

ANÁLISE TRIBOLÓGICA DE CHAPAS DE DESGASTE DE MOEGAS DO UM VIRADOR DE VAGÕES*

Cíntia Nunes Braga Regattieri¹

Diego Rafael Silva²

Guilherme Pereira de Oliveira³

André Luíz Silva⁴

Resumo

O virador de vagões é a primeira máquina a realizar o trabalho dentro do processo produtivo de exportação do minério de ferro. Ela tem a função de retirar o produto de dentro de cada vagão de trem o qual transporta o minério diretamente das minas. Dentro do sistema de engenharia, há a padronização de como é dividido o virador de vagões. Os sistemas dessa máquina são o carro empurrador, que tem um braço mecânico que posiciona o vagão para ser virado, a trava para travar o trem, o giro, composto principalmente por anéis de giro e grampos que fazem o vagão virar, e o alimentador de sapatas, que é a parte onde o minério cai e assim direciona para a correia transportadora. As chapas de desgaste são montadas em moegas, de altura de aproximadamente 1117 mm abaixo do virador de vagão em 47 posições. Estas chapas sofrem impacto e desgaste por abrasão em um local de difícil acesso. Para reduzir as intervenções de manutenção foi estudado em laboratório um material com melhor resistência ao impacto, mas também com boa resistência a abrasão, sendo depois testado na moega do virador de vagão comparando seu desempenho com a chapa original.

Palavras-chave: Virador de Vagão; Chapas de Desgaste; Abrasão; Resistência ao Impacto.

TRIBOLOGICAL ANALYSIS OF WEAR PLATES IN A HOPPER OF A CAR DUMPER

Abstract

The car dumper is the first equipment to perform work in the iron ore export production process. Its function is to remove the iron ore from each train wagon, which transports it directly from the mines to the harbor. Within the engineering system has a standardization of how the car dumper is divided. The systems of this machine are the pusher car, which has a mechanical arm that positions the wagon to be dumped; the train locker; the rotation device is mainly composed by rotational rings and clamps, that make the wagon tip; the feeder, where the ore falls and is directed to the conveyor belt. The wear plates are assembled in the hoppers at a height of about 1117 mm below the car dumper in 47 positions. These plates experience impact and abrasion wear in a location difficult to be reached. To reduce maintenance a material with higher impact resistance and a good abrasion resistance was developed in laboratory and latter tested in the hopper, the performance is evaluated against the original plate.

Keywords: Car dumper; Wear Plates; Abrasion, Impact Resistance.

¹ Engenheira Mecânica, mestra e doutoranda em Engenharia de Materiais. Engenheira Master, Vale S/A., Engenharia Porto Sudeste. Vitória. Espírito Santo. Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Inspetor de manutenção especializado, Vale S/A., Gerência de Inspeção Porto Sudeste. Vitória. Espírito Santo. Brasil.

³ Engenheiro Mecânico, mestre e doutorando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Engenheiro Master, Vale S/A., Engenharia Porto Sudeste. Vitória. Espírito Santo. Brasil.

⁴ Engenheiro Mecânico. Gerente Comercial Mining Regional, WEIR ESCO, Betim, Minas Gerais. Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A importância econômica da tribologia e a grande necessidade por uma pesquisa sistemática, com o aprimoramento da transferência do conhecimento teórico para a prática, estão sendo reconhecidas nas últimas décadas.

Estudos realizados pela ASME nos Estados Unidos apontam uma perda econômica de 1% a 2,5% do produto interno bruto devido ao desgaste. Na Alemanha, uma pesquisa da década de 80 revela que desgaste e corrosão juntos contribuem com a perda de 4,5% do produto interno bruto [1]. Com a crescente produção industrial nas últimas décadas, estima-se que o potencial de perdas econômicas devido ao desgaste tenha aumentado proporcionalmente nas indústrias. Para compreender o impacto econômico ocorrido devido a perdas por desgaste, a Figura 1 apresenta a importância relativa do desgaste na economia. Deve-se considerar que a fricção e o desgaste não são apenas propriedades dos materiais, mas resultam de características dos sistemas de engenharia (tribosistema), uma vez que fricção é a resistência ao movimento e cresce com as interações dos sólidos e com a real área de contato. Fricção e desgaste são respectivamente causas sérias de dissipação de energia e perda de material. O desgaste é consequência de uma desintegração da interação entre componentes, como resultado de uma tensão do material nas vizinhanças da superfície.

