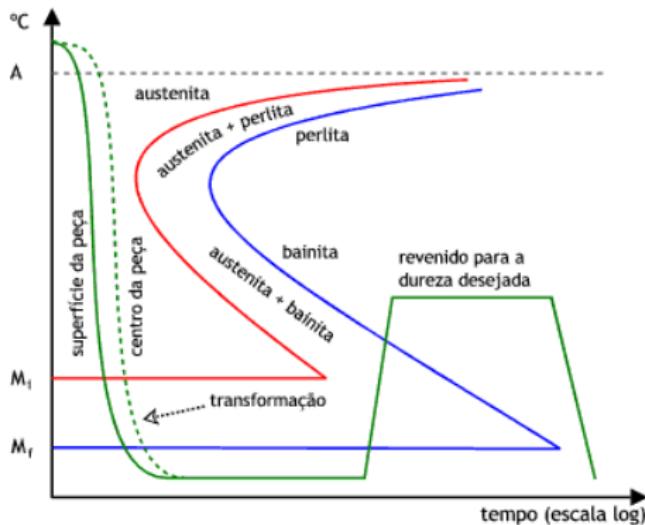


Figura 17: Diagrama TTT representando o processo de revenimento das amostras bainíticas.

Análise de dureza

Dureza pós-revenido

Tabela 5: Valores de dureza obtidos para as amostras perlíticas, bainíticas pós-revenimento e para o contracorpo.

Dureza (HRC)								
Amostra	Leitura	Média	Amostra	Leitura	Média	Amostra	Leitura	Média
Perlita 1	40,0	39,9	Bainita 1	38,5	40,5	Contracorpo	43,5	41,3
	41,0			41,0			40,0	
	39,0			41,0			41,5	
	39,5			41,5			41,5	
Perlita 2	38,0	39,6	Bainita 2	38,0	36,9	Contracorpo	40,0	41,3
	39,0			37,0			41,5	
	40,0			36,5			40,0	
	41,5			36,0			40,0	
Perlita 3	40,5	40,6	Bainita 3	40,0	40,9	Contracorpo	41,3	41,5
	41,0			40,0			41,5	
	41,0			41,0			40,0	
	40,0			42,5			40,0	

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
●○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○○○○

Micrografia

Análise da superfície das amostras

Objetivos:

- 1 Investigar os detalhes da microestrutura das amostras bainíticas e perlíticas;
- 2 Assegurar que o tratamento térmico das amostras bainíticas foi realizado de maneira correta;
- 3 Certificar-se que a microestrutura original das amostras é de fato a perlita.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○●○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○○○○

Micrografia

Corte das amostras para micrografia

- Uma das três amostras de cada microestrutura foi cortada para analisar sua superfície.
- O corte foi feito estrategicamente para uma observação da forma e tamanho do grão no centro do corpo de prova.
- Foi realizada a microscopia eletrônica de varredura.



Figura 18: Esquema de corte na amostra perlítica e bainítica para análise.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○●○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Micrografia

Micrografia da amostra bainítica

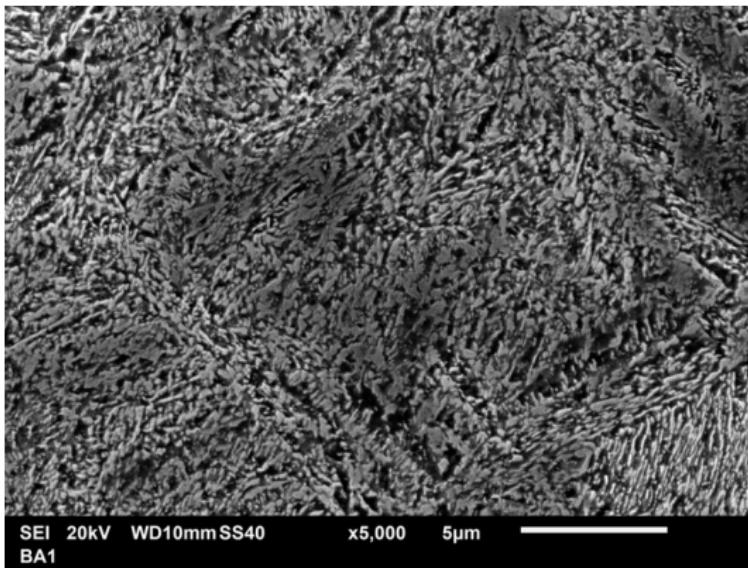


Figura 19: Micrografia da amostra bainítica com ampliação de 5000x.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○●○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○○○○

