



**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

ALDO MARCONI WESSEN MACHADO

**UMA CONTRIBUIÇÃO À METODOLOGIA DE
RECEBIMENTO, MANUTENÇÃO E DESEMPENHO DO
LASTRO FERROVIÁRIO**

Rio de Janeiro

2006



**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
ACADEMIA MRS**



ALDO MARCONI WESSEN MACHADO

**UMA CONTRIBUIÇÃO À METODOLOGIA DE
RECEBIMENTO, MANUTENÇÃO E DESEMPENHO DO
LASTRO FERROVIÁRIO**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Transporte Ferroviário de Carga.

Orientador: Prof. Luiz Francisco Muniz da Silva –
D. Sc.

Co-orientador: Eng^a Célia Maria de Oliveira Rodrigues

**Rio de Janeiro
2006**

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
ACADEMIA MRS
ALDO MARCONI WESSEN MACHADO**

**GERENCIAMENTO DOS COMPONENTES DE VIA PERMANENTE
COM FOCO EM LASTRO FERROVIÁRIO**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Transporte Ferroviário de Carga.

Orientador: Prof. Luiz Francisco Muniz da Silva – D. Sc.

Co-orientador: Célia Maria de Oliveira Rodrigues – Pós Grad. Eng^a Econômica

Aprovada em 04 DE outubro de 2006 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes – D. Sc. COPPE-RJ

Manoel Ferreira Mendes – Pós – Graduado em Gestão Empresarial - FGV

Prof. Luiz Francisco Muniz da Silva – D. Sc. COPPE-RJ

Célia Maria Oliveira Rodrigues – Pós Graduada em Eng. Econômica - UFJF

Rio de Janeiro

2006

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me incentivaram, me apoiaram e possibilitaram essa oportunidade de crescer profissionalmente através de novos conhecimentos.

Meus pais e minhas irmãs que, mesmo de longe, sempre incentivaram meus estudos e a busca pelo melhor desempenho como profissional e como ser humano.

Aos colegas de trabalho pela compreensão da importância do curso e ao apoio dado nos dias ausentes do serviço.

Aos professores do curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga do IME, em especial aos coordenadores Silveira Lopes e Cristina Sinay e Manoel Mendes.

Ao orientador Muniz, pelo apoio, orientação e condução deste trabalho.

À Eng^a Célia pelos conselhos e apoio na co-orientação deste projeto. Aos brilhantes colegas ferroviários Fernando e Vidon, pela grande ajuda fornecendo materiais de consulta e um pouco dos seus vastos conhecimentos.

Em especial ao Eng. Márcio Otávio, uma pessoa de notável admiração que, em nenhum momento, deixou de atender aos meus incansáveis pedidos de explicações e que possui uma incrível experiência ferroviária na qual pretendo um dia aprender um pouco.

RESUMO

Para atender a nova demanda de disponibilidade da via, é fundamental que o lastro ferroviário, responsável por determinadas funções de resistência aos esforços transmitidos à via, seja de qualidade e especificado de tal maneira que todos os padrões de segurança e qualidade da via sejam atendidos. Suas características devem ser mantidas ao longo dos ciclos de carga e a contaminação a menor possível.

A manutenção e conservação de um lastro de qualidade a custos acessíveis, só é possível, quando o material granular de constituição do lastro seja de qualidade.

Com a realização de uma pesquisa e uma revisão bibliográfica, constatação das experiências das mais importantes operadoras ferroviárias de carga no mundo e o estudos de fundamentos teóricos de Mecânica dos Pavimentos, acredita-se que é de fundamental importância a criação de uma nova especificação de lastro ferroviário real, conclusiva e atuante entre as operadoras ferroviárias.

Este trabalho procura mostrar como são tratadas as questões do lastro ferroviário em outras operadoras ferroviárias internacionais de carga e como essas experiências e os estudos de Mecânica dos Pavimentos podem ajudar a elaborar uma especificação técnica de melhor qualidade e que atenda às necessidades da engenharia de via permanente.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE SIGLA	9
1. INTRODUÇÃO	10
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	12
1.3. OBJETIVO	13
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	13
2. CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES DE VIA PERMANENTE	15
2.1. VIA PERMANENTE	15
2.2. INFRA-ESTRUTURA.....	15
2.3. SUPERESTRUTURA.....	16
2.4. DORMENTES.....	16
2.5. FIXAÇÃO	17
2.6. TRILHO.....	18
2.7. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA VIA	18
3. LASTRO	21
3.1. SUBLASTRO	24
3.2. SUBLEITO	26
3.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DO LASTRO.....	26
3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS	27
3.5. PROPRIEDADES FÍSICAS E CLASSIFICAÇÃO DO LASTRO	29
4. CONTAMINAÇÃO DO LASTRO	33
5. LASTRO NA VIA DA MRS	36
5.1. ESPECIFICAÇÃO DO LASTRO DA MRS	36
5.2. CONTAMINAÇÃO DO LASTRO NA LINHA DA MRS.....	38
5.3. CUSTOS EM MANUTENÇÃO DO LASTRO DA MRS.....	40
5.4. AVALIAÇÃO DOS FORNECEDORES DE LASTRO PARA MRS.....	42
6. EQUIPAMENTO DE MANUTENÇÃO DE VIA PARA LASTRO	50
6.1. SOCADORA DE LASTRO	52
6.2. REGULADORA.....	55
6.3. DESGUARNECEDORA DE LASTRO.....	56
6.4. STONEBLOWER.....	59
6.5. COMPACTADORA	60
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	61
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	63

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Detalhe da Plataforma e Lastro (Fonte: Escola de Engenharia - UFRGS)	22
Figura 2: Presença de vegetação no lastro	39
Figura 3: Alta contaminação de lastro em túneis.....	40
Figura 4: Vista do depósito de pedra britada para lastro e pó-de-pedra.....	44
Figura 5: Detalhe da série peneira do laboratório da pedreira.....	46
Figura 6: Detalhe do formato e tamanho dos grãos	47
Figura 7: Vista dos pulmões de brita para lastro	47
Figura 8: Socadoras da série 09-32 (Fonte: Plaster).....	53
Figura 9: Ponta socadora anexa no equipamento de socaria (Fonte: Selig 1992) ...	54
Figura 10: Processo executivo de socaria (Fonte Selig - 1992)	54
Figura 11: Modelo esquemático de reguladora USP 6000 (Fonte - Plaster)	56
Figura 12: Modelo esquemático de uma RM 80 – U (Fonte - Plaster).....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dureza Mohs x Mineral.....	30
Tabela 2: Dureza Mohs x Abrasão Los Angeles.....	31
Tabela 3: Comparativo de Especificação de Lastro (Fonte: Muniz - 2002)	32
Tabela 4: Distribuição granulométrica (Fonte: Pedra Britada para Lastro – EPS – ENG-2002/02.00)	37
Tabela 5: Fornecedores de Pedra Britada para MRS.....	41
Tabela 6: Análise Granulométrica da Pedreira Santa Mônica	44
Tabela 7: Análise Granulométrica da Pedreira Aparecida.....	48
Tabela 8: Resumo da Avaliação dos Fornecedores de Pedra (Fonte: Engenharia de Via – MRS)	49

LISTA DE SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTF	Agência Nacional de Transportes Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
DCP	Cone Dinâmico de Penetração
FGV	Fundação Getúlio Vargas
LAA	Abrasão Los Angeles – Los Angeles Abrasion
IME	Instituto Militar de Engenharia
MDZ	Manutenção Mecanizada
MEC	Ministério de Educação e Cultura
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S.A.
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As ferrovias no Brasil cresceram num ritmo acelerado desde 1854 quando do surgimento da necessidade de ligar as cidades do litoral com o interior do País, até 1940 existiam 34.252km de linhas instaladas. A partir desta década, o lento ritmo de construção, aliado à erradicação de trechos economicamente inviáveis, à elevação dos custos do material e à dificuldade em obtê-lo marcaram o declínio acentuado do crescimento das estradas de ferro. (Torraca, 1996).

Por razões diversas, ligadas a ciclos econômicos, várias destas estradas vinham apresentando prejuízos, entrando em processos de declínio financeiro. Visando a se evitar o alastramento de uma crise econômica mais abrangente, o Governo Federal formulou um projeto de unificar o conjunto das ferrovias em uma malha integradora. Criou, em 1957, a Rede Ferroviária Federal para disciplinar a operação ferroviária no País, padronizando seus equipamentos, serviços e métodos de trabalho. A nova Empresa dispunha de uma malha de cerca de 30.000km, que é, até hoje, aproximadamente, a extensão da rede ferroviária brasileira, com todas as erradicações e construções de novas ferrovias ocorridas desde então.

A falta de investimento no setor ferroviário provocou uma drástica deterioração da estrutura ferroviária, diminuindo a capacidade das linhas, terminais, frotas de vagões e locomotivas, ocasionando a redução de escoamento de produtos por este modal. De acordo com a ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres, em

1958 havia, aproximadamente, 38.000 km de linha férrea, hoje esse número é de 29.798 km (fonte: ANTT).

Atualmente, o sistema ferroviário brasileiro acha-se quase que totalmente concedido (praticamente, as exceções são os Metrô e transporte urbano de passageiros em alguns estados).

A urgência de reverter o processo da degradação e de tornar esse modal economicamente rentável impõe também modificação das técnicas usuais de manutenção em busca de outras mais eficientes e de menor custo. Neste cenário o emprego intensivo de processos de mecanização dos serviços de via permanente é inevitável, desde que seja comprovada a viabilidade econômica (Lima, 1998).

Para tanto, é necessário que exista uma política de manutenção que determine o tipo e o volume de serviços a realizar, indicando a sua localização, a sua duração e o nível de precisão que será atingido. Esta política de manutenção depende diretamente do conhecimento da manutenção sobre o estado de vida útil de cada componente para garantir padrões de segurança e qualidade com o menor custo possível.

1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA

A MRS-Logística, desde sua criação investiu, até 2005, mais de US\$458 milhões em recursos para aumentar a produção de transporte. Este nível de investimento, combinado com a implementação de modernos procedimentos operacionais e tecnológicos gerou um meteórico nível de crescimento no setor (Vidon e Silva, 2005).