Em um componente, o desgaste pode ser ou não catastrófico, mas na maioria das vezes, leva a perda de eficiência, causa vibração e desalinhamento. Em casos extremos, algumas falhas causadas por desgaste podem levar a fratura e os fragmentos formados normalmente podem danificar o equipamento.

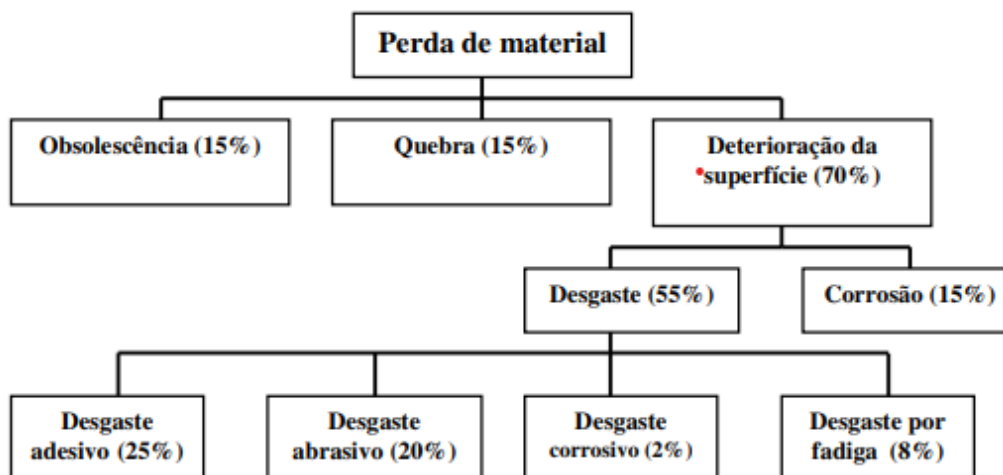


Figura 1. Causas de falha e sua perda relativa sobre a economia [2].

As perdas econômicas relacionadas ao desgaste podem ser reduzidas por otimização da planta da organização e por adequado projeto, produção, montagem e aplicação. O controle do custo do desgaste pode começar com o processo de produção correto para fabricação do produto, o que inclui a escolha do equipamento e o local de instalação, questões de padronização e estoque, Figura 2.

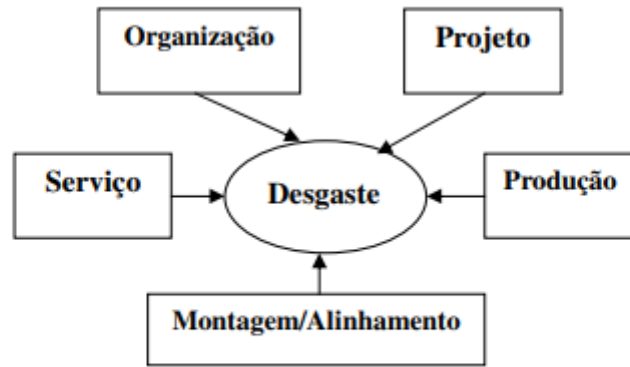


Figura 2. Fatores que influenciam no desgaste de estruturas [1].

O projeto pode efetivamente reduzir o desgaste do componente ao otimizar a transferência de carga e movimento, permitindo apenas baixa tensão, usando material apropriado e lubrificante em função da carga, temperatura e ambiente. As partes em desgaste podem ser projetadas para fácil recolocação.

As condições de trabalho de um componente dependem do tipo e da qualidade da produção. O grau de precisão da forma, tamanho e perfil de superfície e rugosidade exerce influência sobre a fricção e o desgaste. No entanto, a vida em serviço depende também da precisão da montagem, alinhamento exato, limpeza e cuidado com a superfície do componente.

Durante o serviço, os custos devido à fricção e desgaste podem ser reduzidos através do controle das condições de trabalho e vibração, limpeza do ambiente, manutenção e reparos [1].

Sendo assim o estudo dos fatores que contribuem para o desgaste se faz necessário para prever a ocorrência dos mecanismos de desgaste. Os principais fatores de desgaste são:

- Variáveis metalúrgicas: Composição química e microestrutura.
- Variáveis de processo: Materiais em contato, pressão, velocidade, temperatura e acabamento superficial.
- Outros fatores: Lubrificação, corrosão.