Micrografia

Amostra bainítica - Comparação com a bibliografia

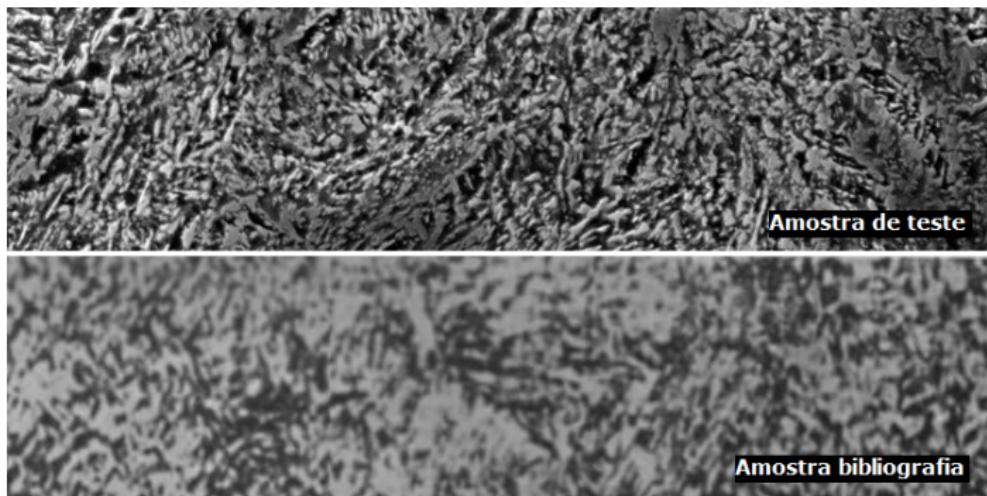


Figura 20: Comparação entre a micrografia obtida e a bibliografia.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○○
○○○○●○
○○○○

Resultados e Análises
○○○○

Conclusões
○○○○○○○

Micrografia

Micrografia da amostra perlítica

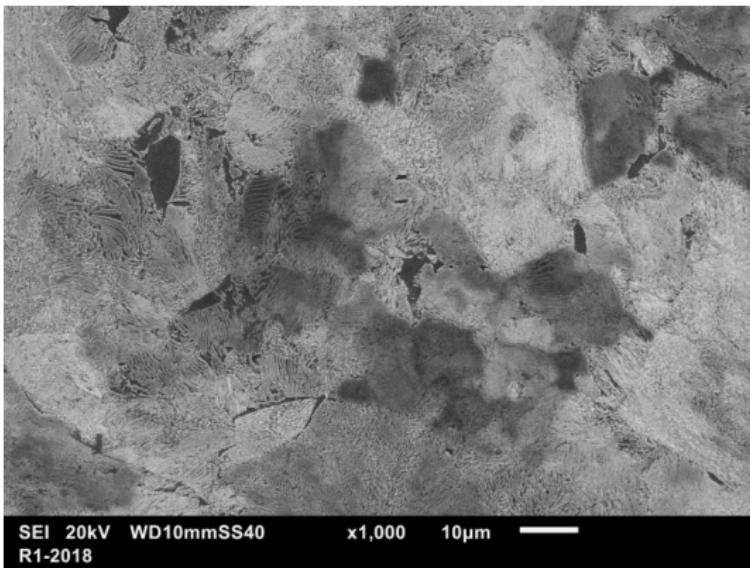


Figura 21: Micrografia da amostra perlítica com ampliação de 1000x.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○○
○○○○●
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○○○○

