

PROGRAMA DE EXPERIMENTOS PARA A ANÁLISE DE VIABILIDADE DO USO DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS NAS ESTRADAS E ACESSOS DAS MINAS DE ITABIRA



Rubens José de Mendonça

Monografia do Curso MBA Mineração promovido pela CVRD e EPUSP

Itabira, Agosto de 2003



SUMÁRIO

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

Resumo

“Abstract”

1 – INTRODUÇÃO

2 – REVISÃO DA LITERATURA E RECURSOS UTILIZADOS

3 – INTRODUÇÃO À ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE SOLOS

3.1 – Problemas em Estradas Não Estabilizadas

3.2 – Projeto e Construção de Estradas de Mineração

3.3 – Estabilização de Solos

3.4 – Poeiras

3.5 – Benefícios Esperados

3.5.1 - Resistência ao Rolamento

3.5.2 - Manutenção de Estradas e Acessos

3.5.3 - Umidificação das Estradas e Acessos

4 – GANHOS POTENCIAIS MENSURÁVEIS

5 – OPÇÕES CONSIDERADAS

5.1 – Solo-Cimento

5.2 – Solo-Cal

5.3 – Solo-Escória

5.4 – Solo-Cloreto

5.5 – Solo-Cimento Sorel

5.6 – Produtos Industrializados

5.7 – Outras Opções

6 – TESTE PRELIMINAR REALIZADO COM O SOLO_CIMENTO

7 – PROPOSTA DE PROGRAMA EXPERIMENTAL

7.1 – Descrição dos Testes

7.2 – Materiais, Recursos e Equipamentos Necessários

7.3 – Cuidados a Serem Observados

7.4 – Estimativa de Custos

7.5 – Seqüência Construtiva

7.6 – Cronograma

8 – CONCLUSÃO

Bibliografia

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Resistência ao rolamento para equipamentos de pneus em função do tipo e das condições das estradas

Tabela 3.2 – Simulação do efeito da resistência ao rolamento sobre o desempenho e custo dos caminhões 240 st das Minas de Itabira

Tabela 3.3 – Custos de operação e manutenção das motoniveladoras em operação nas Minas de Itabira durante o ano de 2002

Tabela 3.4 – Custos de forragem das estradas e acessos das Minas de Itabira durante o ano de 2002

Tabela 3.5 – Custo de manutenção e operação dos caminhões-tanque em operação nas Minas de Itabira durante o ano de 2002

Tabela 4.1 – Estimativa de ganhos potenciais mensuráveis para as Minas de Itabira

Tabela 7.1 – Quantidades requeridas de estabilizadores e aditivos para a realização dos testes de campo

Tabela 7.2 – Estimativa de custos dos testes a serem realizados

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Imagens com exemplos de problemas em estradas não estabilizadas.

Figura 3.2 – Resistência ao rolamento versus consumo de combustível para um percurso plano de 3000 m.

Figura 3.3 – Gráficos de desempenho e custo dos caminhões 240 st das Minas de Itabira em função da variação da resistência ao rolamento.

Figura 5.1 – Consumo e custo do cimento em função da espessura da camada de solo e da proporção de cimento na mistura.

Figura 5.2 – Estrada estabilizada com cloreto de magnésio (bischofita). Local: Acesso à Minera El Tesoro – Chile.

Figura 5.3 – Estabilização de estrada com o emprego de cloreto de sódio (sal comum). Local: Chile.

Figura 5.4 – Imagens de uma estrada estabilizada com Cimento Sorel. Local: Mina Brumado – Magnesita – Brasil.

Figura 5.5 – Etapas do processo de estabilização de uma estrada com o emprego de copolímero acrílico. Local: Estados Unidos.

Figura 6.1 – Fotos da construção do trecho-teste de solo-cimento.

Figura 7.1 – Cronograma sugerido para a realização dos testes de campo.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi o de conduzir uma ampla análise técnica e econômica de viabilidade do uso de estabilizadores químicos para a estabilização dos pisos dos acessos e estradas das Minas de Itabira. Condições precárias de piso geram, além da questão da poeira, elevados custos para a empresa, como resultado da queda de produtividade dos caminhões, maiores custos de operação e manutenção dos equipamentos e de maior demanda de manutenção das estradas e acessos. Contribuem, também, para criar condições mais inseguras na mina. A solução proposta por este trabalho é o emprego de um estabilizador químico de solos, a ser selecionado após a realização de testes de campo e levando-se em consideração questões técnicas e econômicas. Acredita-se que o estabilizador, aplicado em um solo laterítico disponível na mina, possa promover, ao mesmo tempo, uma base estabilizada que suporte o tráfego intenso de caminhões fora-de-estrada de grande porte e uma superfície com baixa resistência ao rolamento, adequado coeficiente de atrito e com a menor geração possível de poeiras. O presente documento inclui uma breve abordagem do processo de estabilização química de solos, os benefícios que podem ser esperados decorrentes de estradas e acessos bem estabilizados e os ganhos monetários possíveis de serem alcançados no caso específico das Minas de Itabira. São abordadas, também, diferentes alternativas de estabilizadores químicos de solos e é apresentada uma proposição detalhada dos testes de campo que deverão ser realizados para a seleção da melhor alternativa de estabilização de pisos para as Minas de Itabira.

“Abstract”

The purpose of this work was to conduct a broad technical and economical feasibility analysis of using chemical stabilizers to improve the haul roads and accesses of Itabira Mines. Precarious conditions of roads cause, besides dust, high costs for the company, as a consequence of loss of productivity of the trucks, higher operation and maintenance costs and larger demand of roads and accesses maintenance. They contribute, also, to create unsafer conditions for the mine operations. The solution proposed by this work is to use a chemical soil stabilizer, to be selected after the accomplishment of field tests, taking into account technical and economical aspects. This stabilization process is expected to promote, at the same time, a stabilized base that supports the intense traffic of heavy off-highway trucks as well as road surface with low rolling resistance, appropriate adhesion coefficient and with the smallest possible generation of dusts. This document includes a short approach of the soil chemical stabilization process, the benefits that can be expected and the possible economic return in the case of Itabira Mines. Different kinds of chemical stabilizers are evaluated and a detailed proposition for field tests is presented to help selecting the best solution for Itabira Mines.

1 – INTRODUÇÃO

O presente documento compreende a monografia de Rubens José de Mendonça para o curso MBA Mineração, promovido pela Companhia Vale do Rio Doce – CVRD - e pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP - e realizado entre os anos de 2001 e 2003.

O objetivo deste trabalho foi o de conduzir uma ampla análise técnica e econômica de viabilidade do uso de estabilizadores químicos para a estabilização dos pisos dos acessos e estradas das Minas de Itabira.

As minas de minério de ferro de Itabira pertencem ao Sistema Sul da CVRD e englobam as denominadas Minas Cauê, do Meio e Conceição, localizadas na cidade de Itabira – MG. As Minas do Meio, por sua vez, subdividem-se em outras unidades (Chacrinha, Camarinha, Onça, Esmeril, Periquito e Dois Córregos), referidas como minas, mas que constituem-se, na verdade, em frentes de lavra.

A principal razão para a escolha deste tema decorreu da constatação de que, apesar de todos os esforços empreendidos, as condições dos pisos das estradas e dos acessos das Minas de Itabira são bastante ruins, especialmente no período de chuvas. Já no período de seca, o problema maior é a geração de poeiras resultantes, entre outras causas, do tráfego intenso de equipamentos, tendo como agravante a proximidade entre as minas e a cidade de Itabira.

Estas condições precárias de piso geram, além da questão da poeira, elevados custos para a empresa, como resultado da queda de produtividade dos caminhões, maiores custos de operação e manutenção dos equipamentos e de maior demanda de manutenção das estradas e acessos. Contribuem, também, para criar condições mais inseguras na mina.