O conhecimento da microestrutura do componente e sua influência na resistência ao desgaste são de grande importância na seleção de materiais. Aspectos microestruturais, como por exemplo, defeitos cristalinos como vacâncias, discordâncias, contornos de grão, partículas de segunda fase etc., podem afetar sensivelmente o desgaste dos componentes. Através da composição química não se pode definir a microestrutura do material, porém a mesma pode ser alterada severamente através de tratamentos mecânicos, térmicos e termomecânicos.

A seleção de materiais resistentes à abrasão baseia-se, principalmente, em suas características mecânicas [3]. A dureza é geralmente considerada uma propriedade importante para aplicações que requeiram elevada resistência à abrasão. No entanto, apenas para materiais monofásicos e alguns tipos de aços esta correlação entre dureza e resistência a abrasão é verificada, pois para estruturas polifásicas,

como os aços e ferros fundidos ligados, os fatores determinantes são, por exemplo, o teor de carbono e a microestrutura [4].

Podem existir grandes diferenças na resistência à abrasão, para um mesmo valor de dureza. A resistência ao desgaste dos ferros fundidos e dos aços muito duros pode diminuir com o aumento excessivo da dureza. Nestes casos, a tenacidade à fratura é uma propriedade que deve ser considerada. Além disso, a tenacidade à fratura deve ser acoplada à carga normal, tamanho e angulosidade das partículas abrasivas [4].

O teste foi desenvolvido e aplicado em um virador de vagões conforme Figura 03 e dados técnicos abaixo.

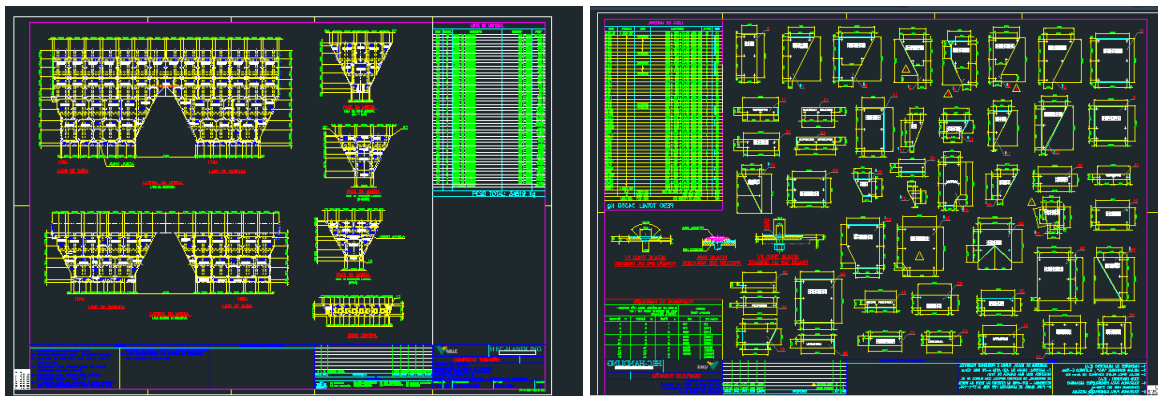


Figura 3. Projeto da moega e das chapas de desgaste no virador de vagão.

Dados Técnicos dos Viradores de Vagões:

- Taxa de Descarga dos Vagões: 90 Vagões/h;
- Capacidade média de Carga dos Vagões: 80 ton;
- Tara dos Vagões: 18 ton;
- Nº Máximo de Vagões por Trem: 90 Unid;
- Capacidade de Carga dos VV's: 2 x 110 ton/ciclo;
- Ciclo médio de Descarga: 80 seg;
- Material Transportado: Pelota, Fino de Minério e granulado;
- Capacidade dos Alimentadores: 4.000 t/h;
- Comprimento útil das guias dos alimentadores: aprox. 5,35 m

Esta posição da chapa foi escolhida por ser um local onde tem abrasão severa e impacto moderado. Outro fator determinante desta análise foi a utilização de um material que apresentava vida útil relativamente baixa, variando de 4 a 6 meses de uso em operação. Trata-se de chapas bimetálicas com revestimento duro composto por cromo, nióbio e boro e dureza de 60 a 65 HRC na espessura de 19mm sendo 7mm de camada dura.