Micrografia

Amostra perlítica - Comparação com a bibliografia

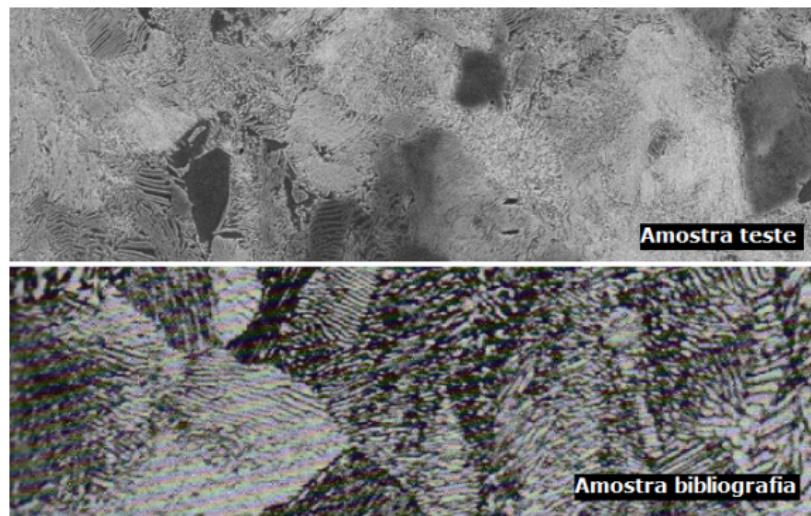


Figura 22: Comparação entre a micrografia obtida e a bibliografia.

Ensaio de Desgaste

Esquema de teste de cada amostra

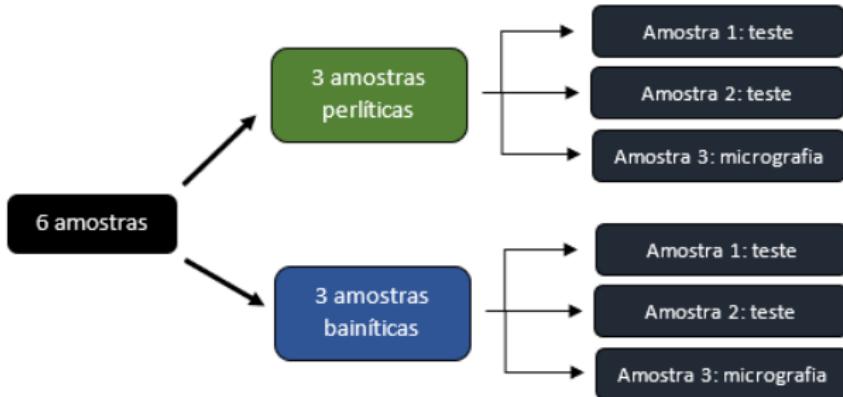


Figura 23: Esquema de utilização de cada amostra.

Ensaio de Desgaste

Teste de desgaste

Tabela 6: Constantes utilizadas no cálculo da taxa de desgaste.

Constantes	
Rotação (n) [rpm]	433
Distância do centro (r) [m]	0,042
Tempo (t) [h]	1
Massa (carga) [kg]	5



Figura 24: Amostra em teste no tribômetro.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○
○○●○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○○○○

Ensaio de Desgaste

Equipamentos para a correta aferição da perda de massa



Figura 25: Ultrassom.



Figura 26: Balança analítica.