No caso particular das Minas de Itabira, a maior parte das estradas e acessos está posicionada sobre terrenos de baixa capacidade de suporte, principalmente xistos, quartzitos e intrusivas em estágios intensos de alteração. Para minimizar este problema, adota-se a prática de forragem das estradas e acessos com materiais de empréstimo, porém os resultados não são satisfatórios.

A solução proposta por este trabalho é o emprego de um estabilizador químico de solos, a ser selecionado após a realização de testes de campo e levando-se em consideração questões técnicas e econômicas. Acredita-se que o estabilizador, aplicado em um solo laterítico disponível na mina, possa promover, ao mesmo tempo, uma base estabilizada que suporte o tráfego intenso de caminhões fora-de-estrada de grande porte e uma superfície com baixa resistência ao rolamento, adequado coeficiente de atrito e com a menor geração possível de poeiras.

O presente documento inclui uma breve abordagem do processo de estabilização química de solos, os benefícios que podem ser esperados como consequência de estradas e acessos bem estabilizados e os ganhos monetários possíveis de serem alcançados no caso específico das Minas de Itabira.

São abordadas, também, diferentes opções de estabilizadores químicos de solos que podem vir a se constituírem em soluções técnica e economicamente atrativas. Finalmente, é apresentada uma proposição detalhada dos testes de campo que deverão ser realizados para a seleção da melhor alternativa de estabilização de pisos para as Minas de Itabira. Esta proposta de testes será encaminhada à Gerência Geral de Operação das Minas de Itabira, a qual caberá definir as ações de continuidade deste trabalho.

A presente análise limitou-se às Minas de Itabira, porém pode ser aplicada, com os devidos ajustes, a qualquer mina ou outra atividade em que as condições de piso não sejam suficientemente adequadas.

Soluções que envolvam o uso de estabilizadores químicos para a melhoria das condições de tráfego de estradas não se constituem em nenhuma novidade em outras partes do mundo. No setor de minerações existem diversos casos bem sucedidos no exterior. No Brasil, as aplicações nesta área são ainda poucas, recentes e em caráter experimental, podendo ser citados os casos das Mina Brumado (Cimento Sorel e cloreto de magnésio) e das minas da antiga Ferteco e N4E (cloreto de cálcio).

2 - REVISÃO DA LITERATURA E RECURSOS UTILIZADOS

A primeira etapa deste trabalho consistiu em uma revisão da literatura. As publicações consultadas, foram, basicamente, livros clássicos de mineração a céu aberto e de projeto, construção e manutenção de estradas.

O recurso mais utilizado, entretanto, foi a Internet, que é uma fonte extremamente importante de informações atualizadas e de obtenção de catálogos técnicos de produtos.

Outro recurso muito utilizado foi a realização de reuniões com empresas ou profissionais com experiência em estabilização de solos.

Testes de laboratório foram realizados para algumas das opções consideradas, com o objetivo principal de fornecer subsídios para a realização dos testes de campo. Estes testes de laboratório foram realizados a pedido das empresas fornecedoras dos produtos e, compreenderam, basicamente, ensaios de resistência à compressão e de capacidade de suporte.

No dia 10 de julho de 2003 foi realizado um teste preliminar em um trecho de 50 x 15 metros de pista nas Minas de Itabira, no qual foi testado o solo-cimento. Este teste serviu como uma experiência que será muito útil para a realização dos demais testes que estão sendo propostos neste trabalho. Detalhes da realização deste teste preliminar são apresentados no capítulo 6.

3 – INTRODUÇÃO À ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE SOLOS

3.1 - Problemas em Estradas Não Estabilizadas

Na maior parte das minas em todo o mundo os procedimentos de construção de estradas e acessos são baseados muito mais na experiência prática do que em critérios econômicos.

Entretanto, com o constante incremento do porte dos caminhões e considerando que o custo de transporte responde por até 50% dos custos totais de lavra, a importância de estradas e acessos bem projetados e construídos torna-se cada vez maior.

A figura 3.1 mostra imagens de alguns dos problemas normalmente encontrados em estradas não estabilizadas, como irregularidades na pista, borrachudos, buracos, trincas, poeiras e obstáculos.

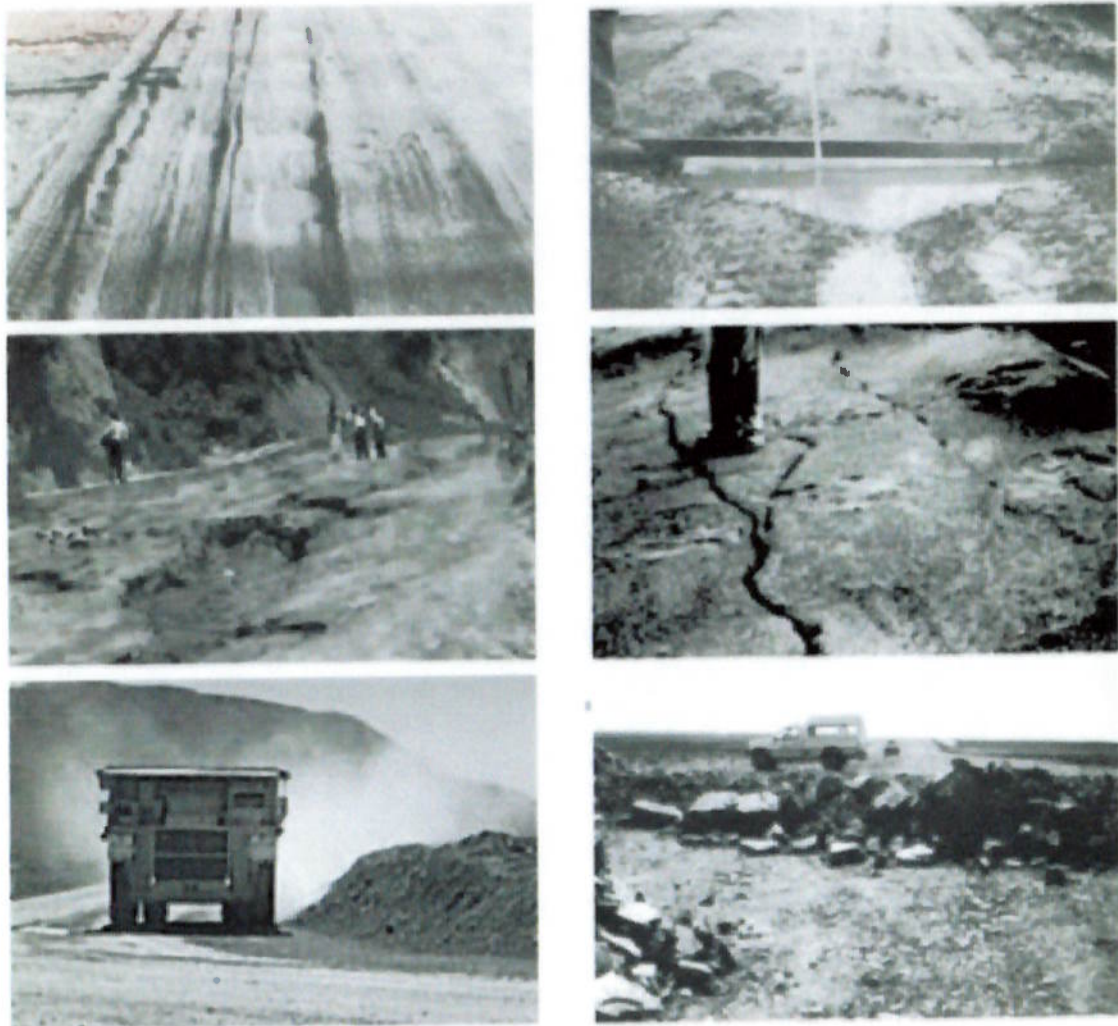


Figura 3.1 - Imagens com exemplos de problemas em estradas não estabilizadas.