Para o desenvolvimento do teste é de extrema importância compreender o mecanismo, a fim de reduzir a intervenção realizada através de manutenção preventiva, diminuindo a necessidade atual de 06 meses para cerca de 01 ano e, como consequência obter uma redução da mão de obra necessária para esta atividade mitigando exposição ao risco.

Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma chapa de desgaste para a redução das intervenções de manutenção e consecutivamente exposição ao risco, facilidade na execução da manutenção e conseqüentemente redução de custo. Também garantir uma montagem correta e a ausência de problemas associados à fixação. Além disso foram avaliados a resistência ao atrito, ao desgaste e ao impacto.

2 SOLUÇÃO PROPOSTA

Realizado o estudo de tribologia para identificar os micromecanismos de desgastes das chapas desgastadas, onde foi escolhido o tribômetro utilizado nesta avaliação dos testes em laboratório.

Para analisar o melhor material a ser testado em campo foi realizada uma avaliação de diversos materiais Chapas revestidas por solda, Chapas de desgaste fundidas e Chapas de desgaste com chocky bar com o objetivo de realizar um ranking de fornecedores conforme esta aplicação de acordo com os ensaios abaixo:

- 2 Análises químicas via espectrometria de emissão óptica por centelhamento, material base e solda;
- 1 Análise de dureza Rockwell, ASTM E18-16, revestimento;
- 2 Análises micrográficas ópticas, material base e revestimento;
- 1 Perfil de microdureza Vickers, ASTM E384-16;
- 9 ensaios de desgaste abrasivo Roda de Borracha, ASTM G65-16, procedimento B, sendo 3 ensaios na superfície, 3 a meia altura do revestimento e 3 próximos da interface;
- 3 ensaios de desgaste por impacto repetitivo, E=1J, 1000 ciclos de impacto.

O ensaio de desgaste utilizado foi do tipo roda de borracha, norma ASTM G65-04 (2016), procedimento B, d = 1436m (2000 revoluções), carga de 130N, fluxo de areia de quartzo AFS 30/40 de 400g/min. O desempenho do sistema tribológico roda/areia foi periodicamente checado no início e fim de cada rodada de ensaios e nas trocas de rodas, por meio do padrão de aço AISI H13, temperado e revenido, para dureza de 48 HRC. Na Figura 4, pode ser visto os valores obtidos de resistência ao desgaste das chapas revestidas por solda ou por fundido ou chocky bar.

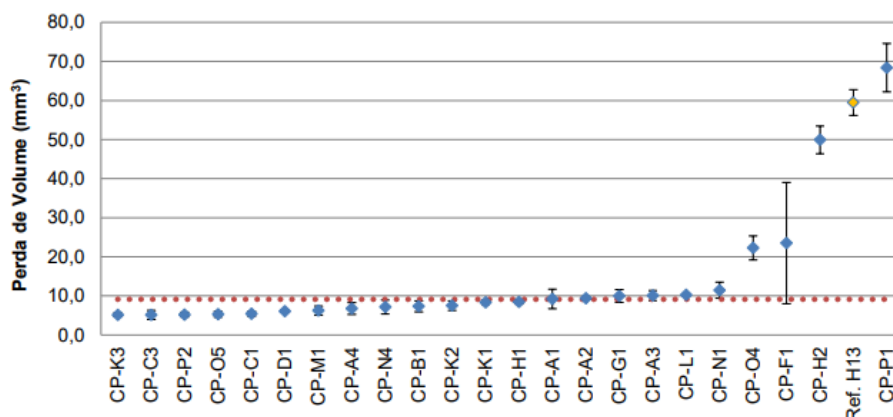


Figura 4. Valor médio da perda de volume por material.

Os corpos de prova CP-K3, C3, P2, O5, C1, D1, M1, A4, N4, B1, K2, K1 e H1 apresentaram os melhores resultados de desgaste com valores médios de perda de volume abaixo da média geral de 9,1 mm³.

No que diz respeito às aplicações industriais das ligas de abrasão de alto teor de cromo, os materiais hipoeutéticos de baixo teor de carbono (2 a 3% C) são geralmente selecionados para situações que envolvem abrasão e impacto moderados, enquanto a hipereutética com maior carbono (4 a 6% C) são usadas em aplicações que envolvem abrasão severa e pouco ou nenhum impacto.