Ao mesmo tempo, os acidentes ferroviários caíram de 58 acidentes por milhão de trem quilômetros para menos de 16 acidentes por trem quilômetro em 2004. A disponibilidade de locomotivas e vagões, bem como a produtividade da mão-de-obra também aumentou neste período. Por todos esses fatores combinados, fizeram com que a empresa fosse considerada como “A melhor empresa no setor ferroviário” pelos anos de 2000, 2002, 2003 e 2004, pelas revistas especializadas do setor ferroviário. A sustentação desses explosivos crescimentos, junto aos malefícios que eles geram para sua manutenção, é um enorme desafio que os Especialistas Ferroviários da MRS têm que vencer.

A política de manutenção da Via Permanente tem que seguir a mesma evolução. Deve atender, principalmente, as questões de segurança e qualidade de transporte para uma produção muito maior do que era praticado anteriormente.

Os insumos e os serviços devem conter qualidade, os fornecedores devem ser desenvolvidos de tal maneira que possam acompanhar nova demanda. Os materiais precisam ser bem especificados e atender de maneira econômica, as exigências tecnológicas identificadas pela a nova engenharia ferroviária que tem sido formada neste setor.

A preocupação com a Engenharia de Materiais para aumento de capacidade de transporte de carga (ton/eixo), não deve-se restringir ao estudo dos trilhos e dormentes, como usualmente é feito pelas ferrovias.

O lastro corresponde a uma importantíssima camada da superestrutura e deve ter seu comportamento estudado, quando se pensa em aumentar a capacidade de transporte de uma via.

1.3. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo, apontar com base nos parâmetros técnicos e econômicos, a viabilidade de investimentos e projetos de pesquisas em um melhoramento do lastro, diminuindo, dessa forma, os gastos em manutenção de Via Permanente, dando melhor condição de tráfego para os trens de carga, aumentando a produtividade de manutenção, o ciclo de produção, diminuindo os intervalos de manutenção da via e assegurando maior qualidade da via permanente gerando maior segurança no transporte ferroviário.

Além disso, espera-se obter a maior quantidade de informações sobre o assunto e pesquisar o estado-da-arte e na analisar as melhores práticas de manutenção e conservação de lastro ferroviário com menores custos e de maneira mais rentável.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Além da introdução sobre a atual situação ferroviária do país, a importância da adequada condição de manutenção da via que justifica o tema e o objetivo, este trabalho está estruturado em um capítulo que trata sobre a caracterização dos

componentes da Via Permanente, destaque para as definições usadas para via, infra e superestrutura, dormentes, fixação trilhos e geometria de via.

No terceiro capítulo é feita uma abordagem sobre as camadas de sublastro, subleito, as propriedades dos materiais granulares e classificação do lastro.

Nos capítulos seguintes é feita uma referência sobre a contaminação do lastro, de maneira geral e as condições do lastro da MRS. O capítulo seis trata sobre os principais equipamentos de manutenção de via utilizados em lastro ferroviário.

No capítulo sete são feitas as conclusões e sugestões para os próximos trabalhos que possam ser feitos sobre o tema. Finalmente, no oitavo capítulo encontra-se as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES DE VIA PERMANENTE

2.1. VIA PERMANENTE

A Via Permanente considerada como parte integrante de uma ferrovia, é conceituada como um conjunto de instalações e equipamentos que compõe a infra-estrutura e a superestrutura de uma Ferrovia. Por este conceito as instalações, os equipamentos, a superestrutura e infra-estrutura fazem parte da Via Permanente (Lima, 1998).

Outras definições, também encontradas na literatura, definem a Via Permanente como: “A designação dada ao sistema de sustentação e rolamento dos trens de circulação” (Amaral, 1998); “Conjunto formado por trilhos, pelos dormentes, pelo lastro e, se for o caso pelo sublastro”. Tudo que estiver sob a Superestrutura denomina-se simplesmente de infra-estrutura.

2.2. INFRA-ESTRUTURA

Segundo Lima (1998), infra-estrutura de uma estrada é o conjunto de obras implantadas em uma faixa de terreno, destinadas ao estabelecimento e à proteção do caminho de rolamento de uma via de comunicação terrestre (rodovia ou ferrovia). Divididas pelas seguintes partes:

- Terraplenos (cortes, aterros e seções mistas);
- Obras-de-Artes Correntes (drenos, bueiros, pontilhões, passagens inferiores e superiores, muros de arrimo e corta-rios);
- Obras-de-Arte Especiais (bueiros especiais, túneis, pontes, viadutos e muros de arrimo especiais);
- Obras Complementares (vedação da faixa de domínio, proteção de taludes, pátios de cruzamento e triagem e edificações).

2.3. SUPERESTRUTURA

A função da superestrutura é receber a carga provinda do peso dos rodéiros, recebida pelo trilho através do contato Roda-Trilho, em seguida transmitir através do princípio de redução de esforços para as placas de apoio e fixação. Dessa forma, a carga é dissipada para os dormentes, depois para o lastro que, finalmente gera esforços para a plataforma.

A Superestrutura é formada pelos seguintes componentes:

- Lastro;
- Dormentes;
- Fixação;
- Trilhos.

2.4. DORMENTES

O dormente é o elemento da superestrutura ferroviária que tem por função receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas cargas dos veículos,

servindo de suporte dos trilhos, permitindo a sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles (Brina, 1979).

Os materiais empregados na constituição dos dormentes podem ser:

- Madeira;
- Aço;
- Concreto;
- Plástico.

2.5. FIXAÇÃO

A fixação dos trilhos visa, basicamente, promover e manter o paralelismo das duas filas de trilhos com afastamento regulamentado (bitola da via) para constituir o caminho de rolamento dos trens (Alias, 1977).

Os elementos que compõem o conjunto de fixação são responsáveis em fixar os trilhos aos dormentes, impedindo que estes se desloquem longitudinalmente.

Além de sua função de estabelecer a continuidade estrutural, as fixações intervêm na transferência, para os dormentes, das forças estáticas e dinâmicas que agem sobre os trilhos (Lima, 1998).

Segundo Schramm (1977), as fixações podem ser classificadas conforme o modo como as forças recebidas pelos trilhos são transmitidas aos dormentes, e de acordo com a natureza do vínculo da união trilho-dormente.

2.6. TRILHO

É um perfil metálica, assentada e fixada sobre dormentes que guiam e sustentam as rodas do veículo ferroviário. Segundo Schramm (1975), os trilhos devem proporcionar às rodas do material rodante, uma superfície de rolamento plana e de nível na medida do possível, contínua e também funcionar como guia. As formas dos trilhos tiveram mudanças significativas com o passar do tempo.

Funcionam como vigas elásticas que servem como suporte direto e guias das rodas dos veículos que por ele trafegam.

Para exercer sua função de superfície de rolamento e suporte das cargas transportadas, é necessário que o trilho tenha dureza, tenacidade, elasticidade e resistência à flexão e ao desgaste. Dessa forma, o material que mais oferece todas essas características pelo menor custo é o aço.

2.7. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA VIA

Segundo publicações de vários autores como Schramm (1975), Brina (1979) e Matisa (Métodos Modernos para Conservação Remodelação e Construção de Vias Férreas – 1972), uma boa linha deve possuir características principais, tais como:

- Leito Estável;
- Traçado correto (Planimetria);
- Bom estado do material e seus acessórios;
- Nivelamento transversal e longitudinal (Altimetria) adequados.

Os terrenos podem ser planos (desnível menor que 8 m/km), ondulados (entre 8 a 20 m/km) e montanhosos (desnível maior que 20 m/km).

Recomenda-se que as tangentes mínimas e as curvas de transição sejam de no mínimo 25 metros, exceto no caso onde o traçado é muito sinuoso, como ocorre em ferrovias construídas antes do século XX.

Os comprimentos das curvas de transição são determinados pelos raios da curva e pela velocidade projetada para o tráfego ferroviário.

Contudo, o tráfego de trens pode acarretar uma série de defeitos nas características da via (Lima, 1998), nos planos horizontais, verticais e outros:

- Planos horizontais:

- ✓ Desvios e variações de bitola;
- ✓ Afrouxamento das fixações;
- ✓ Deslocamento transversal das tangentes;
- ✓ Deslocamentos das curvas (curva ensacada);
- ✓ Arrastamento dos trilhos;
- ✓ Deslocamentos dos dormentes;

- Planos verticais:

- ✓ Desnivelamentos na plataforma;
- ✓ Laqueados ou arriados nos trilhos;
- ✓ Desnivelamento nas juntas dos trilhos e na superelevação.

- Outros defeitos:

- ✓ Fratura ou desgaste nas talas de junção;
- ✓ Rompimento nos parafusos das talas;
- ✓ Fratura ou desgaste nos trilhos;

- ✓ Defeitos nos trilhos;
- ✓ Alargamento dos furos dos dormentes;
- ✓ Trincas e fissuras na infra-estrutura e terrapleno;
- ✓ Instabilidade da plataforma;
- ✓ Desnivelamento de juntas;
- ✓ Fraturas de trilhos;
- ✓ Deficiência de drenagem;
- ✓ Lastro contaminado (rigidez excessiva e “bolsões”).

Atualmente, defeitos de geometria e em trilhos são considerados como um dos maiores problemas de uma superestrutura ferroviária.

3. LASTRO

Segundo Brina 1979, lastro é o elemento da superestrutura da estrada de ferro situada entre os dormentes e o solo ou sublastro (se houver) e que tem as seguintes funções:

- Distribuir convenientemente sobre a plataforma (sublastro) os esforços resultantes das cargas dos veículos, produzindo uma taxa de trabalho menor na plataforma;
- Formar um suporte elástico, atenuando as trepidações resultantes da passagem dos veículos;
- Suprimir as irregularidades da plataforma, formando uma superfície contínua e uniforme para os dormentes e trilhos;
- Impedir o deslocamento dos dormentes, quer no sentido longitudinal e transversal;
- Facilitar drenagem da superestrutura.