3.2 - Projeto e Construção de Estradas de Mineração

Alguns dos parâmetros pertinentes a uma estrada de transporte de uma mina são definidos durante o projeto da estrada, tais como: inclinação das rampas, largura das pistas, perfil das curvas e cotovelos, largura das praças de carregamento e basculamento e arranjo de tráfego (mudanças de direção, cruzamentos, etc). Especial atenção deve ser dada para assegurar condições adequadas de drenagem de uma estrada.

Pode-se dividir uma seção transversal de uma estrada em quatro camadas distintas, denominadas subleito, subbase, base e superfície de rolamento ou revestimento. O subleito

constitui-se no terreno natural existente sobre o qual a estrada se situa. A subbase, a base e o revestimento são camadas de materiais em forma de aterro de qualidade crescente que são sucessivamente construídas sobre o subleito da estrada.

A subbase é uma camada complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura da base.

A base é a camada destinada a resistir às ações dos veículos e a transmiti-las, de forma controlada, ao subleito.

O revestimento é a camada destinada a resistir diretamente às ações do tráfego, a criar condições de impermeabilização para a estrutura da estrada, a melhorar as condições de rolamento, no que se refere ao conforto e à segurança e a transmitir, de forma atenuada, as solicitações do tráfego às camadas inferiores.

Ao se projetar a camada de revestimento de uma estrada, os dois maiores cuidados referem-se à sua capacidade de adesão, ou atrito, e à sua resistência ao rolamento.

A adesão é importante no sentido de evitar que os veículos deslizem sobre a pista e a resistência ao rolamento influi na velocidade e na produtividade dos caminhões, principalmente em se tratando de uma operação mineira

3.3 - Estabilização de Solos

A estabilização de solos pode ser definida como sendo o processo de alteração ou preservação de uma ou mais propriedades do solo com o propósito de melhorar as suas características e a sua performance. Em termos de estradas, um solo é estável se ele apresenta pouca ou nenhuma alteração volumétrica e resiste às deformações sob a ação de cargas resultantes do tráfego de veículos.

A estabilização de solos pode ser dividida em duas categorias: mecânica e química. Os métodos mecânicos consistem, basicamente, na mistura de solos ou materiais de duas ou mais gradações granulométricas para se alcançar as especificações desejadas. Após a mistura e o espalhamento, o solo é umidificado até alcançar a umidade ótima de compactação e, então, compactado com o emprego de equipamentos convencionais.

A estabilização química de solos compreende a adição ao solo, natural ou de empréstimo, de produtos ou aditivos em quantidades adequadas, visando melhorar o seu manuseio e/ou sua capacidade de suporte. Os principais aditivos empregados com este propósito são: cimento portland, cal, cloretos de cálcio, magnésio ou sódio, betumes, resinas acrílicas e outros compostos orgânicos, lignosulfonatos e diversos outros produtos com diferentes denominações comerciais.

A escolha do melhor estabilizador e a determinação da quantidade a ser utilizada depende do tipo de solo disponível e do grau de melhoria que se deseja. Uma boa caracterização do solo, através de testes e ensaios de laboratório, é fundamental para a seleção do estabilizador e para a definição de diversos parâmetros, como a quantidade de estabilizador, a umidade ótima de compactação e outros. De um modo geral, pequenas quantidades de aditivos são requeridas para somente melhorar algumas propriedades do solo, como gradação, trabalhabilidade e plasticidade. Quando se deseja aumentar sua

capacidade de suporte e prolongar sua durabilidade, quantidades maiores de aditivos são requeridas.

O sucesso de um processo de estabilização depende também do grau de homogeneização da mistura entre os diferentes materiais. O procedimento de mistura em plantas fixas ou móveis é preferível. Entretanto, outros dispositivos de mistura como escarificadores, discos aradores e betoneiras podem apresentar resultados satisfatórios.

3.4 - Poeiras

Poeiras provenientes de estradas e acessos não pavimentados não são somente um incômodo mas também causam condições inseguras de tráfego, na medida em que reduzem a visibilidade dos motoristas. A poeira também afeta a saúde dos usuários e aumenta o custo de manutenção dos veículos e equipamentos.

Se o material da estrada é facilmente desagregado pelo tráfego ou mesmo naturalmente, haverá uma abundância de material fino solto que tenderá a gerar poeiras. Os materiais da superfície de uma estrada devem possuir uma quantidade de finos necessária apenas para atuar como ligante das partículas de maiores dimensões. Entretanto, um excesso de finos resultará que essas partículas sejam lançadas à atmosfera quando esforços sucessivos são aplicados pelos pneus dos veículos. Todas as estradas que não possuem sua superfície “selada” irão gerar poeiras.

3.5 – Benefícios Esperados

Os benefícios provenientes da estabilização de piso das estradas e acessos das Minas de Itabira podem ser classificados em duas categorias:

1 - Benefícios decorrentes da melhoria das condições de estabilidade dos pisos e das condições de tráfego dos caminhões:

- Aumento da produtividade dos caminhões, devido à redução da resistência ao rolamento e à eliminação ou minimização de elementos redutores de velocidade (buracos, irregularidades, borachudos, pedras, poeiras, pistas escorregadias);
- Redução dos custos de operação e manutenção dos caminhões (combustível, pneus, peças e reparos);
- Redução dos custos de manutenção de estradas, acessos e frentes de lavra, como consequência da diminuição de horas trabalhadas de motoniveladoras e da redução da quantidade de material de forragem;

2 – Benefícios provenientes da redução do nível de emissão de poeiras geradas pelo tráfego de caminhões e demais equipamentos e veículos da mina:

- Condições de operação mais seguras;
- Melhor ambiente de trabalho;

- Redução dos custos de umidificação de estradas e acessos, como consequência da diminuição das horas trabalhadas de caminhões-tanque;
- Atenuação dos problemas com a comunidade;
- Atendimento de exigências de órgãos ambientais;
- Redução de custos de manutenção de equipamentos (filtros, lubrificantes, peças e reparos).

3.5.1 – Resistência ao Rolamento

A resistência ao rolamento de uma estrada pode ser entendida como a combinação de forças que um veículo deve sobrepor para mover-se sobre uma dada superfície. Normalmente, é expressa como uma “porcentagem de rampa equivalente”, devido à semelhança entre seus efeitos e os efeitos das rampas propriamente ditas sobre o desempenho dos equipamentos.

A resistência ao rolamento afeta a produtividade dos caminhões da frota, o consumo de combustível e a vida útil de muitos de seus componentes.

A tabela 3.1 apresenta os percentuais de resistência ao rolamento em função dos diferentes tipos de estrada.

Tabela 3.1 - Resistência ao rolamento para equipamentos de pneus em função do tipo e das condições da estrada.

	Resistência ao Rolamento (%)
Estrada dura e compactada, que não cede sob peso (concreto ou asfalto)	2
Estrada firme que cede levemente sob peso	3
Estrada de terra, estabilizada, que cede sob peso (penetração dos pneus de 2 a 3 cm)	5
Estrada de terra não estabilizada (penetração dos pneus de 10 a 15 cm)	7,5
Estrada de terra solta, barrenta ou arenosa	10 a 20

O efeito da resistência ao rolamento no consumo de combustível de um caminhão fora-de-estrada está ilustrado na figura 3.2.