Introdução

○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica

○○○○
○○
○○○

Metodologia

○○○○○○○○
○○○○○
○○○○○
○○○●

Resultados e Análises

○○○○

Conclusões

○○○○○○○

Ensaio de Desgaste

Dados obtidos

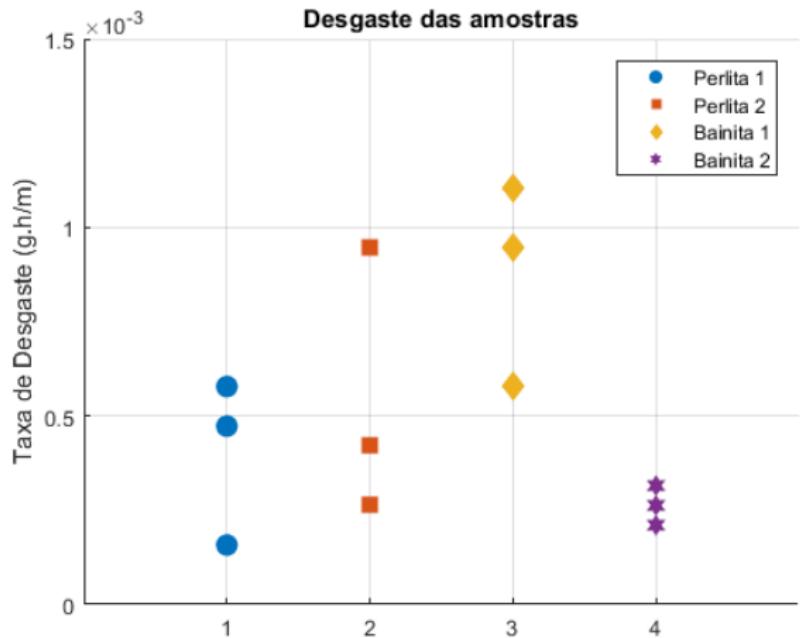
Perita 1						
Carga	Leitura	Massa da amostra (g)	Perda de massa (g)	Taxa de desgaste (g.h/m)	Taxa de desgaste média (g.h/m)	Desvio padrão (g.h/m)
-	-	59,7719	-	-	-	-
5kg	1	59,7708	0,0011	5,78E-04		
	2	59,7705	0,0003	1,58E-04	4,03E-04	2,19E-04
	3	59,7696	0,0009	4,73E-04		

Perita 2						
Carga	Leitura	Massa da amostra (g)	Perda de massa (g)	Taxa de desgaste (g.h/m)	Taxa de desgaste média (g.h/m)	Desvio padrão (g.h/m)
-	-	59,5556	-	-	-	-
5kg	1	59,5538	0,0018	9,46E-04		
	2	59,5533	0,0005	2,63E-04	5,43E-04	3,58E-04
	3	59,5525	0,0008	4,20E-04		

Bainita 1						
Carga	Leitura	Massa da amostra (g)	Perda de massa (g)	Taxa de desgaste (g.h/m)	Taxa de desgaste média (g.h/m)	Desvio padrão (g.h/m)
-	-	53,4592	-	-	-	-
5kg	1	53,4581	0,0011	5,78E-04		
	2	53,456	0,0021	1,10E-03	8,76E-04	2,70E-04
	3	53,4542	0,0018	9,46E-04		

Bainita 2						
Carga	Leitura	Massa da amostra (g)	Perda de massa (g)	Taxa de desgaste (g.h/m)	Taxa de desgaste média (g.h/m)	Desvio padrão (g.h/m)
-	-	50,3032	-	-	-	-
5kg	1	50,3028	0,0004	2,10E-04		
	2	50,3023	0,0005	2,63E-04	2,63E-04	5,25E-05
	3	50,3017	0,0006	3,15E-04		