O lastro deve possibilitar a recuperação da geometria da linha, principalmente os nivelamentos longitudinais e transversais responsáveis pela suavidade e conforto do rolamento do material rodante. Deve possuir resistência suficiente aos esforços transmitidos pelos dormentes, elasticidade para abrandar os choques, ter dimensões que possibilitem a sua interposição entre e sob os dormentes, preenchendo as depressões da plataforma ou sublastro e permitindo o perfeito nivelamento dos trilhos, resistência aos agentes atmosféricos, permeabilidade para realizar a drenagem das águas das chuvas, não estar sujeito a desgaste produtor de pó e permitir uma soca eficiente por meios mecânicos (socadores, vibradores).

As ferrovias que operam com trens de carga no Brasil, utilizam lastro de pedra britada nas faixas granulométricas apropriadas para desempenhos das funções relacionadas anteriormente.

Na Figura 1 tem-se um esquema do básico da plataforma de uma via ferroviária e a indicação da camada de lastro.



Figura 1: Detalhe da Plataforma e Lastro (Fonte: Escola de Engenharia - UFRGS)

Segundo Selig (1992), tradicionalmente um bom lastro é aquele que possui rochas angulares, britadas e duras, uniformemente graduadas, livre de finos e sujeira e não propenso a cimentação.

Existem, hoje no país, algumas normas técnicas relativas às propriedades específicas para as características dos índices de materiais como tamanho, dureza, resistência à abrasão e composição que proverão o melhor desempenho, porém foram editadas nas décadas de 70 e necessitam de uma atualização, face à

evolução e o aumento de demanda do transporte ferroviário de carga, em especial o “*Heavy-Haul*”.

Estas normas são:

- Lastro para Via Ferroviária – Amostragem P – NB – 497;
- Ferramenta de Via Permanente – Soca para Lastro P – PB – 272;
- Especificação – Via Férrea – Lastro Padrão ABNT – EB – 655/91;
- Lastro- Padrão – Determinação da massa específica aparente, da absorção de água e da porosidade aparente do material NBR 7418 (MB -893);
- Lastro Padrão – Determinação da Resistência ao Choque NBR 8938;
- Lastro Padrão – Determinação da forma de material NBR 6954 (MB- 894);
- Lastro – Padrão- Determinação da Resistência à compressão axial NBR 6953 (MB-892);
- Lastro – Determinação do Teor de Fragmento Macio e Friável NBR 8697.

Este é um assunto complexo que ainda está sendo pesquisado. A disponibilidade e considerações econômicas são fatores principais para seleção de materiais de lastro. Assim, uma variedade de litologias é usadas para lastro, como: granito, basalto, calcário, escória e pedregulho.

As propriedades mecânicas do lastro resultam de uma combinação do estado físico individualmente in-situ dos materiais. O Estado físico pode ser definido pela densidade, enquanto os parâmetros físicos do material podem ser descritos através de vários índices como tamanho de partícula, forma, angularidade, dureza, textura e durabilidade. E resistência ao desgaste.

O maior número de partículas angulares, de forma cúbica e livre de materiais deletérios, diminuem o risco de propriedades de cimentação, caracteriza uma boa composição de lastro ferroviário

O peso de grão in-situ de lastro é um resultado de processos de compactação, que, por sua vez, é o resultado de tráfego de trens combinado com fatores de umidade, intempéries do meio ao qual o lastro está condicionado.

Em linhas gerais, as mudanças de graduação de lastro são ocasionadas por:

- a) degradação mecânica de partícula mecânica durante aplicação, trabalho de manutenção e carregamento devido ao tráfego;
- b) substância química e degradação mecânica de desgaste devido a mudanças ambientais;
- c) migração de partículas boas da superfície e as camadas subjacentes.

Três fatores preponderantes na escolha do lastro ferroviário são:

- ⇒ resistência ao desgaste e abrasão para minimizar a degradação causada pelo impacto das cargas transmitidas pelas rodas;
- ⇒ adequada e uniforme graduação das partículas (granulometria e cubicidade);
- ⇒ Baixa cimentação (transformar em cimento devido ao alto teor de finos e partículas friáveis, tornando o lastro rígido).

3.1. SUBLASTRO

A camada entre o lastro e o subleito é o sublastro. Cumpre duas funções que também estão na lista de lastro:

- a) reduz a tensão induzida pelo tráfego ao fundo da camada de lastro para um nível tolerável para o topo de subleito;
- b) Gera proteção ao subleito.

Cumprindo estas funções o sublastro reduz a necessidade de uma maior espessura da camada de lastro (material mais caro). Porém, o sublastro tem algumas outras funções importantes que não podem ser cumpridas através de lastro:

- Prevenir interpenetração de subleito e lastro;
- Prevenir migração superior de material bom que emana do subleito;
- Prevenir atrito de subleito através de lastro que na presença de água, conduz a formação de aglomerados, e conseqüentemente previne esta fonte de bombear.

Este é um problema particular se o subleito for rígido:

- Vertente de água, intercepta água que vem do lastro e dirija longe do subleito para fossos aos lados do via;
- Permite drenagem de água que poderia estar fluindo para cima do subleito.

O que geralmente mais ocorre é que a maioria dos materiais de sublastro é normalmente classificada entre misturas de areia-pedregulho naturalmente ou agregados naturais esmagados ou escórias. Elas têm que ter partículas duráveis e têm que satisfazer as exigências de filtro para lastro e subleito.

Algumas funções de sublastro podem ser providas por:

1. cimento, ou asfalto para estabilização terras locais;
2. camadas de asfalto-concreto;
3. materiais de Geosintéticos.

STOPATTO (sem data) defende o emprego de sublastro, em material granular, considerando que esta camada "...constitui a base do lastro e, como tal, pode ser, inclusive, a própria plataforma." Argumenta que o sublastro bem dimensionado impede a subpenetração do lastro pelo subleito.

3.2. SUBLEITO

O subleito é a plataforma na qual a estrutura de via é construída. Sua função principal é prover uma fundação estável para o sublastro e camadas de lastro. A influência das tensões induzidas no lastro por causa do tráfico estende-se até cinco metros para baixo debaixo do fundo dos dormentes. Isto está consideravelmente além da profundidade do lastro e sublastro. Conseqüentemente, o subleito é um componente da infra-estrutura muito importante que tem uma influência significativa em desempenho da via e manutenção.

Por exemplo, subleito é um componente principal da resiliência de apoio de superestrutura, e conseqüentemente, contribui substancialmente à deflexão elástica da grade debaixo do carregamento da roda.

Além disso, Selig (1992) acredita que a magnitude da rigidez do subleito influencia no lastro, leito e deterioração de dormente. O subleito também é uma fonte de determinação de recalque diferencial do solo.

3.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DO LASTRO

Material típico de lastro é o cascalho e fragmentos de rochas com alta dureza. A capacidade e o desempenho do lastro são funções controladas pelas características das partículas juntamente com o estado físico do conjunto de grãos.

Por se constituir em um trabalho de especialização de curto prazo não se comentará sobre a importância para a determinação da qualidade do lastro condições de tipos de rochas e ações e reações no lastro devido aos esforços exercidos pelo tráfego, porém recomenda-se a bibliografia de Selig 1992, onde essas situações são tratadas com muita clareza.

3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS

Um material de lastro com qualidade é definido pelas características de suas partículas. Vários ensaios são utilizados para definir essas características:

3.4.1. Durabilidade

- Abrasão Los Angeles;
- Resistência ao desgaste;
- Índice de durabilidade;

3.4.2. Forma

- Nivelamento;
- Alongamento;
- Esfericidade;
- Angularidade;
- Partículas fraturadas;
- Textura de superfície.

3.4.3. Graduação

- Tamanho dos grãos;
- Distribuição granulométrica;
- Índice de finos

3.4.4. Unidade de peso

- Densidade específica;
- Absorção;

3.4.5. Identificação e composição

- Análise Petrográfica;
- Análises Químicas;
- Difração por raio-x

Apesar de uma série de ensaios e trabalhos que englobam este assunto, os efeitos característicos do comportamento mecânico das partículas granulares, especialmente o lastro, não são totalmente medidos através de ensaios de laboratórios. É fundamental para estudos comportamentais de lastro, que se faça análise em campo e estudos que simulem a circulação de trens e carregamento. Por isso, atualmente o campo de estudos e análises “in-situ” vem ganhando cada vez mais força.

Para estimativa de resistência ao cisalhamento, AYERS *et al.* (1989) apresentam estudos ‘in situ’ com o “Dynamic Cone Penetrometer” (DCP) aplicados a materiais granulares, incluindo lastro ferroviário com variados graus de contaminação com finos.

Para coletas de amostras indeformadas, SELIG e WATERS (1994) descrevem sobre às unidades de executam furos com retirada de amostras do lastro e demais camadas. Permite perfurações até profundidades superiores a 2m, com diâmetro da ordem de 30cm, executada com tubo de revestimento, externo a um amostrador bipartido que possibilita uma inspeção de todo o perfil do pavimento nas condições em que se encontra. Além do perfil estratigráfico obtido, este tipo de recurso cria condições para uma avaliação expedita e de laboratório do índice de contaminação do lastro, além de toda a série desejada de ensaios de laboratório em amostras amolgadas. Ressalte-se, ainda, a agilidade da operação, minimizando as interrupções de tráfego.

3.5. PROPRIEDADES FÍSICAS E CLASSIFICAÇÃO DO LASTRO

Com uma análise petrográfica detalhada, é possível identificar a correta composição mineralógica do lastro, determinando, pois, a maior durabilidade devido a resistência mecânica, já que esta característica, como visto anteriormente, está diretamente ligada às propriedades físicas dos minerais.

A escala de dureza de Mohs para alguns minerais segundo consta na ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, 1998, identifica a petrografia dos principais minerais constituintes do lastro, conforme é mostrado na tabela 1.