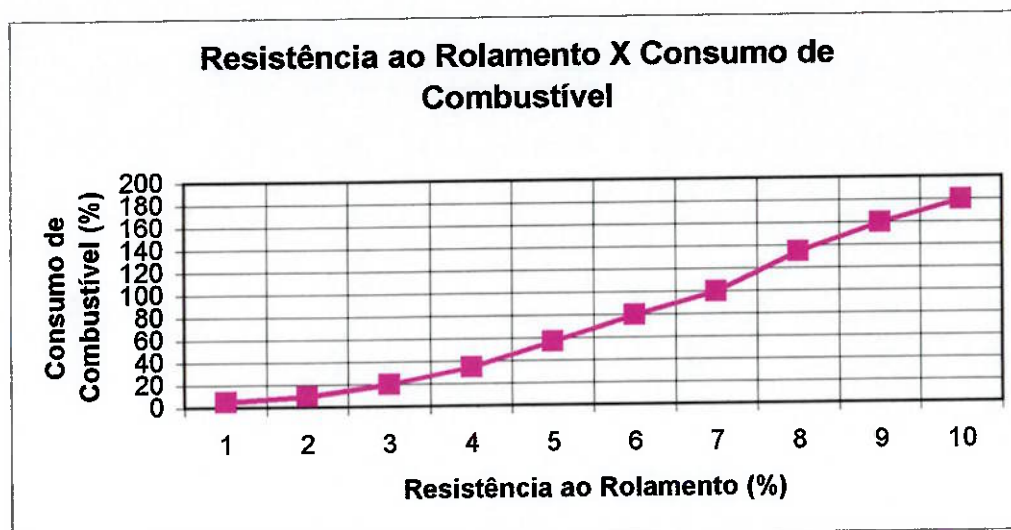


Figura 3.2 - Resistência ao rolamento versus consumo de combustível para um percurso plano de 3000 m.

Para melhor ilustrar o efeito da resistência ao rolamento sobre a produtividade dos caminhões e sobre o custo de transporte, utilizando-se dados reais das Minas de Itabira, foram calculados os tempos de viagem para resistências ao rolamento variando entre 0 e 10%, conforme dados mostrados na tabela 3.2 e na figura 3.3.

Os seguintes dados foram utilizados:

- Caminhão : 240 toneladas curtas
- Movimentação : 150 Mt/ano
- Perfil de transporte :
 Ida carregado = 1,0 km @ +10%; 1,0 km @ +5%; 1,0 km @ 0%
 Retorno vazio = 1,0 km @ 0%; 1,0 km @ -5%; 1,0 km @ -10%
- Tempo de ciclo fixo : 6,5 min
- Velocidade máxima : 50 km/h
- Custo de operação do caminhão : US\$ 100/ht

Tabela 3.2 - Simulação do efeito da resistência sobre o desempenho e custo dos caminhões 240 st das Minas de Itabira

RR (%)	T. Viagem Carreg. (min)			T. Viagem Vazio (min)			T. Fixo (min)	T. Total (min)	Produt. (t/ht)	C.Anual (US\$ M)	Núm. de Cam.
	+10%	+5%	0%	0%	-5%	-10%					
0	4,43	2,35	1,69	1,48	1,25	2,20	6,50	19,90	654	22,9	38
1	4,89	2,69	1,73	1,48	1,25	2,20	6,50	20,74	628	23,9	40
2	5,67	3,15	1,80	1,48	1,21	1,71	6,50	21,52	605	24,8	41
3	5,80	3,53	1,97	1,48	1,21	1,70	6,50	22,19	587	25,6	43
4	6,15	4,10	2,19	1,48	1,21	1,70	6,50	23,33	558	26,9	45
5	6,80	4,37	2,57	1,48	1,20	1,48	6,50	24,40	534	28,1	47
6	8,09	4,83	2,88	1,50	1,20	1,48	6,50	26,48	492	30,5	51
7	8,77	5,62	3,31	1,54	1,20	1,48	6,50	28,42	458	32,7	55
8	9,57	5,75	3,67	1,63	1,20	1,48	6,50	29,80	437	34,3	57
9	10,53	6,10	4,30	1,82	1,22	1,48	6,50	31,95	408	36,8	61
10	11,72	6,60	4,48	1,91	1,22	1,48	6,50	33,91	384	39,1	65

Os dados acima mostram que, para as condições consideradas, tem-se, em média, para cada 1% de redução da resistência ao rolamento:

- 1,4 minutos de redução do tempo de ciclo total dos caminhões;
- 27 toneladas por hora trabalhada de aumento da produtividade dos caminhões;
- 2,7 unidades a menos na frota de caminhões;
- US\$ 1,6 milhões por ano de ganho bruto, somente em função do ganho de produtividade dos caminhões, ou seja, não estão considerados os ganhos com a redução do custo operacional (combustível e pneus) e de manutenção dos caminhões.

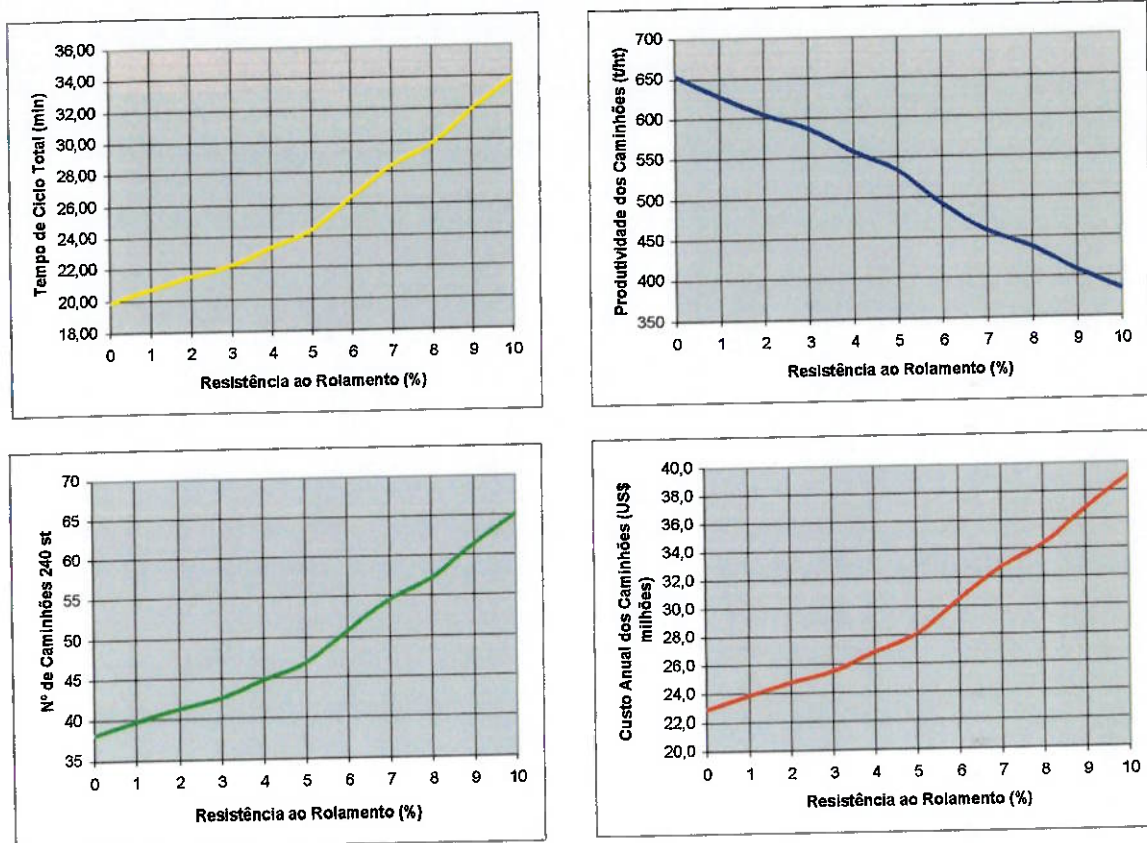


Figura 3.3 - Gráficos de desempenho e custo dos caminhões 240 st das Minas de Itabira em função da variação da resistência ao rolamento.

3.5.2 – Manutenção de Estradas e Acessos

Os ganhos relacionados com a manutenção das estradas e acessos são, principalmente, aqueles devido à redução das horas trabalhadas de motoniveladora e com a minimização da necessidade de forragem (material de empréstimo).

Para se ter uma idéia do que estes custos representam atualmente para as Minas de Itabira, os dados referentes ao ano de 2002 são mostrados nas tabelas 3.3 e 3.4:

Tabela 3.3 - Custos de operação e manutenção das motoniveladoras em operação nas Minas de Itabira durante o ano de 2002.