Com o objetivo de conhecer a resistência de impacto desses revestimentos para entender suas limitações para este tipo de solicitação mecânica, foi realizado um ensaio de impacto repetitivo (1000 golpes) com energia de impacto de 2 J utilizando esfera de rolamento de 40 mm de diâmetro. Entretanto, não foi possível obter resultados de perda de massa após ensaios de impacto repetitivo. Logo, os resultados foram avaliados por análise visual e medida de diâmetro da calota gerada pelo impacto, vide Figura 5.

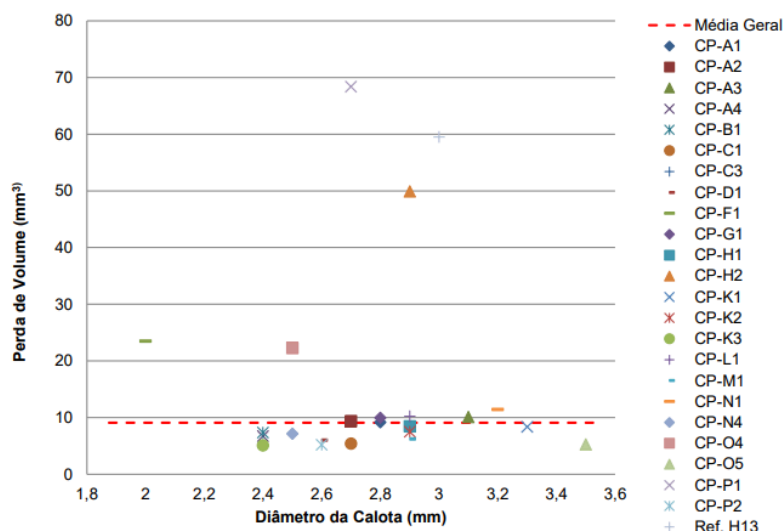


Figura 5. Perda de volume versus resultados dos ensaios de impacto repetitivos.

Os materiais com menores valores de perda de volume e maiores valores no diâmetro da calota gerada na superfície do revestimento, provavelmente terão os melhores resultados em aplicações com abrasão e impacto moderados. Podendo ser explicado pelo fato de que os materiais que possuam a ductilidade suficiente para absorver o impacto apresentarão uma melhor resistência se comparado aos que se possuem essa propriedade reduzida. Materiais com estas características, ao receberem uma pancada ou uma carga concentrada, deformam-se por expansão, aumentando a área de contato. Desta forma, a carga unitária é diminuída, fazendo com que a resistência à ruptura, sob compressão, não seja ultrapassada.

A baixa perda de massa dos materiais no regime moderado de abrasão, ocorre pela presença de segunda fase dura em sua microestrutura, onde esta segunda fase atua como barreira ao dano causado pela partícula abrasiva.

A quantidade, o tamanho e a distribuição de carbonetos em uma microestrutura de aço têm uma influência distinta sobre a resistência ao desgaste. Para a maior parte,

a resistência ao desgaste aumenta à medida que a quantidade ou o tamanho das partículas de carboneto na superfície de desgaste aumenta.

Segue na Tabela 1 o resumo dos resultados para as chapas revestidas por solda ou por fundido ou chockybar que foram submetidas à caracterização em ensaio de laboratório.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização das chapas de aço.