Tabela 1: Dureza Mohs x Mineral

Mineral	Dureza Mohs
<i>talco</i>	1
<i>gipsita</i>	2
<i>calcita</i>	3
<i>fluorita</i>	4
<i>apatita</i>	5
<i>ortoclásio</i>	6
<i>quartzo</i>	7
<i>topázio</i>	8
<i>corundum</i>	9
<i>diamante</i>	10
<i>albita</i>	6-6,5
<i>anortita</i>	6-6,5
<i>microclina</i>	6-6,5
<i>ortoclásio</i>	6-6,5
<i>sanidina</i>	6
<i>piroxênio</i>	5-7
<i>mica</i>	2,5-4
<i>anfíbólio</i>	5-6
<i>dolomita</i>	3,5-4

Muniz (2002) apresenta uma proposta de Raymond (1979) aplicada na Canadian Pacific onde existe uma associação da dureza da escala de Mohs para cada constituinte mineral da rocha . Dessa forma, Raymond classificou classes de lastro entre 1 a 6 (quanto menor o número que designa a classe melhor é o lastro), em função do índice de abrasão Los Angeles (LAA) e da percentagem em volume de minerais com dureza Mohs igual ou maior do que 5,5. A tabela 2 mostra a classificação de dureza Mohs, segundo aos parâmetros de desgastes à abrasão “Los Angeles”.

Tabela 2: Dureza Mohs x Abrasão Los Angeles

LAA	Dureza Mohs > 5,5 – Porcentagem em Volume			
	0-25	25-50	50-75	75-100
0-10	3	3	2	1
10-15	3	3	2	1
15-20	4	4	2	2
20-25	4	4	3	2
25-30	5	4	3	2
30-35	5	5	3	3
35-40	5	5	4	3
40-50	6	5	4	4

É apresentado na tabela 3.3 um quadro comparativo, sintetizando os aspectos básicos de especificação de lastros, em uma série de normas. Assim, é possível associar o que é praticado nas ferrovias internacionais com o que é praticado no Brasil, em especial pela MRS.

Tabela 3: Comparativo de Especificação de Lastro (Fonte: Muniz - 2002)

ENSAIOS	MÉTODOS	ABNT (EB-655)	A.R.E.A.	R.F.F.S.A.	CBTU	FLUMITRENS	CP RAIL
Análise petrográfica	ABNT NB-47 e 48 ASTM C-295	Pedras homogêneas, duras e duráveis	Pedras duras, resistentes, sem materiais nocivos deletérios	Pedras duras, duráveis, resistentes, sem subst. nocivas	Pedras duras, cúbicas, de rochas estáveis	Pedras angulares, de rocha densa e sã, livres de terra	Pedras duras, sem materiais deletérios
Massa específica real	ABNT MB-893	> 2.400Kg/m ³	-	-	> 2.400Kg/m ³	> 2.400Kg/m ³	-
Porosidade aparente	ASTM C-127	< 1%	-	-	< 1%	< 1%	-
Absorção d'água	-	< 1%	-	-	< 1%	< 1%	< 0,5 - 1%
Análise granulométrica	ABNT NBR-7217 ASTM C-136	# mm % ret. acum. 63,5 0-10 50,8 0-10 38,0 30-75 25,4 85-100 19,0 90-100 12,0 95-100	# mm % ret. acum. 63,5 0-0 50,8 0-0 38,0 30-65 25,4 85-100 12,0 95-100	# mm % ret. acum. 63,5 0-0 50,8 0-10 38,0 30-65 25,4 80-100 12,0 95 100	# mm % ret. acum. 63,5 0-0 50,8 0-10 38,0 30-65 25,4 80-90 12,0 95-100	# mm % ret. acum. 63,5 0-0 50,8 0-15 38,0 30-65 25,4 70-100 19,0 85-100 12,0 95-100	Diferentes gradações para diferentes intensidades de tráfego
Material pulverulento	ABNT NBR-7219 ASTM C-117	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%	-
Torrões de argila	ABNT NBR-7218 ASTM C-142	< 0,5%	< 0,5%	< 0,5%	< 0,5%	< 0,5%	-
Partículas macias e friáveis	ABNT MB-106 ASTM C-851	< 5%	< 5%	< 5%	< 5%	< 5%	-
Forma da pedra	ABNT MB-894 ABNT NBR-7809	Cúbica, com < 10% de lamelares	Cúbica, com < 5% de fragmentos com b > 3c	Cúbica, com < 4% de lamelares	Cúbica, com < 10% de lamelares	Cúbica, com < 10% de lamelares	-
Massa unitária compactada	ASTM C-29	-	Escória não metálica > 1.121Kg/m ³ Escória metálica > 1.601Kg/m ³	-	-	-	-
Massa unitária no estado solto	ABNT NBR-7251	-	-	-	-	-	-
Abrasão Los Angeles	ABNT NBR-6465 ASTM C-131 e C-535	< 40%	< 40%	< 40% (lastro 1 ^a cat.) < 50% (lastro 2 ^a cat.)	< 40%	< 40%	< 45%
Impacto Treton	ABNT MB-964	< 20%	-	-	< 20%	< 20%	-
Esmagamento	DNER ME-42 BS-882 / PARTE 2	-	-	-	-	-	-
Compressão uniaxial	ABNT MB-892 ASTM D-2938	-	-	-	-	-	-
Alteração com sulfatos	ABNT MB-1065 ASTM C-88	-	< 7% em 5 ciclos de Na ₂ SO ₄	-	-	< 10% MB-1065/80	-

4. CONTAMINAÇÃO DO LASTRO

Muniz (2002) refere-se a questão da contaminação ou poluição como a presença de finos nos lastros (partículas de granulometria muito inferior à do lastro e não, necessariamente, só a frações passantes na peneira # 200), normalmente em condições de saturação, baixando significativamente a capacidade de suporte da via.

Num levantamento levado a efeito em boa parte dos Estados Unidos, foi constatada a seguinte situação: 76% em peso dos componentes dos materiais mais finos causadores da poluição dos lastros provêm da quebra do próprio lastro; 13% vêm de camadas granulares inferiores (sublastro e lastros antigos); 7% se originam da superfície 71% (originários da brita nova, do trem, do vento ou chuva, etc); 3% advêm do subleito; e 1% provêm da abrasão dos dormentes de concreto (SELIG e WATERS, 1994). Já na Inglaterra, o quadro é o que se segue: da superfície - 52%; quebra de lastro e abrasão de dormentes de concreto, provenientes da ação do tráfego - 21%; socaria (que também é quebra) - 20%; materiais mais finos acompanhando a brita nova - 2% (SELIG e WATERS, 1994).

Ainda segundo Muniz (2002), o tipo de material contaminante determina o efeito do comportamento do lastro contaminado. Material contaminante com granulometria de areia ou superior, tende a aumentar a resistência ao cisalhamento e a rigidez gerando deformações permanentes menores, dependendo do grau de preenchimento dos vazios existentes no esqueleto formado pelos grãos maiores. O lastro tende a diminuir sua resiliência.

Para materiais contaminantes com alto teor de finos argilosos e siltosos, Muniz (2002) explica que há dificuldade para as operações de socaria; se o material contaminante estiver com baixa umidade, endurece, podendo, em alguns casos, cimentar; se o material estiver saturado, os contatos entre os grãos ficam lubrificados e a efetividade da socaria também diminui. Neste último caso, tendem a acontecer deformações maiores, tanto as resilientes quanto as permanentes.

As principais formas de quebras de lastro são providas do transporte, armazenamento ou estocagem, manuseio e aplicação ou pela variação da temperatura, intemperismo, pela socaria ou pelas cargas do tráfego.

Entre todos esses fatores a capacidade de carga, formato do grão e mineralogia da rocha são fundamentais para garantir a redução de quebra do lastro.

De forma a consolidar dados pertinentes as estruturas do pavimento ferroviário, obtidos nas duas primeiras etapas para cada trecho, apresenta-se abaixo alguns índices que avaliam o grau de contaminação do lastro.

FI – Para avaliação da contaminação granulométrica, SELIG e WATERS (1994) apresentam o “fouling index”, FI, índice de contaminação do lastro, expresso por:

$FI = P4 + P200$ onde P4 e P200 são as percentagens em pesos passantes, respectivamente, nas peneiras 4 e 200. Sugerem ainda a seguinte classificação:

$FI < 1$ lastro limpo (L)

$1 \leq FI < 10$ lastro moderadamente limpo (ML)

$10 \leq FI < 20$ lastro moderadamente contaminado (MC)

$20 \leq FI < 40$ lastro contaminado (C)

$FI \geq 40$ lastro altamente contaminado (AC)

CU – Coeficiente de uniformidade = D_{60}/D_{10} , por exemplo, lastros novos ao serem aplicados na linha com granulometrias uniformes, como as prescritas pela

norma 66 brasileira vigente apresentam $CU < 4$. REINSCHMIDT et al. (1989) verificaram que quando os vazios do lastro estão preenchidos de finos o valor de CU é aproximadamente 36 e, ainda, lastros contaminados com $CU > 36$ mostram um acentuado decréscimo de estabilidade, porque os finos começam a preponderar no comportamento tensão-deformação.

5. LASTRO NA VIA DA MRS

5.1. ESPECIFICAÇÃO DO LASTRO DA MRS

Para garantir as características dos materiais constituintes nas particulares, bem como o estado físico, o corpo de Engenharia da MRS desenvolveu uma especificação do material granular, "*Pedra Britada para Lastro – EPS-ENG-2002/02.00*".

5.1.1. Resistência ao desgaste

- A resistência ao desgaste do material, rochoso usado na produção da pedra britada para lastro deverá ser tal que, submetido ao ensaio de abrasão na máquina "Los Angeles", graduação E ou F, de acordo com o método MB-170 da (NBR-6465), não sofra uma redução, em peso, superior a 50%.

5.1.2. Granulometria

- Quanto ao tamanho e a distribuição dos tamanhos dos grão (ver tabela 4) ela deve ocorrer de acordo com a tabela abaixo, seguindo os critérios de acordo com os métodos MB-7 (NBR-7217):

Tabela 4: Distribuição granulométrica (Fonte: Pedra Britada para Lastro – EPS – ENG-2002/02.00)

PENEIRA		PORCENTAGEM ACUMULADA RETIDA (%)
Polegadas	Milímetros	
2.1/2"	63.5	0
2"	50	0 a 15
1.1/2"	38	30 a 65
1"	25	70 a 90
3/4"	19	85 a 100
1/2"	12.7	95 a 100

5.1.3. Impurezas

- São admitidos, no máximo, os seguintes percentuais de impurezas na pedra britada para o lastro:

- Partículas lamelares 8%
- Material pulverulento 1%
- Torrões de argila 0,5%
- Fragmentos macios e friáveis. 5%

De acordo com a especificação da MRS, são os fornecedores de brita para lastro que ficam obrigados a realizarem e mostrarem os resultados favoráveis ao ensaios (ABNT) de:

- via férrea – lastro-padrão (NBR-5564);
- características petrográficas do lastro padrão (NBR-7389);
- massa específica aparente, absorção de água e porosidade (NBR-7418);
- resistência ao choque (NBR-8938);
- forma (NBR-6954);
- resistência a compressão simples axial (NBR-6953);
- distribuição granulométrica (NBR-7217);
- teor de argila em torrões (NBR-7218);
- resistência ao desgaste, abrasão Los Angeles (NBR-6465);

- teor de fragmentos macios e friáveis (NBR-8697);
- teor de material pulverulento (NBR-7219).