Motoniveladoras		
Frota	HT no ano	(US\$/ht)
Cat 16G	25702	31
Cat 24H	8585	55
=> Gastos Totais no Ano (US\$ milhões) =		1,27

Tabela 3.4 - Custos de forragem das estradas e acessos das Minas de Itabira durante o ano de 2002.

Forragem de Estradas e Acessos nas Minas de Itabira

Movimentação anual	6,3 milhões de toneladas
Custo unitário aproximado	US\$ 0.50 / t
Custo anual	US\$ 3.15 milhões

3.5.3 – Umidificação das Estradas e Acessos

O problema de poeiras nas Minas de Itabira merece uma atenção especial por parte da empresa em função das seguintes particularidades:

- Grande extensão de estradas e acessos;
- Extensa superfície exposta das cavas e pilhas de estéril;
- Proximidade da cidade de Itabira;
- Bairros residenciais contíguos às minas;
- Altos índices de doenças respiratórias do trato superior na cidade, embora sem confirmação científica das causas.

Embora hajam outras origens para a poeira gerada pela mina, o tráfego de caminhões e veículos contribui significativamente para agravar este problema. O método adotado atualmente para reduzir a poeira nas estradas e acessos é a umidificação através da circulação de caminhões-tanque durante o período mais seco. Estes caminhões utilizam somente água, ou seja, nenhum produto químico é adicionado.

Este procedimento minimiza o problema, mas não vem apresentando resultados que possam ser considerados satisfatórios, pois uma parte da água lançada sobre a pista infiltra no terreno e outra parte evapora-se muito rapidamente. Desta forma, após pouco tempo da passagem do caminhão-tanque já se observa a ocorrência de poeira novamente.

Observa-se, também, que mesmo uma pequena quantidade a mais de água já é capaz de provocar danos à superfície da pista e condições de escorregamento para o tráfego dos equipamentos.

Os custos de umidificação das estradas e acessos das Minas de Itabira, representados pelo custo de operação e manutenção dos caminhões-tanque, constam da tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Custos de operação e manutenção dos caminhões-tanque em operação nas Minas de Itabira durante o ano de 2002.

Caminhões Tanque		
Frota	HT no ano	(US\$/ht)
120T	14804	52
=> Gastos Totais no Ano (US\$ milhões) =		0,77

Estradas e acessos bem estabilizados podem, portanto, contribuir para reduzir a geração de poeiras na mina e, ao mesmo tempo, reduzir os gastos provenientes da operação de umidificação .

4 – GANHOS POTENCIAIS MENSURÁVEIS

A tabela 4.1, a seguir, resume os cálculos estimativos de ganhos potenciais mensuráveis para as Minas de Itabira. Os dados atuais referem-se à média do ano 2002.

A estimativa dos possíveis ganhos considerou que se tenha alcançado uma solução que propicie estradas, acessos e até mesmo frentes de lavra com boas condições de piso durante todo o ano. Considerou-se, também, que todas as estradas e acessos tenham sido bem projetados e construídos, obedecendo-se à parâmetros geométricos pré-estabelecidos e com os cuidados de drenagem requeridos.

Tabela 4.1 - Estimativa de ganhos potenciais mensuráveis para as Minas de Itabira

	Situação Atual		Situação Esperada	
	Parâmetro	Custo (US\$ milhões)	Parâmetro	Custo (US\$ milhões)
1 - Produtividade dos Caminhões * Devido à redução da resistência ao rolamento * Devido à eliminação ou minimização de elementos redutores de velocidade (buracos, irregularidades, borrachudos, pedras, poeiras, pistas escorregadias, etc)	RR entre 4 e 10% 450 a 550 t/ht média da frota = 525 t/ht => 286 mil ht por ano	28,6	RR entre 2 e 5% 550 a 650 t/ht média da frota = 625 t/ht => 240 mil ht por ano	19,2
2 - Custos de Operação e Manutenção dos Caminhões * Combustível * Lubrificantes e filtros * Pneus * Peças e reparos	US\$ 100/ht		US\$ 80/ht	
3 - Manutenção de Estradas, Acessos e Frentes de Lavra * Através da redução de ht de motoniveladoras * Através da redução da ton de mat. de forragem	34.000 ht/ano 6,3 Mt/ano	1,3 3,1	17.000 ht/ano 2,0 Mt/ano	0,7 1,0
4 - Umidificação de Estradas e Acessos * Através da redução de ht de caminhões-tanque	15.000 ht/ano	0,8	5.000 ht/ano	0,3
TOTAIS		33,8		21,2
GANHO BRUTO ESPERADO (US\$ milhões por ano)				12,6
ESTIMATIVA DE DESPESAS (US\$ milhões por ano)				1,0 a 3,0

Do ganho bruto acima deve-se abater os custos adicionais do processo de estabilização, os quais dependerão do tipo de estabilizador selecionado. No caso específico das Minas de Itabira, estes custos adicionais podem ser considerados como somente o custo de aquisição do estabilizador, uma vez que a operação de estabilização química de solos não difere significativamente da operação atual de forragem das estradas, que faz uso de material de empréstimo.

Com base no preço de aquisição dos estabilizadores e estimando-se uma necessidade de mais ou menos 10 km de estradas e acessos a serem construídos ou recuperados por ano, calculou-se um custo de aquisição do estabilizador entre US\$ 1,0 e 3,0 milhões por ano, dependendo de qual seja o estabilizador selecionado. Portanto, o ganho líquido, sem se considerar o imposto de renda, deve se situar na faixa de US\$ 10 milhões por ano.

5 – OPÇÕES CONSIDERADAS

As seguintes opções de estabilizadores químicos de solo deverão ser avaliadas nesta primeira etapa da presente análise de viabilidade técnica e econômica :

- Cimento portland;
- Cal;
- Escória;
- Cloretos
- Cimento Sorel;

- Copolímero acrílico;
- Composto organo-metálico alcalino.

Existem ainda diversos outros estabilizadores químicos de solo que, entretanto, não serão considerados nesta etapa, conforme será abordado no item 5.7 deste capítulo.

Os critérios para a seleção de somente alguns dos estabilizadores existentes basearam-se, principalmente, na expectativa de sucesso de sua aplicação, na facilidade de suprimento e no custo de aquisição destes materiais. Produtos importados não foram considerados, devido ao seus custos geralmente altos e maiores dificuldades de suprimento.

Para a realização de todos os testes de campo, os estabilizadores químicos deverão ser adicionados a um material de empréstimo, uma vez que os materiais existentes nos locais onde a maioria das estradas e acessos são construídos não são adequados à estabilização química de solos. O material de empréstimo a ser utilizado é o solo do tipo laterítico, que é um material estéril disponível em abundância nas proximidades das Minas do Meio. Este material, quando utilizado sem a adição de algum estabilizador, mostrou-se inadequado, pois torna-se muito escorregadio na presença de água. No momento, o solo laterítico pode ser extraído a partir de uma frente de lavra situada na Mina Periquito.

Nos itens que se seguem é feita uma descrição de cada uma das opções de estabilização química de solos :

5.1 – Solo-Cimento

A estabilização de solos com o emprego de cimento portland é normalmente referida como solo-cimento. O solo-cimento constitui-se em uma mistura compactada de solo , cimento e água, em proporções adequadas. Após a cura, a mistura de solo-cimento forma um horizonte rígido com grande capacidade de suporte.

As principais vantagens do uso do solo-cimento para a formação de uma camada que terá as funções de base e superfície de rolamento são:

- Forma uma superfície compacta, resistente e não derrapante, que reduz a resistência ao rolamento e melhora a trafegabilidade de equipamentos e veículos;
- Resiste à água e à fortes precipitações;
- Não contamina o minério “run-of-mine”;
- Não é corrosivo;
- Não prejudica o meio-ambiente;
- Torna possível o seu reaproveitamento como sub-base de novas estradas;
- Fácil aplicação e manutenção;
- Fácil suprimento, a partir de fábricas ou distribuidores situados na região da mina.