Código para Laboratório	Dureza (HRC)	Perda de volume Média (mm ³)	Resistência Relativa ao Desgaste (H13 =1)	Espessura do Revestimento Efetivo (mm)	Diâmetro da Calota (mm)
CP-C3	70	5,1 ± 1,2	0,09	7,10	2,40
CP-K3	66,2	5,1 ± 0,5	0,09	13,10	2,40
CP-P2	60,6	5,2 ± 0,6	0,09	13,80	2,60
CP-O5	66,6	5,3 ± 0,7	0,09	13,60	3,50
CP-C1	68,8	5,4 ± 0,6	0,09	4,10	2,70
CP-D1	60,6	6,0 ± 0,3	0,10	8,10	2,60
CP-M1	63	6,3 ± 1,2	0,11	14,10	2,90
CP-A4	66	6,8 ± 1,5	0,11	5,60	2,40
CP-N4	60,8	7,2 ± 1,8	0,12	10,10	2,50
CP-B1	62	7,4 ± 1,4	0,12	12,40	2,40
CP-K2	60,8	7,5 ± 1,2	0,13	5,10	2,90
CP-K1	63,6	8,4 ± 0,5	0,14	13,10	3,30
CP-H1	64	8,5 ± 0,6	0,14	3,60	2,90
CP-A1	59,2	9,2 ± 2,5	0,15	5,60	2,80
CP-A2	60	9,4 ± 0,3	0,16	5,10	2,70
CP-G1	64,6	10,0 ± 1,6	0,17	13,80	2,80
CP-A3	64	10,1 ± 1,3	0,17	13,40	3,10
CP-L1	62,2	10,2 ± 0,2	0,17	7,10	2,90
CP-N1	53,6	11,5 ± 2,1	0,19	9,10	3,20
CP-O4	59,2	22,3 ± 3,0	0,37	7,60	2,50
CP-F1	(Inserto) 71,4 (Matriz) 46,4	23,5 ± 15,5	0,39	3,70	2,00
CP-H2	38,6	49,9 ± 3,5	0,84	7,10	2,90
CP-P1	45,8	68,4 ± 6,2	1,15	13,20	2,70

Nota: A perda de massa do aço H13 foi atribuída a um valor de 1, taxas inferiores a 1 indicam um material resistente ao desgaste e taxas superiores a 1 indicam um material menos resistente ao desgaste.

A região demarcada em vermelho na Tabela 1 apresenta os materiais aprovados para o teste em campo. Onde as mesmas deverão ser avaliadas de acordo com o tipo e regime de severidade do desgaste, como também facilidade no escoamento do minério.

O material CP05 foi o que apresentou uma ótima resistência ao desgaste associado ao maior diâmetro da calota sendo este o material escolhido para o teste em campo. O CP05 é um ferro fundido branco hipoeutético com carbonetos de cromo/molibdênio dispersos em uma matriz martensítica. Foi realizado o perfil de microdureza Vickers nos revestimentos, conforme norma ASTM E384-17, com o objetivo de avaliar a espessura efetiva do revestimento submetido aos ensaios de laboratório (Figura 6).

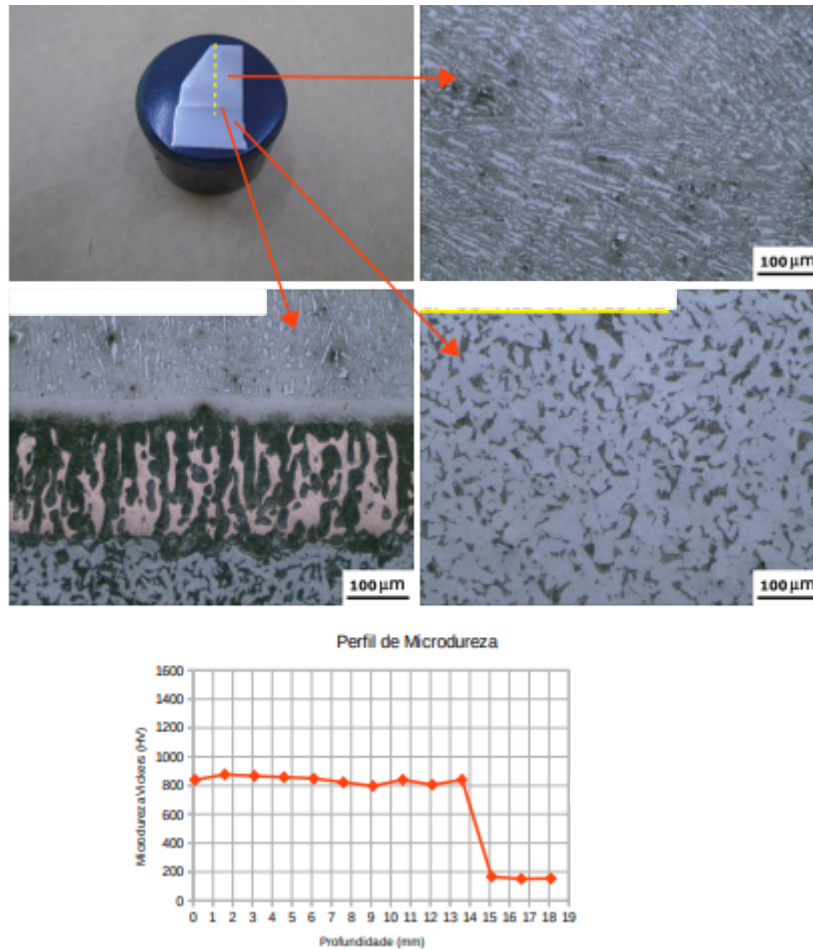


Figura 6. Micrografia óptica e perfil de microdureza da amostra do CP05: Revestimento, interface e material.