A especificação MRS de Pedra Britada para Lastro diz que todo o material deverá ser movimentado e estocado pelo fornecedor de modo que se mantenha limpo e isento de segregação, mantendo-se preservado a sua granulometria. O fornecedor deve disponibilizar no local de entrega um desvio ferroviário, plataforma ou embarcadouro adequado ao carregamento da pedra em vagões que irão conduzi-la ao local de entrega.

5.2. CONTAMINAÇÃO DO LASTRO NA LINHA DA MRS

Pode se dizer que atualmente, o lastro aplicado nas linhas das ferrovias em especial nos trechos da MRS, está muito poluído. A contaminação se deve pela grande concentração de finos que impede a boa drenagem do lastro, acumulando-se água na plataforma. Nesse caso, diz-se que são formados “*bolsões de lama*”. Esses bolsões causam um efeito de deformabilidade ainda maior à plataforma, provocando instabilidade, ocasionando um aumento de quebra do material granular, alterando as propriedades de resistência lateral da geometria da via causando empenos, torções e aumentando os riscos de descarrilamento.



Figura 2: Presença de vegetação no lastro

Em alguns trechos da ferrovia da MRS, em especial os trechos da Serra do Mar, Frente Sul da Ferrovia do Aço, entre outros apresenta situações críticas de contaminação de lastro.

A Figura 2 mostra uma contaminação de tamanha proporção que a vegetação já ocupa o berço da linha, isto significa um alto teor de finos e acúmulo de água.

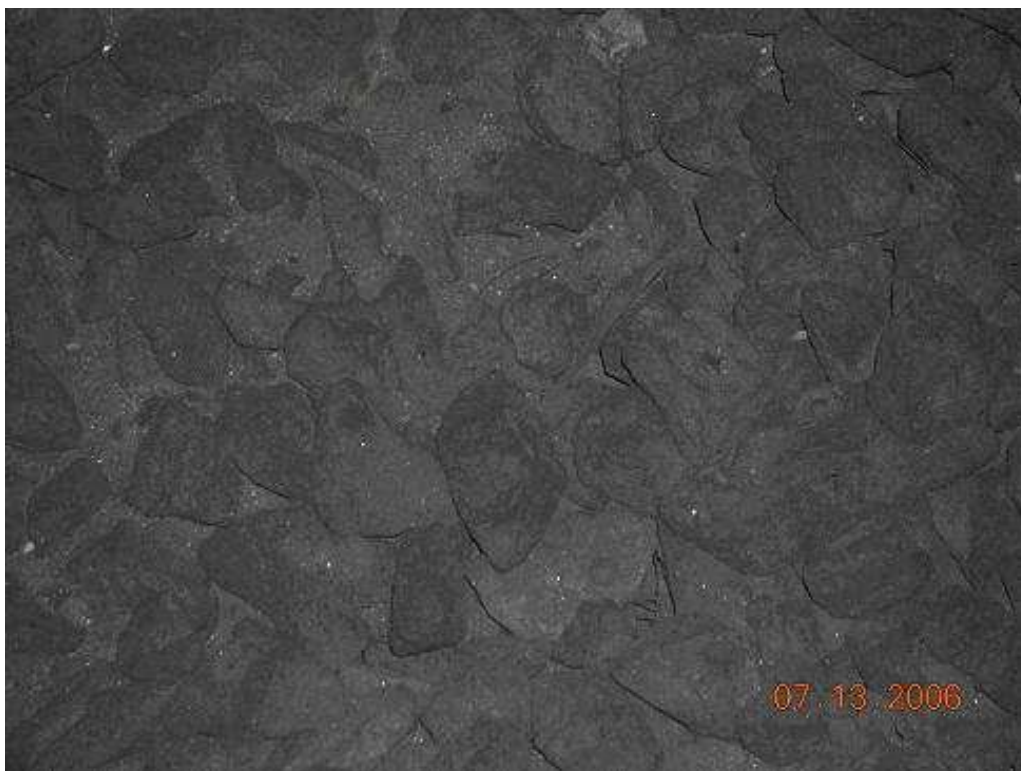


Figura 3: Alta contaminação de lastro em túneis

Uma condição de risco de segurança de circulação de trens que pôde ser identificada é a ocorrência de lastro contaminado em túneis. Essa condição de contaminação pode ser indicio de anomalias de via como bolsões e empenos, podendo ocasionar descarrilamento. E, em túneis, regiões críticas de circulação, essas condições de tráfego jamais podem ser aceitas. A Figura 3 mostra uma situação onde o grau de cimentação do lastro dentro de um túnel é acentuado e a condição de garantia de funcionalidade do lastro não é respeitada.

5.3. CUSTOS EM MANUTENÇÃO DO LASTRO DA MRS

Por isso, a importância de se manter um lastro limpo com suas características padrão definidas, a fim de que tenha um desempenho desejável. Para tanto, uma fiscalização operante e presente, se faz mais do que necessária, para de obter uma

boa qualidade de lastro. Foram levantadas, junto ao setor de suprimentos da MRS, todas as pedreiras fornecedoras de brita para lastro ferroviário. A Tabela 5 abaixo apresenta os fornecedores de brita e os quantitativos de consumo de brita da MRS.

Tabela 5: Fornecedores de Pedra Britada para MRS

Nome/Telefone Pedreira fornecedora	Quant. comprada (m3)
SERVENG CIVILSAN S/A. (12)3105-2112	22.994,80
PEDREIRA SEPETIBA LTDA. (21)2688-3534	13.600,00
PEDREIRA SANTA MÔNICA LTDA. (32)3234-1321	8.000,00
EMPRESA DE MINERAÇÃO J. SERRA. (21)2670-1125	5.397,30
ITAPISERRA MINERAÇÃO S/A. (11)9619-2577	4.252,00
MINERAÇÃO MONTREAL LTDA. (31)3577-7500	4.000,00
COTERCON COMERCIAL LTDA. (13)3352-1684	851,00
PEDREIRA ANHANGUERA S/A. (11)7896-6597	150,00
Totalização	59.245,10

Ao valor de mercado, cerca de R\$25,00/m³ (2005), trata-se de um material que compõe quase um milhão e meio de reais no orçamento anual da via, fora o que é gasto com transporte do material até o local onde será aplicado. Por isso a aquisição de um produto de qualidade que atenda as questões de segurança, especificações e anseios do cliente se faz necessária.

Segundo o setor de custos / orçamento da MRS a Malha Ferroviária, responsável por toda a manutenção da Via Permanente, gasta cerca de **R\$17,5 milhões** com serviços e materiais referentes a despesas com lastro ferroviário. Isto significa que 38% dos recursos disponibilizados para garantir uma adequada circulação dos trens com segurança e qualidade está relacionado a gastos referentes a problemas em lastro.

Nestes serviços estão compostos itens como:

- Nivelamento e alinhamento manual;
- Limpeza de lastro;
- Socaria / nivelamento de juntas;
- Gastos com a brita propriamente dita.

Nesta conta, vale salientar que existem serviços indiretos de troca de dormentes, grampos, parafusos devidos à manutenção do lastro, despesas referentes ao transporte de brita e gastos com a paralisação do transporte para manutenção, também chamada de lucro cessante.

5.4. AVALIAÇÃO DOS FORNECEDORES DE LASTRO PARA MRS

Em visita a alguns fornecedores de lastro ferroviário da companhia, pôde-se analisar o relacionamento da MRS com o fornecedor, as necessidades de atendimento da especificação dos materiais e, principalmente, as falhas no atendimento do fornecedor para com a MRS. Os principais objetivos das vistas eram:

- Avaliar a realidade do fornecedor e a especificação técnica da MRS em vigência para fornecimento de pedra britada para lastro ferroviário;
- Verificar as instalações físicas do fornecedor (lay-out e suas possíveis interferências na qualidade da pedra fornecida para lastro ferroviário);
- Verificar “in loco” a qualidade visual do material fornecido;
- Verificar as características geológicas do maciço de onde é extraída a pedra britada para lastro;
- Verificar o controle sobre a produção da pedra britada fornecida para lastro ferroviário (ensaios que são solicitados pelo fornecedor junto a laboratórios);
- Conscientização do fornecedor quanto a necessidade da qualidade do produto fornecido para atender aos padrões de recebimento de materiais da MRS (Certificação ISO 9001);
- Verificar as condições de extração, estocagem, manuseio e carregamento do lastro nos vagões.

É válido ressaltar que os valores apresentados neste trabalho foram refeitos pela equipe de Engenharia da MRS, onde puderam constatar a mesma análise apresentada neste trabalho.

5.4.1. Pedreira Santa Mônica

No dia 06 de março de 2006, a equipe de engenharia de via da MRS visitou o fornecedor de lastro ferroviário situado na cidade de Juiz de Fora que atende o fornecimento de lastro para as residências de Bom Jardim (Ferrovia do Aço) e Francisco Bernardino (Linha do Centro).

Segundo o relatório elaborado pela Engenharia de Via, muitas das exigências estabelecidas pela MRS que asseguram a qualidade do material que será implantado na linha não são atendidas por este fornecedor.

- A pedreira não possui nenhum dos ensaios exigidos pela MRS, ou estão todos desatualizados;
- Conforme se pode observar na figura 4, o depósito de pó de pedra fica ao lado do depósito de pedra britada para lastro, acarretando uma constante contaminação pelo efeito do vento, agravada pelo efeito das águas pluviais que provocam a interpenetração das partículas de pó de pedra na brita para lastro.