Como desvantagens, pode-se mencionar:

- Alto custo de aquisição;
- Comparativamente a outros estabilizadores, requer maior tempo para a liberação do trecho.

Quanto ao seu comportamento e à sua durabilidade em condições de tráfego intenso de caminhões pesados e sujeito a variações climáticas, somente será possível avaliar após os resultados dos testes de campo.

Ensaio preliminares realizados com amostras do solo laterítico das Minas do Meio mostraram que a proporção ideal de cimento situa-se entre 4 e 7% em peso.

A figura 5.1 mostra o consumo e o custo do cimento portland em função da espessura da camada de solo e da proporção de cimento na mistura.

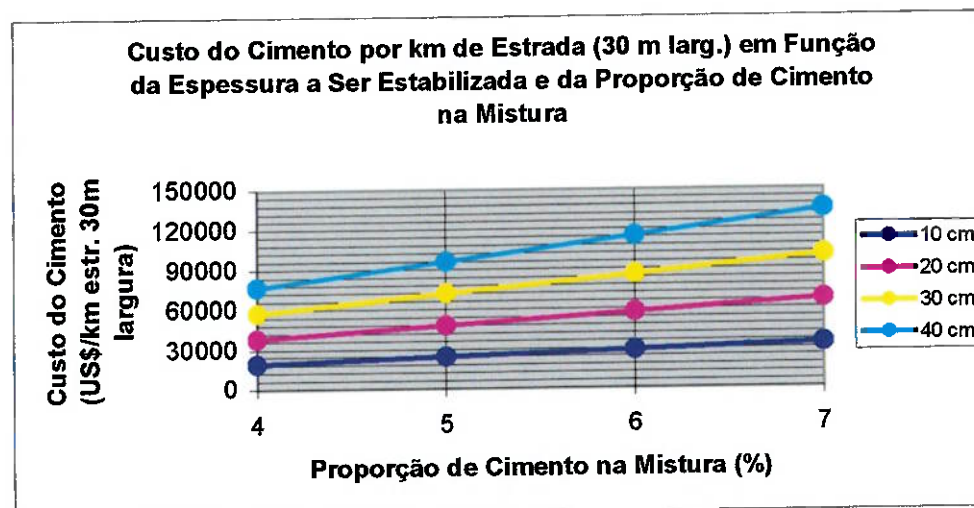
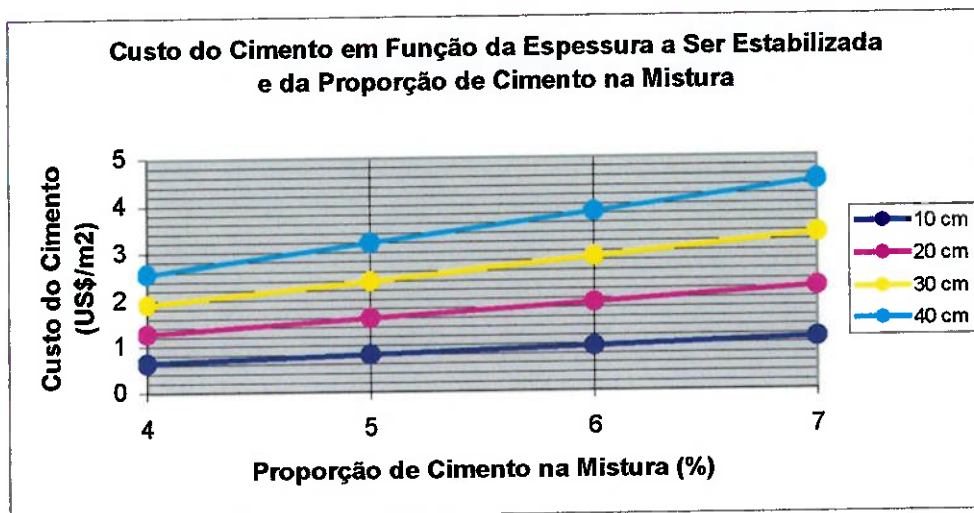
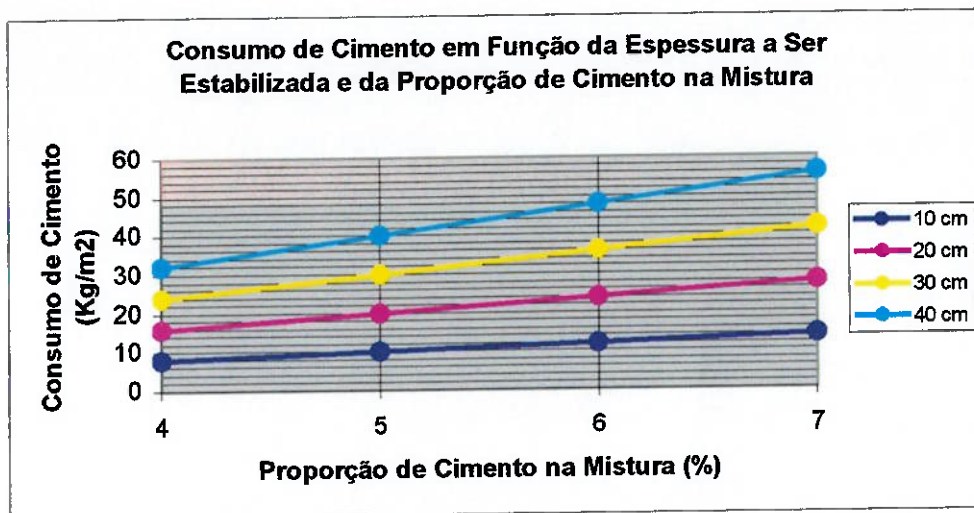


Figura 5.1 - Consumo e custo do cimento em função da espessura da camada de solo e da proporção de cimento na mistura.

5.2 – Solo-Cal

Este tipo de estabilização envolve o uso de cal virgem ou hidratada para adição ao solo em proporções entre 5 e 10% ou mais, dependendo do solo utilizado.

Experiências mostram que a cal reage com solos de granulização média a fina para reduzir sua plasticidade e empolamento e para aumentar sua trabalhabilidade e resistência.

A cal é uma base alcalina forte que reage quimicamente com a argila formando silicatos complexos ou outros materiais cimentantes. Tanto a cal calcítica quanto a dolomítica podem ser usadas. O emprego da cal possibilita a transformação de solos marginais em materiais satisfatórios para base e subbase. A cal fornece alguma proteção ao solo contra a ação da água e agiliza sua secagem em condições de saturação.

A qualidade da cal utilizada tem grande influência no processo de estabilização dos solos, pois é necessário que ela atenda às especificações, principalmente quanto aos teores de óxido de cálcio e magnésio.

Comparativamente ao uso do cimento, a cal apresentaria a vantagem de um menor custo de aquisição e talvez possa propiciar uma camada superficial com maior capacidade de resistir aos esforços de ruptura.

A maioria das aplicações da cal como estabilizador de solos, citadas pela literatura disponível, referem-se ao seu uso como estabilizador de camadas de subbase e base, sobre as quais é aplicado um revestimento superficial qualquer. As aplicações em que a camada estabilizada serve como superfície de rolamento são pouco mencionadas. Não foi possível encontrar referências ao uso do solo-cal em operações de mineração.

5.3 - Solo-Escória

Embora apresentem características físicas e químicas diferentes, tanto a escória de alto-forno quanto a escória de aciaria podem ser empregadas como aditivo para a estabilização de solos. Estes materiais são muito menos usuais que as demais opções analisadas, porém, no caso das Minas de Itabira, pode se constituir em uma solução muito atrativa economicamente, caso se consiga bons resultados técnicos, principalmente devido ao seu baixo custo e à facilidade de aquisição junto às usinas siderúrgicas situadas ao longo da Ferrovia Vitória-Minas (Usiminas e CST)

Quando suficientemente moída, a composição química e as características de sua superfície fazem com que a escória vítrea combine com a água para formar produtos cimentantes hidratados. A magnitude dessas reações de cimentação dependerão da composição química, do grau de vitrificação e da finura da escória. A reação entre a escória e a água é lenta, mas é fortemente acelerada pela presença de hidróxido de cálcio (cal hidratada), álcalis e sulfato de cálcio (gipsita).