Gráfico dos dados de desgaste



Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

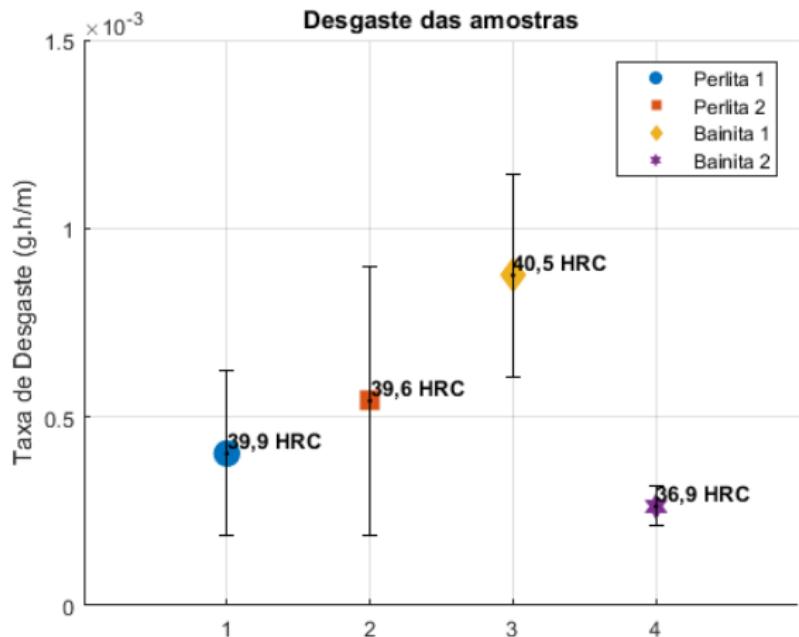
Resultados e Análises
○●○○

Conclusões
○○○○○○○

Análise

- As taxas de desgaste apresentaram valores bastante variáveis, mesmo quando analisando cada amostra individualmente.
- Não há constância de valores, com exceção da amostra Bainita 2.
- Mesmo dentro da mesma categoria de microestrutura os resultados são divergentes.

Média dos testes e desvio padrão



Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○●

Conclusões
○○○○○○○

Análise

- Alto desvio padrão para todas as amostras, exceto para a amostra Bainita 2
- Resultados não satisfatórios a fim de comparação das duas microestruturas.

A partir das análises dos resultados dos gráficos é possível deduzir que o método de avaliação de desgaste adotado neste trabalho de pesquisa não é adequado.

- Tal inconformidade de resultados pode ter ocorrido pelos seguintes motivos:

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○●○○○○○

A carga aplicada entre o contato roda-trilho é muito baixa

A espessura da área de rolamento foi reduzida a 2 mm através usinagem de chanfros na pista de rolamento e a carga utilizada foi a do peso de 5 kg, maior peso disponível no laboratório para o tribômetro. Apesar disso, as tensões impostas nos corpos de provas, mesmo em miniaturas, são muito inferiores a tais percebidas em aplicações reais no transporte de minério de ferro. Com tensões próximas às tensões reais, as perdas de massa seriam bem mais significativas.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○●○○○○

A balança não pode captar somente a perda de massa devido ao desgaste

As aferições de massa foram realizadas em balanças analíticas, com precisão de 0,0001 g. Todavia, é possível que as perdas de massa por desgaste para a carga aplicada sejam tão ínfimas que não possam ser perfeitamente captadas pela balança.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○●○○○

O ambiente externo interfere na massa da amostra

Como as perdas de massa são muito pequenas, a própria interação do ambiente com o corpo de prova pode alterar sua massa. Tal interação prejudica a observação da perda de massa por desgaste. Apesar de ser sido realizada a lavagem ultrassônica em todos os corpos de prova antes da aferição de massa, a amostra pode, com mais ou menos intensidade, ter adquirido partículas do ar ou dos dedos do manuseador no deslocamento da lavadora até a balança. Além disso, outro fenômeno de interação com o ambiente que ocorre e pode resultar em alterações de massa é a oxidação gradual do metal com o ar atmosférico.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○●○○

O tempo de rolamento não é suficiente

O intervalo de teste adotado no tribômetro foi de 1 hora. Esse intervalo de tempo pode não ser suficiente para uma perda de massa por desgaste significativa. Uma maior perda de massa por desgaste através do aumento do tempo de teste reduziria a influência de outras variáveis na variação da massa.

Introdução
○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica
○○○○
○○
○○○

Metodologia
○○○○○○○○
○○○○
○○○○
○○○○

Resultados e Análises
○○○

Conclusões
○○○○●○

Desgaste de forma aleatória

O fenômeno de desgaste ocorreu de forma não linear. As massas perdidas através das tensões do contato roda-trilho não são constantes. Detritos maiores podem se quebrar da amostra de forma repentina, assim como durante um longo intervalo pode nenhuma partícula se soltar. Para reduzir esses efeitos na avaliação do real desgaste, longos intervalos de tempo de testes seriam necessários.

Introdução

○○○
○○○○○○○○
○○○

Fundamentação teórica

○○○○
○○
○○○

Metodologia

○○○○○○○○
○○○○
○○○○○
○○○○

Resultados e Análises

○○○

Conclusões

○○○○○●

Obrigado