Figura 4: Vista do depósito de pedra britada para lastro e pó-de-pedra

Tabela 6: Análise Granulométrica da Pedreira Santa Mônica

 MINISTÉRIO DA DEFESA INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FORTIFICAÇÃO E CONSTRUÇÃO ANÁLISE GRANULOMÉTRICA				
INTERESSADO: MRS		DATA: 22/02/06		
REGISTRO:		VISTO:		
AMOSTRA: Santa Monica		OPERADOR: Sgt Mozeika		
Peneiras		Material Retido (g)	Porcentagem em Peso	
Número	(mm)		% Retido	% Acumulada
2 1/2"	64	0	0,0	0,0
2"	50	4816,7	33,7	33,7
1 1/2"	38	6897,3	48,3	82,0
1"	25	2515	17,6	99,6
3/4"	19	60,6	0,4	100,0
1/2"	12,5	0	0,0	100,0
Prato		0	0,0	
Total		14289,6	100	
Dimensão Máxima Característica (mm)				
Módulo de Finura				
			8,82	

A tabela 6 mostra os resultados da análise laboratorial de granulometria ensaiadas pelo IME – Instituto Militar de Engenharia. Comparando com a distribuição granulométrica da especificação da MRS, percebe-se que estes valores não são condizentes. Vale lembrar que a curva granulométrica é o principal parâmetro a ser avaliado para se analisar a qualidade do lastro.

Desta forma, o fornecimento do material desta pedra deveria ser desprezado apenas por não atender aos parâmetros de granulometria.

Mesmo assim, foi realizado o ensaio de desgaste à abrasão “Los Angeles”, a porcentagem de material desgastado foi equivalente a 19,7%, padrão, segundo a especificação da MRS, aceitável para o lastro ferroviário.

Quanto a massa específica de agregado graúdo chegou ao valor de 2,73g/cm³.

5.4.2. Pedreira de Aparecida

Com o mesmo objetivo da visita anterior, no dia 14 de maio, a equipe de Engenharia, em visita técnica, foi à Pedreira de Aparecida, localizada em Aparecida – SP na rodovia Presidente Dutra – Km 75. A pedreira é responsável em fornecer lastro ferroviário para região do Vale do Paraíba e Serra do Mar.

Segundo o relatório elaborado pela equipe de Engenharia de Via, nota-se que a pedreira atende em uma série de condições estabelecidas pela MRS:

- Alguns dos principais ensaios exigidos pela MRS são feitos no próprio laboratório da pedreira e entregues aos responsáveis da MRS;



Figura 5: Detalhe da série peneira do laboratório da pedreira

- Acima tem-se uma figura de ensaio de granulometria utilizado na própria pedreira onde uma peneira de vibração manual é utilizada.
- Material dentro da faixa granulométrica, e com formato dos grãos apropriados (de acordo com índice de forma). A figura 6 mostra detalhe do formato e tamanho dos grãos;



Figura 6: Detalhe do formato e tamanho dos grãos

- Os pulmões de pedras são separados adequadamente para que não ocorra contaminação pelo vento ou pela chuva, conforme figura 7;



Figura 7: Vista dos pulmões de brita para lastro

Tabela 7: Análise Granulométrica da Pedreira Aparecida

 MINISTÉRIO DA DEFESA INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FORTIFICAÇÃO E CONSTRUÇÃO ANÁLISE GRANULOMÉTRICA				
INTERESSADO: MRS		DATA: 30/02/06		
REGISTRO:		VISTO:		
AMOSTRA: 3 Amostras		OPERADOR: Sgt Mozeika		
Peneiras		Material	Porcentagem em Peso	
Número	(mm)	Retido (g)	% Retido	% Acumulado
2 1/2"	64	0	0,0	0,0
2"	50	696,2	4,7	4,7
1 1/2"	38	2567,8	18,5	23,2
1"	25	7899,1	56,8	80,0
3/4"	19	1820,6	13,1	93,1
1/2"	12,5	699	4,3	97,4
3/8"	9,5	209,1	1,5	98,9
1/4"	6,3	0	0,0	98,9
4	4,8	150,1	1,1	100,0
Prato		0	0,0	
Total		13901,9	100	
Dimensão Máxima Característica (mm)				
Módulo de Fritura		2,14		

Assim com a distribuição granulométrica das amostras da pedreira anterior, os ensaios de granulometria realizados nas amostras da pedreira Aparecida indicaram resultados também pouco favoráveis às condições especificadas pela Engenharia da MRS.

A massa específica de agregado graúdo da amostra da pedreira Aparecida foi equivalente a 2,81 g/cm³.

Quanto ao resultado à Abrasão “Los Angeles”, não foi possível realizar o ensaio, pois o volume de material coletado foi muito baixo, porém sabe-se que a Engenharia fez este ensaio e comprovou que o valor não foi satisfatório.

5.4.3. Laudo técnico sobre Avaliação da qualidade do lastro da MRS

A equipe de Engenharia elaborou um laudo técnico que avaliou a qualidade do fornecimento de lastro dos quatro principais fornecedores:

- Serveng-Civilsan S.A. – Aparecida – SP
- Empresa de mineração J. Serra Ltda. – Japeri – RJ
- Mineração Montreal Ltda. – Sarzedo – Ibitaré – MG
- Pedreira Santa Mônica Ltda. – Retiro – Juiz de Fora - MG

Os principais aspectos avaliados nestas inspeções foram:

- Lay-out da planta física da Pedreira;
- Análise Visual do Material;
- Planta Geológica da Jazida;
- Ensaio de laboratórios;
- Estocagem e carregamento de Pedra.

Em conclusão ao relatório técnico a equipe de engenharia de via resumiu os resultados apresentados pelos fornecedores de acordo com a tabela 5 abaixo:

Tabela 8: Resumo da Avaliação dos Fornecedores de Pedra (Fonte: Engenharia de Via – MRS)

Engenharia de Via Permanente				
RESUMO DA AVALIAÇÃO DAS PEDREIRAS FORNECEDORAS DA MRS				
	Retiro(Santa Mônica)	Aparecida (Serveng)	Sarzedo(Montreal)	Japeri(J.Serrão)
Laboratório próprio	Não	Sim	Não	Não
Lay-out de produção	Agregado fino muito próximo do lastro ferroviário	Bom	Bom	Bom
Qualidade visual da brita	Predominância cúbica	Predominância cúbica	Evidência de partículas lamelares	Predominância cúbica
Ensaio de Granulometria	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Ensaio em elaboração
Ensaio de Abrasão ao Desgaste	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Ensaio em elaboração
Ensaio de massa específica real	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Ensaio em elaboração
Estocagem da brita	Adequada	Adequada	Adequada	Adequada
Embarcadouro	Não tem plataforma	Plataforma de carregamento	Plataforma de carregamento	Plataforma de carregamento
Volume recebido X Capacidade do vagão	Abaixo	Igual	Abaixo	Não foi possível avaliar
Disposição da pedra no vagão	Desbalanceada	Balanceda	Desbalanceada	Não foi possível avaliar
Licença Ambiental	Não apresentada	Não apresentada	Não apresentada	Apresentada

6. EQUIPAMENTO DE MANUTENÇÃO DE VIA PARA LASTRO

As exigências para o estabelecimento de uma sólida infra-estrutura, somente poderão ser atendidas com a utilização de máquinas e técnicas de execução de serviços atualizados. Para tanto, é necessário uma série de equipamentos que, além de aumentar a produtividade de manutenção, aumenta também a vida útil dos componentes da via.

Mecanização total consistente e sistemática de todas grandes operações:

- Aplicação de sistemas completos de máquinas, formados por unidades de elevado desempenho, com :
 - Seqüências de operações automatizadas e controladas por programas;
 - Eficiência uniforme e velocidade de deslocamento;
 - Tempo uniforme de montagem na frente de serviço;
 - Aplicação de máquinas de uso múltiplo, com a finalidade de reduzir o número de unidades de equipamentos em uso e evitar longos deslocamentos.

Aplicação de sistemas de máquinas somente poderão resultar sucessos globais, quando a tecnologia do usuário e a logística forem coordenadas de forma ideal, com as condições relacionadas com a via permanente e com os serviços de transporte.

Com relação à logística, é muito importante acentuar a importância do tempo produtivo, bem como o grau de utilização do equipamento. Somente tal medida proporciona considerável potencial de economia.

Manutenção do Equipamento

A elevada utilização das máquinas somente é possível, quando existir máxima disponibilidade e elevado grau de confiabilidade das máquinas em uso minimizando especialmente as interrupções quando em descolamento ou durante a operação, o que consegue graças ao estabelecimento de uma organização sistematicamente desenvolvida, para execução dos serviços e reparações.

Tal organização deve ser a responsável por:

- Manutenção e inspeção diária durante a fase de operação.
- Execução periódica dos serviços de manutenção e revisões gerais.
- Troca preventiva de unidades de trabalho, após número adequado de horas de operação.
- Rápida provisão de peças sobressalentes, principalmente as sujeitas a desgaste.
- Utilização do pessoal da máquina, para execução dos serviços de manutenção, inspeção e abastecimento.
- Sistema de premiação, para aumentar o esforço e a dedicação do pessoal.

Nos dias de hoje, os trens de manutenção mecanizada (MDZ), constituem a espinha dorsal da manutenção rotineira da via em muitos países.

O MDZ foi o primeiro sistema totalmente mecanizado de manutenção, com a máxima coordenação em termos de projeto, produção, operação e velocidade de deslocamento.

Quando entrou em serviço pela primeira vez, deveriam ser atendidos os seguintes critérios:

- Grau máximo de mecanização, ou seja, mecanização de todos os principais serviços de manutenção da via.
- Execução simultânea de todos serviços, inclusive lastramento, gradação e estabilização da via, uma só passada garantindo a geometria da via por longo período de duração.
- Produção alta e uniforme de todas as máquinas usadas, para utilização econômica mesmo em pequenos intervalos entre trens.
- Velocidade uniforme de deslocamento.
- Tempos uniformes de montagem na frente de serviço.
- Aplicação flexível do grupo independente de máquinas, para utilização dos intervalos disponíveis da via.
- Eliminação de serviços complementares, após a operação das máquinas, graças ao sistema simultâneo de medição.