Um grupo de pesquisadores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo desenvolveu um tipo de cimento para a fabricação de painéis de cimento reforçados com fibra de vidro, no qual a escória é a base da composição. Como ativadores, são usados compostos como silicatos de sódio e sulfatos e hidróxidos de cálcio, juntos ou isoladamente.

Segundo a “National Slag Association” dos Estados Unidos, a escória de aciaria é utilizada como base e superfície de pátios de estacionamento, ombreiras de estradas e na construção de bermas e diques de contenção. A escória de alto-forno, por sua vez, possui diversas aplicações, entre elas como condicionador e estabilizador de solos.

5.4 – Solo-Cloreto

Para aplicações na condição de estabilizador químico de solos e/ou supressor de poeiras, os cloretos podem ser divididos em dois grupos: o primeiro englobando os cloretos de cálcio – CaCl_2 - e o cloreto de magnésio – $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, os quais apresentam muitas características e propriedades semelhantes, e o outro representado pelo cloreto de sódio – NaCl .

Cloretos de Cálcio e Magnésio

O cloreto de cálcio e o cloreto de magnésio são produtos largamente empregados em todo o mundo como estabilizadores de estradas e, principalmente, como supressores de poeiras, anti-congelantes e descongelantes.

Como estabilizadores de solos, estes produtos são mais utilizados para melhorar a performance de agregados de má qualidade. Possuem a habilidade de atrair e reter a umidade do ar (higroscopicidade e deliquescência) e são usados para acelerar o processo de compactação. Pequenas quantidades destes cloretos irão, em muitos casos, resultar em um aumento da densidade para um dado esforço de compactação.

A umidade relativa do ar e a temperatura ambiente influenciam a capacidade de absorção de umidade dos cloretos de cálcio e magnésio.

Existe no mercado uma imensa quantidade de produtos industrializados à base de cloreto de cálcio e cloreto de magnésio, com diferentes denominações comerciais, mas as suas características e os seus desempenhos são muito semelhantes.

Ambos os cloretos são fabricados atualmente no Brasil. O cloreto de magnésio ocorre, também, na sua forma natural, como o mineral bischofita.

São conhecidas diversas aplicações do cloreto de magnésio no Chile, inclusive em minerações, tanto como estabilizador quanto como supressor de poeiras. As fotos da figura 5.2 mostram a estrada de acesso à Minera El Tesoro, situada no norte do Chile.



Figura 5.2 – Estrada estabilizada com cloreto de magnésio (bischofita). Local : acesso à Minera El Tesoro – Chile.

Embora existam algumas diferenças de características e de aplicação entre os cloretos de cálcio e magnésio, a escolha de um em detrimento do outro dependerá, principalmente, de condições comerciais e de fornecimento.

Cloreto de Sódio

O cloreto de sódio, ou sal comum, é o produto mais utilizado como anticongelante e descongelante. Como estabilizador de solos, sua utilização é muito mais restrita, porém existem algumas aplicações conhecidas no Chile. A figura 5.3 ilustra uma dessas aplicações.



Figura 5.3 – Estabilização de estrada com o emprego de cloreto de sódio (sal comum). Local : Chile

O cloreto de sódio forma uma ligação coloidal com as argilas contidas no material das estradas, retendo a umidade durante o processo de compactação e exercendo uma ação cimentadora. As partículas de argila do solo têm formato laminar e sua estrutura atômica é assimétrica, o que faz com que suas faces apresentem cargas elétricas opostas, atuando como dipolo.

O cloreto de sódio, quando hidratado, faz com que a carga negativa do oxigênio da molécula de água se ligue ao sódio e a carga positiva do hidrogênio ao cloro. Ao perder umidade, o cloreto de sódio reduz seu volume, atraindo as partículas finas do solo e gerando um efeito de endurecimento.

A idéia de se testar o cloreto de sódio nas Minas de Itabira surgiu em decorrência da grande disponibilidade deste produto na unidade de produção de potássio de Taquari-Vassouras, onde ele é um rejeito do beneficiamento. Este material é descartado por meio

de um salmourado de cerca de 35 km que o transporta por 500 metros mar adentro, o que gera um custo para a empresa. Devido à presença de aminas utilizadas no processo de beneficiamento (flotação), o cloreto de sódio não é utilizado pela indústria alimentícia. Atualmente são geradas aproximadamente 1,8 milhões de toneladas por ano de cloreto de sódio.

Os possíveis problemas que poderão surgir com o emprego do cloreto de sódio como estabilizador dizem respeito à sua corrosividade e, talvez, uma durabilidade dos pisos das estradas e acessos abaixo do esperado, quando em condições de chuvas intensas.

5.5 – Solo-Cimento Sorel

Conhece-se como cimento Sorel, o produto resultante da mistura do óxido de magnésio e do cloreto de magnésio, em proporções definidas. Comparativamente ao cimento do tipo portland, ele apresenta resistência e outras propriedades muito superiores.

No momento, encontra-se em fase experimental o emprego do cimento Sorel como estabilizador de solos nas estradas da Mina Brumado, pertencente à Magnesita, conforme pode ser visto na figura 5.4. Os resultados até então obtidos são considerados muito satisfatórios pelos técnicos da empresa.



Figura 5.4 – Imagens de uma estrada estabilizada com cimento Sorel. Local : Mina Magnesita – Brumado - BA

5.6 – Produtos Industrializados

Entre as diversas alternativas de produtos industrializados existentes no mercado, optou-se pelo copolímero acrílico e pelo composto organo-metálico alcalino por serem de aplicação comprovadamente eficiente e, principalmente, por serem fabricados no Brasil, com as denominações comerciais de Terrafix e Dynacal, respectivamente.

Terrafix

O Terrafix é um copolímero acrílico em dispersão aquosa de pH entre 7,0 e 9,0, caráter aniônico e aspecto branco leitoso. É um adesivo plástico sintético composto por uma cadeia molecular repetitiva, que agrega fortemente as partículas de solo em uma membrana dura e resistente à umidade.

As imagens da figura 5.5 ilustram algumas etapas do processo de aplicação de um copolímero acrílico nos Estados Unidos.



Figura 5.5 – Etapas do processo de estabilização de uma estrada com o emprego de copolímero acrílico. Local : Estados Unidos.

Dynacal

O Dynacal é um composto organo-metálico alcalino derivado de hidrocarboneto saturado de cadeia média, apresentado na forma de um líquido de cor verde, solúvel em água, pouco viscoso e de caráter não iônico.

Sua característica mais importante é a capacidade de criar formações que tendem a reduzir a capilaridade e de formar um gel insolúvel que passa a preencher os microporos existentes nos solos. Com isso, o solo fica impermeabilizado e estabilizado na presença de água, pelo corte de seu poder de sucção (capilaridade), de maneira que, para aumentos de umidade até uma eventual saturação, os materiais tratados passam a perder proporcionalmente menos resistência em relação aos que não foram tratados.

Quando o Dynacal é incorporado ao solo juntamente com o hidróxido de cálcio, gera efeitos de impermeabilização e, principalmente, de cimentação.

5.7 – Outras Opções

Existem ainda algumas outras opções que não foram abordadas no presente trabalho, mas que merecem uma avaliação mais detalhada posteriormente, mesmo que venha a ser encontrada uma boa solução nesta primeira etapa do trabalho.

Entre estas opções, pode-se citar: mistura de solo e emulsão asfáltica (solo-asfalto), óleos vegetais, resinas orgânicas naturais, enzimas, produtos lignosulfonatados e outros. Muitos destes produtos não são produzidos no Brasil, o que pode torná-los não atrativos do ponto de vista econômico, mas são soluções de comprovado sucesso técnico em muitos países.