3 METODOLOGIA

As chapas foram fabricadas nas dimensões de 1250 mm x 1620 mm e o sistema de fixação atual é mantido conforme desenho original para o teste em campo, vide Figura 7.

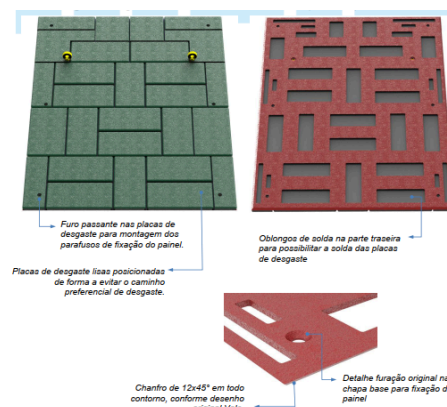


Figura 7 – Imagem ilustrativa da vista de frente e traseira do painel com placas fundidas.

Os KPI's foram definidos em conjunto com o fabricante conforme Tabela 2.

Tabela 2. Metas definidas para o teste.

META DE APROVAÇÃO		
INDICADOR	DESEMPENHO ATUAL	META DE APROVAÇÃO
MATERIAL PROCESSADO KTONELADAS	4789	14.366
AUSENCIA DE PROBLEMAS DE FIXAÇÃO	AUSENCIA DE PROBLEMAS DE FIXAÇÃO	AUSENCIA DE PROBLEMAS DE FIXAÇÃO
AUSENCIA DE PROBLEMAS ASSOCIADOS A MONTAGEM	AUSENCIA DE PROBLEMAS ASSOCIADOS A MONTAGEM	AUSENCIA DE PROBLEMAS ASSOCIADOS A MONTAGEM

As chapas foram montadas em um local de abrasão e impacto moderado na moega do virador de vagão (Figura 08) e foi testada por cerca de 14 meses.

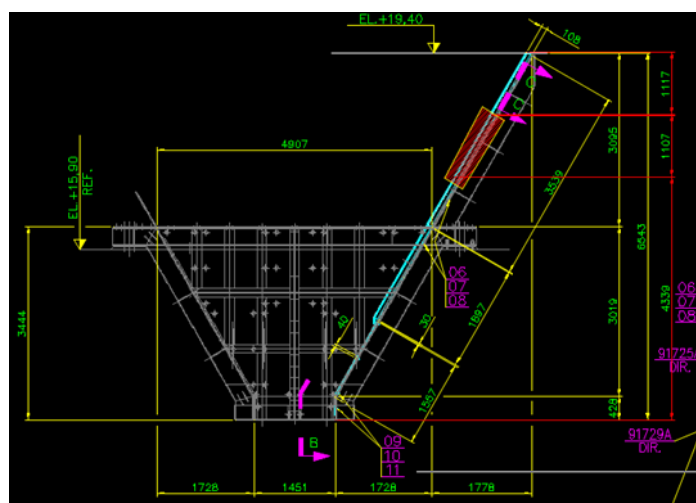


Figura 8 – Local da aplicação das chapas na moega do virador de vagão

Na Figura 09 é mostrada a foto das chapas instaladas para acompanhamento do teste.



Figura 9 – Instalação em 04/2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 10 apresenta um resumo dos resultados obtidos durante os testes realizados entre os dias 04/04/2022 a 20/06/2023 através dos gráficos da operação:

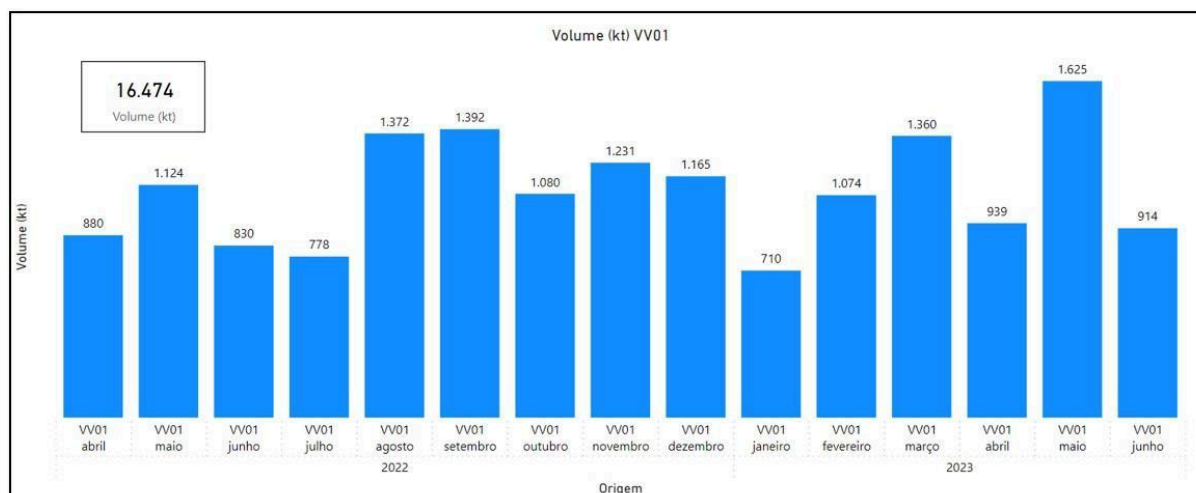


Figura 10 – Ciclo do volume de produção no virador de vagão.

O acompanhamento das atividades de inspeção e manutenção realizadas neste período constatou-se que as chapas de desgaste não tiveram perda de material em cerca de um ano em operação, vide Figura 11.



Figura 11– Status das chapas de desgaste em um período de 01 ano de teste.

Assim, conforme os KPI's estabelecidos são apresentados na Tabela 3 os resultados do teste em campo aplicados em SAT (Solicitação de Atendimento ao Teste).

Tabela 3. Resultados & Metas.

Descrição do Teste	Requisito SAT	Resultado Obtido	Resultado
MATERIAL PROCESSADO KTONELADAS	14.366 kton	16.474 Kton	Aprovado
AUSENCIA DE PROBLEMAS DE FIXAÇÃO	AUSENCIA DE PROBLEMAS DE FIXAÇÃO	AUSENCIA DE PROBLEMAS DE FIXAÇÃO	Aprovado
AUSENCIA DE PROBLEMAS ASSOCIADOS A MONTAGEM	AUSENCIA DE PROBLEMAS ASSOCIADOS A MONTAGEM	AUSENCIA DE PROBLEMAS ASSOCIADOS A MONTAGEM	Aprovado

5. CONCLUSÕES

As chapas de desgaste utilizadas em teste do virador de vagão apresentaram resultados de desempenho que atenderam ao especificado nos requisitos de

aceitação da SAT nos KPI's conforme tabela 03 e confirmam um resultado satisfatório obtido no abrasômetro roda de borracha G65 da Figura 04.

A Figura 12 apresenta a situação atual da chapa testada que após 02 anos de instalação ainda está performando de forma satisfatória.



Figura 12– Status das chapas de desgaste em um período de 02 anos de teste.

Portanto, tanto os ensaios laboratoriais quanto os testes em campo confirmaram a maior resistência ao desgaste e ao impacto do CP05 entre os materiais ensaiados/testados.

A finalização do desenvolvimento foi feita através da emissão de relatório contendo informações referentes ao atendimento dos indicadores definidos, sendo assim homologado para esta aplicação que poderá ser replicada para todos os viradores de vagão nos pontos de maior abrasão e impacto.

REFERÊNCIAS

- 1 GAHR, Karl-Heinz Zum. - Microestrutura and wear of materials Tribology series, 76 v10. Amsterdam: Elsevier, 1987. p.560.
- 2 RABINOWICZ, E. - Friction and wear of materials. 2a.Ed. New York: John Wiley & sons, p.315, 1995.
- 3 DE MELLO, J.D.B: DURAND-CHARRE, M., HAMAR-THIBAUT, M. S., METALLURGICAL TRANSACTIONS A, V. 14A, p. 1793-1801, 1983.
- 4 ZUM GAHR, K.H., ELDIS, G.T, WEAR, 64, p. 175-194, 1980.