Existe atualmente, vários equipamentos de manutenção que são específicos para utilização do lastro.

6.1. SOCADORA DE LASTRO

Segundo Selig (1992), a principal causa de perda de estabilidade lateral da via é devida a falta de lastro no berço dos dormentes (espaço entre um dormente e outro) e nos ombros do dormente (cabeceira da via). Dessa forma, o tráfego subsequente irá compactar o lastro de tal maneira, que devido a essa perda de estabilidade lateral pode ocasionar torção entre outros problemas de geometria da linha.

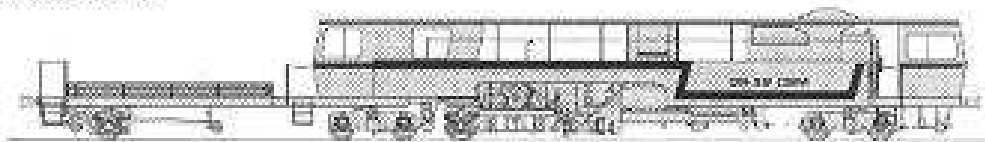
Para reduzir o efeito de perda de estabilidade lateral, costuma-se compactar o lastro através de duas maneiras:

- Vibração lateral da Via, usando um Estabilizador Dinâmico de Via;
- Compactador superficial de ombro e berço de linha

A socadora de lastro é um equipamento automotivo, que por meios de rolos que abraçam o boleto do trilho é capaz de erguer a linha para conduzi-la num alinhamento mais adequado.

Como máquina líder do MDZ (trem de manutenção de linha da via), a socadora de ação contínua 09-32 (ver figura 8) restabelece padrão de qualidade de execução e, acima de tudo, velocidade de operação média de 1600M/II, com rendimento pico de até 2000 m/h.

Duomatic 09-32 CSM



09-3X

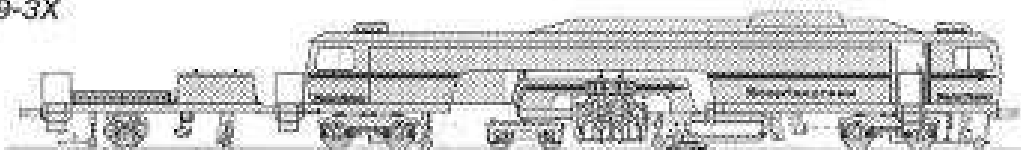


Figura 8: Socadoras da série 09-32 (Fonte: Plaster)

As pontas socadoras compostas debaixo do equipamento, conforme figura 9 são capazes de penetrar no lastro entre os dormentes pressionando-o de tal maneira a dar maior conformidade e re-arranjo ao material granular elevando ou rebaixando a camada de lastro quando necessário.

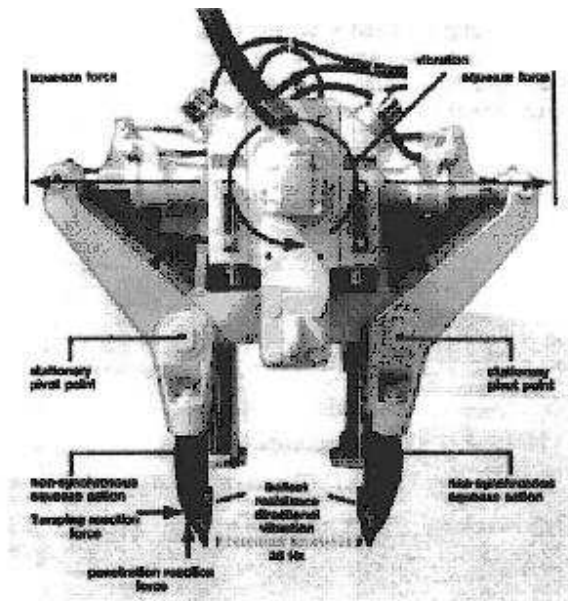


Figura 9: Ponta socadora anexa no equipamento de socaria (Fonte: Selig 1992)

Selig (1992) faz uma rápida demonstração na seqüência de eventos envolvidos no serviço de socaria:

- A) A socadora de posiciona na via acima do dormente que será socado;
- B) Os rolos de içamento da grade erguem os dormentes liberando espaços vazios abaixo dos dormentes;
- C) As pontas das socadoras penetram no lastro abaixo dos dormentes por ambos os lados;
- D) As pontas socadoras empurram o lastro para os vazios abaixo dos dormentes e eleva o posicionamento da grade;
- E) As pontas de socaria são retiradas do lastro, os rolos de içamento posicionam a grade novamente por sobre o lastro, e o equipamento se posiciona no próximo dormente a frente.

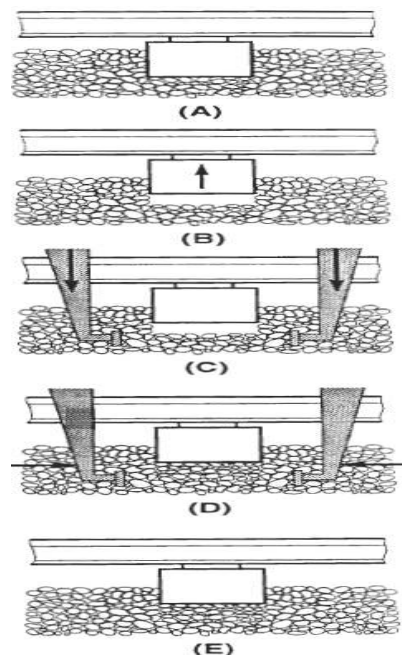


Figura 10: Processo executivo de socaria (Fonte Selig - 1992)

A socadora de posiciona na via acima do dormente que será socado; Os rolos de içamento da grade erguem os dormentes liberando espaços vazios abaixo dos dormentes; As pontas das socadoras penetram no lastro abaixo dos dormentes por

ambos os lados; As pontas socadoras empurra o lastro para os vazios abaixo dos dormentes e eleva o posicionamento da grade; As pontas de socaria são retiradas do lastro, os rolos de içamento posicionam a grade novamente por sobre o lastro, e o equipamento se posiciona no próximo dormente a frente.

6.2. REGULADORA

Um perfil correto do lastramento cria as condições necessárias à fundação da boa geometria da via. As Reguladoras e distribuidoras de lastro, podem ser providas com os seguintes equipamentos:

- Arado para trabalhar na parte superior do lastramento.
- Arados para os ombros e laterais.
- Dispositivos de vassoura, para limpeza da linha, combinando com correia transportadora transversal.
- Correia transportadora inclinada e silo para lastro.
- Escova para limpeza das fixações.

O rendimento das reguladoras deve ser sincronizado com o da socadora contínua.

Uma máquina adequada, de elevado rendimento, para se usar em conjunto com as 09-CSM é a reguladora e a distribuidora universal de lastro e USP-6000. A figura 10 mostra um modelo esquemático de uma reguladora. Dotada de um silo para 13m³ de lastro, possui uma correia larga, que comanda o processo de enchimento, levando o lastro para os dispositivos de descarga. O lançamento do lastro do silo é

efetuado por quatro correias com deslocamentos laterais, o que permite uma distribuição precisa do lastro na via ou no AMV.

A USP 6000, mostrada na figura 11, pode recolher ou distribuir o lastro tanto em linhas corridas, como também, em AMV's e cruzamentos.

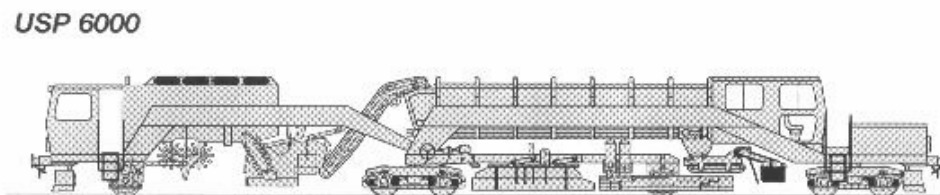


Figura 11: Modelo esquemático de reguladora USP 6000 (Fonte - Plaster)

Devido à distribuição mais uniforme do lastro ao longo da via, especialmente com máquinas reguladoras providas de silo, muitas toneladas de lastro podem ser economizadas anualmente.

O problema da eliminação ou da redução do número de restrições de velocidade, bem como do reforço de estabilidade de via, após a execução dos serviços de manutenção, foi resolvido com o desenvolvimento da máquina estabilizadora, dinâmica de via (DGS), que completa o sistema MDZ.

6.3. DESGUARNECEDORA DE LASTRO

A desguarnecedora de lastro é um equipamento de via que visa a retirada total ou parcial do lastro da via para uma limpeza de finos e sujeira dos mesmos através de um peneiramento e retorna para linha apenas os grãos desejados.

Esta máquina é equipada com sistemas de escavação sem-fim (arado com correntes) que passa embaixo da via retirando todo o material de lastro. Passando

por peneiras vibratórias os finos e as sujeiras são removidas dos grãos maiores e são lançadas para fora da linha. O lastro limpo é retornado para a via para reutilização.

Selig (1992) alerta para os cuidados que devem ser tomados referentes ao tamanho da camada da plataforma que será retirada e sua largura de corte deve ser suficiente para que a água acumulada no lastro possa fluir livremente pelos canais de drenagem laterais entre os vazios.

De acordo com H. Frazier (1889), a estabilidade da via depende da resistência e da permanência do leito da via e das estruturas sobre as quais ele se apoia: Qualquer fator que o proteja de danos ou que venha a impedir degradação prematura, deve ser cuidadosamente observado. O pior inimigo da linha é "a água" e quanto mais ela for mantida fora da via ou quanto mais rápido puder ser retirada da via, tanto mais a linha ficará protegida. Portanto, a primeira e mais importante providência a ser tomada para se ter uma boa via, é drená-la.

Hoje, mais de cem anos passados, a declaração ainda é aplicável e, provavelmente, ganhou muito em importância, na medida em que o tráfego é adensado, aumentadas as cargas por eixo e por roda, e velocidades cada vez mais elevadas.

A manutenção adequada do lastro, da plataforma e das valetas, nunca deve ser diferida, por razões derivadas de aumento de custos, uma vez que desprezo pela manutenção, somente leva ao acentuado desgaste da via permanente, do material rodante, a custos de recuperação cada vez mais elevados.

Se o lastro não estiver limpo não pode ele preencher suas funções adequadamente, uma vez que seu leito não se acha em condições ideais. A limpeza do lastro torna-se, assim, necessária, e pode ser feito com a utilização de máquinas para desguarnecimento e limpeza do lastro.

Tanto quanto se sabe, não existem padrões disponíveis, que mostrem, diretamente, a conexão entre o grau de poluição e constância da geometria da via. Mas, como regra geral, pode dizer-se que:

- A limpeza do lastro torna-se indicada quando ele estiver com poluição acima de 25%.
- A limpeza do lastro é absolutamente necessária quando a poluição for superior a 40%.

A experiência internacional confirma que a durabilidade da geometria da via decresce com a poluição do lastro.

Quando o lastro está poluído, a função de distribuição da carga, bem como, a função de drenagem total do subleito somente podem ser restabelecidas pelo seu desguarnecimento e limpeza, operação esta que não é somente de manutenção, mas também, de remodelação da via.

O rendimento das máquinas para desguarnecimento e limpeza do lastro, não é medida em metros/hora, mas em metros cúbicos, ou toneladas/hora, e é determinado, principalmente, pelos componentes de escavação e de peneiramento.

De acordo com o padrão tecnológico atual, é possível, para máquinas individuais, com um conjunto de peneiramento, obter-se rendimentos de até 650m³/h (ou 1.000 t/h). A máquina RM-80 (Figura 12), é capaz de atingir tal produção.

RM 80 U

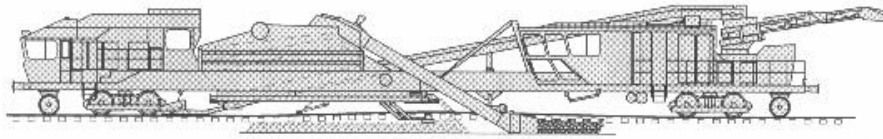


Figura 12: Modelo esquemático de uma RM 80 – U (Fonte - Plaster)

É importante atingir médias elevadas mesmo sob as mais diversas condições, o que se consegue com:

- um robusto sistema de escavação, com potente acionamento hidráulico, capaz de vencer obstáculos inesperados, que possam existir dentro do lastro. As correntes de escavação, com lâminas largas de 2 a 5 unhas escarificadoras, garantem um elevado rendimento, mesmo com lastro incrustado;
- uma ou duas peneiras vibratórias com grande área, que seja tão ampla quanto possível.

6.4. STONEBLOWER

O “Stoneblower” não é um equipamento de uso corrente, trata-se ao mesmo tempo, de uma alinhadora e niveladora. As ações de alinhamento e nivelamento, além da determinação dos ajustes “geométricos” requeridos, determina a quantidade necessária de lastro sob cada dormente, tudo via computacional. Após o deslocamento da grade para a posição preestabelecida para o ajuste, o equipamento introduz tubos através do lastro, lateralmente aos dormentes, até o nível do espaço vazio criado com o levantamento da grade; é “soprado”, por ar comprimido, um volume de lastro novo, apenas o necessário para o preenchimento do espaço vazio. Segundo Muniz (2002), para pequenos levantamentos, este tratamento é mais eficiente que a socaria. A argumentação é que a socaria desfaz a

compactação promovida pelo tráfego até uma profundidade de cerca de 15cm, enquanto o processo “stoneblowing” apenas preenche o pequeno “gap” entre a superfície do lastro e a face inferior do dormente na sua região de apoio, sem perturbar a massa de lastro subjacente (BRADSHAW, 1997). Este equipamento é utilizado, em geral, em vias de passageiros, nas linhas de grande velocidade, cujo controle de defeitos é extremamente rigoroso.

6.5. COMPACTADORA

O equipamento aplica no lastro, por meio de placas, pressões verticais de intensidade determinadas, acompanhadas de ação vibratória, em áreas, tanto no meio da grade, quanto nos ombros. É usual serem utilizadas placas, conformando os taludes dos ombros do lastro, para servir de confinamento lateral e impedir fuga de lastro durante a vibração.

Segundo SELIG e WATERS (1994), é sempre aconselhável a aplicação de compactação após socaria; cria-se um aumento substancial de densidade, compensando a perda de resistência lateral causada pela socaria e aumentando a capacidade de retensionamento da via; é reduzida de forma significativa a acumulação de recalques por tráfego, mantendo por mais tempo o padrão de geometria da via.

A utilização das compactadoras não é da prática brasileira de manutenção. São de tradicional utilização nas linhas de passageiros de grande velocidade das ferrovias européias.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os estudos comparativos com outras operadoras ferroviárias em outros países e as análises bibliográficas que estão contidas neste trabalho, leva-nos a obter as seguintes conclusões:

- Não se pode garantir um comportamento seguro e de qualidade da Via Permanente, sem que os investimentos em tecnologia dos materiais e dos serviços acompanhem na mesma intensidade a demanda de aumento de produção e evolução tecnológica;
- Os fundamentos teóricos de Mecânica dos Solos, com ênfase na Mecânica dos Pavimentos são ferramentas importantes para auxiliar, explicar e responder os comportamentos elasto/plásticos da via permanente;
- É necessário conscientizar e enfatizar a importância da garantia de um material com qualidade para que o fornecedor de pedra britada para lastro possa investir em controle de qualidade. Só dessa forma, ele será capaz de acompanhar a demanda de mercado gerada pela engenharia de via, principalmente para “heavy haul”;
- A quebra do material granular é a principal causa de contaminação de lastro, o aumento de impactos devido a passagem de trens, ocasiona uma situação de quebra ainda pior e as propriedades de resiliência do lastro ficam perdidas;
- As principais anomalias de via, estão relacionadas a situação de contaminação de lastro, como empeno e torção, podendo levar à ruptura de fixações e placas de apoio e solicitações excessivas nos dormentes;

- Sugere-se a implantação de um fiscal de pedreira que controle a qualidade do material que está sendo embarcado na pedreira, confira se o volume transportado está adequado ao volume medido pelas notas de pagamento e que todos os ensaios exigidos pela Engenharia de Via sejam executados de maneira correta e que seus resultados estejam dentro dos parâmetros aceitáveis;
- As ações de socaria, induzem quebras ao lastro, aumentando ainda mais a quantidade de contaminantes e finos. A quebra excessiva do lastro com presença de água e um alto teor de calcário e sílica podem ocasionar um enriquecimento (efeito de cimentação) do lastro, tornando a plataforma rígida;
- A experiência de ferrovias de outros países apontam que a maior fonte de contaminação do lastro ferroviário é devida a abrasão e quebra de suas partículas, o que confirma as análises realizadas neste trabalho
- Um material de pedra britada de qualidade, segundo todas as condições citadas neste trabalho, garante uma vida útil maior do lastro, menor ciclo de limpeza e manutenção nas áreas onde são aplicados e aumentam a confiabilidade e segurança da via e diminuindo os custos de manutenção da mesma;
- Sugere-se que seja criada uma nova especificação técnica para o lastro, realizada pelo setor de engenharia de via das empresas operadoras ferroviárias, que determinem exatamente uma distribuição granulométrica mais adequada a capacidade de carga da via, que a mineralogia e as propriedades físicas do minerais estejam bem evidenciadas e que a **tabela de Dureza Mohs x Abrasão Los Angeles** seja considerada na especificação da pedra britada para lastro;
- Sugere-se que seja realizado um novo estudo para aprimorar os mecanismos de monitoramento do lastro e de seus efeitos na via, analisando os custos de manutenção do lastro e considerando os nocivos efeitos de um lastro contaminado pode acarretar a via permanente e ao material rodante.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ⇒ AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION – AREMA, “**Manual for Railway Engineering**” – Vol. I e II, 1991
- ⇒ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – EB-655 (1991),
“**Lastro – Padrão**”
- ⇒ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – P – NB – 497, “**Lastro para Via Ferroviária**”
- ⇒ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – P – PB – 272,
“**Ferramenta de Via Permanente**”
- ⇒ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7418 (MB – 893),
“**Determinação da massa específica aparente, da absorção de água e da porosidade aparente do material**”
- ⇒ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6954 (MB – 894),
“**Lastro – Padrão – Determinação da forma de material**”
- ⇒ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6953 (MB – 892),
“**Lastro – Padrão – Determinação da Resistência à compressão axial**”
- ⇒ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 8697, “**Lastro – Padrão – Determinação do Teor de Fragmento Macio e Friável**”.
- ⇒ BRINA, H.L., **Estradas de Ferro 1 – Via Permanente**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1979

- ⇒ CASTRO e LAMY, 1994; **Ministério dos Transportes**, 2001;

- ⇒ INDRARATNA B., KHABBAZ H., SALIM, W. **Ballast – Formation Track Interaction Mechanism based on Large Scale laboratory testing**, Conference on Railway Engineering, Darwin, 2004.

- ⇒ LIMA, H. A. D., Procedimento para Seleção de Método para Manutenção da Geometria da Superestrutura Ferroviária, IME, Rio de Janeiro, 1998.

- ⇒ RAYMOND G. P. Ballast Production Control, Notas de Leituras (sem data)

- ⇒ SCHRAMM, G. Permanent way technique and economy. Darmstadt, Otto Ellsner, Mexico, 1975

- ⇒ SELIG, E.T. e WATERS, J.M. **Track Geotechnology and Substructure Management**. London, Thomas Telford Services Ltd., 1994

- ⇒ SILVA, L. F. M., **Fundamentos teórico-experimentais da mecânica dos pavimentos ferroviários e esboço de um sistema de gerência aplicado à manutenção da via permanente**, Coope, Rio de Janeiro, 2002.

- ⇒ SILVA, F. C. M. e VIDON, W. J. **Preventive Gradual On Cycle Grinding – A First for MRS in Brazil**, 8th International Heavy Haul Conference, Rio de Janeiro 2005

- ⇒ SPADA, J. L. G, **Uma Abordagem de mecânica dos Pavimentos Aplicada ao Entendimento do Mecanismo de Comportamento Tensão-Deformação da Via Férrea**

- ⇒ TORRACA, N. A., **Produtividade e Qualidade do Serviço de Transporte Ferroviário de Cargas**, Rio de Janeiro, 1996.