Outras opções menos convencionais podem também ser avaliadas no futuro, como, por exemplo, o uso de pneus triturados em fragmentos para serem adicionados à mistura de

solo e estabilizador. Outra possibilidade para o uso de pneus usados é a geração de uma espécie de emulsão de borracha para a formação da superfície de rolamento das pistas.

As opções de pavimentação asfáltica e de concreto não foram consideradas por fugirem ao propósito da presente análise de viabilidade, uma vez que são soluções de revestimento e não de estabilização de estradas e acessos. Estas opções normalmente não são viáveis em ambientes de mineração, pois são de elevado custo e, portanto, incompatíveis com as vidas úteis, em geral curtas, das estradas e acessos de minas a céu-aberto. Ainda que se mostrem atrativas economicamente, elas necessitam de condições de subbase e base suficientemente estabilizadas para que possam ser aplicadas com alguma chance de sucesso.

6 – TESTE PRELIMINAR REALIZADO COM O SOLO-CIMENTO

No dia 10 de julho de 2003 foi realizado um teste preliminar de campo com o solo-cimento em um trecho nas proximidades da entrada de acesso à Mina Dois Córregos.

O objetivo deste primeiro teste de campo foi o de verificar o comportamento da camada de solo-cimento em condições reais da mina, uma vez que amostras confeccionadas em escala de laboratório haviam mostrado resultados muito promissores. A realização deste teste serviu também para aprimorar os conhecimentos da equipe da CVRD, de modo que os problemas enfrentados não se repitam por ocasião dos testes definitivos que estão sendo programados.

São as seguintes as demais informações sobre o teste realizado:

- Dimensões do trecho: 50 m de comprimento por 50 m de largura;
- Espessura da camada: 30 cm (25 cm após compactação);
- Material : solo laterítico proveniente da Mina Periquito;
- Densidade do solo: 2,0 t/m³
- Percentual de cimento portland: 5% em peso;
- Umidade ótima de compactação (desejada): 5%

As quantidades de solo e cimento envolvidas no testes foram, portanto, de 450 t de solo e 22,5 t de cimento.

Considerou-se que as condições do local da pista sobre o qual a camada de solo-cimento seria construída eram suficientemente adequadas e, portanto, não houve a necessidade de executar qualquer serviço preparatório sobre a pista existente. A seguinte sequência de procedimentos foi então observada:

- Transporte do solo laterítico desde a frente de lavra até o local do teste;
- Sinalização do local e fechamento ao tráfego;
- Distribuição do solo sobre a pista com o emprego de uma pá carregadeira;
- Espalhamento do solo com o uso de uma motoniveladora;
- Distribuição manual do cimento sobre o solo;
- Homogeneização entre o solo e o cimento com o emprego de uma grade aradora puxada por trator;
- Umidificação da mistura utilizando-se de um caminhão-tanque dotado de monitor;

- Compactação com o uso de um compactador de rolos do tipo pé-de-carneiro;
- Acabamento de superfície executado pela motoniveladora.

O tempo gasto para a construção deste trecho-teste foi de aproximadamente 10 horas. O trecho permaneceu fechado para o tráfego por 48 horas. As fotos da figura 6.1 mostram a sequência de procedimentos do teste.

Os principais problemas encontrados por ocasião da realização do teste foram:

- Os blocos de maiores dimensões não foram retirados antes do solo ter sido espalhado. A presença destes blocos dificultou muito a homogeneização do material, pois a grade de disco saltava sobre os blocos e, assim, não promovia a mistura do solo e do cimento no entorno dos blocos. É possível que estes blocos venham a se soltar com o passar do tempo, provocando buracos na pista, já que os mesmos não sofreram ação cimentante;
- O equipamento utilizado para molhar a pista para que o material alcançasse a umidade ótima de compactação não se mostrou adequado, pois não se conseguiu uma umidificação homogênea, uma vez que a quantidade de água é tanto maior quanto mais próximo da boca do monitor. Como consequência deste fato, parte da pista ficou encharcada, o que propiciou defeitos sobre a mesma quando a motoniveladora tentou nivelá-la logo após a conclusão do teste;
- Não foi possível obter bons resultados de homogeneização e compactação com uma camada única de 30 cm;
- A falta de um compactador do tipo de rolo ou de pneus impossibilitou um bom acabamento da pista.

Todos esses problemas podem ser facilmente resolvidos caso o solo-cimento venha a ser definitivamente empregado ou mesmo na execução de outros testes. No caso dos blocos é possível, por exemplo, instalar uma grelha fixa de trilhos, capaz de separar os blocos maiores, os quais podem até mesmo serem alimentados à usina, já que aparentemente são constituídos de hematita dura e canga.

É possível também melhorar a homogeneização do material se o processo ocorrer antes do lançamento do material na estrada, ou seja, pode-se formar uma pilha na qual se intercale camadas alternadas de solo e de cimento. As operações de retomada desta pilha (carga, transporte e descarga) irão fazer com que o material seja espalhado na pista já bastante homogeneizado. Para melhores resultados de homogeneização e compactação, é conveniente dividir a camada de 30 cm em duas etapas de 15 cm cada.

O espalhamento manual do cimento foi a operação que demandou maior tempo de execução. Entretanto, numa fase industrial, esta operação pode ser feita com o emprego de um implemento simples usado na agricultura para distribuir calcário sobre o terreno já arado ou adquirindo-se o cimento à granel e espalhando-o diretamente sobre o solo com a caçamba parcialmente levantada do caminhão.

Figura 6.1 – Fotos da construção do trecho-teste de solo-cimento



Solo laterítico estocado no local de realização do teste



Distribuição do solo sobre a estrada



Espalhamento do Solo



Espalhamento do solo



Espalhamento do solo



Formação de sulcos sobre o solo espalhado



Espalhamento do cimento sobre a camada de solo



Espalhamento do cimento sobre a camada de solo



Homogeneização entre o solo e o cimento



Homogeneização entre o solo e o cimento



Umidificação para se alcançar a umidade ótima de compactação



Compactação final da camada de solo-cimento

7 – PROPOSTA DE PROGRAMA EXPERIMENTAL

Apresenta-se, neste capítulo, um programa experimental com diferentes tipos de estabilizadores. A razão da realização destes testes é fornecer subsídios ao processo de escolha da solução de estabilização de piso das estradas e acessos das Minas de Itabira.

Os testes propostos deverão ser realizados o mais breve possível, preferencialmente antes do início do período de chuvas na região. Assim, será possível avaliar o comportamento de cada um dos materiais exatamente quando eles são mais solicitados, que é ao longo do período de chuvas para, só então, tomar qualquer decisão.

Os trabalhos de campo para cada um dos materiais a serem testados podem ser realizados em apenas um dia, desde que todas as providências tenham sido tomadas com a devida antecedência.

Diversos testes usando diferentes estabilizadores ou com variações de teores ou outros parâmetros poderiam ser realizados, mas, devido à escassez de tempo somente aqueles mais promissores ou que não dependam de ensaios adicionais de laboratório estão sendo propostos, conforme a seguir:

- Cimento portland;
- Cal;
- Escória de alto-forno;
- Cloreto de magnésio;
- Cloreto de sódio;
- Cimento Sorel;
- Composto organo-metálico alcalino;
- Copolímero acrílico.

Sugere-se que cada teste seja executado em um trecho de estrada com 100 m de comprimento por 15 m de largura e 25 cm de espessura, após a compactação. Cada trecho deverá estar espaçado em pelo menos 100 m um do outro. O local mais indicado para a realização dos testes propostos é a estrada do talude norte (talude do britador) da Mina Cauê, por atender os seguintes requisitos:

- Possui suficiente largura para que os trechos de teste sejam construídos sem interferir na operação normal da mina;
- Encontra-se suficientemente estabilizada (em termos de subleito e subbase);
- Deverá estar sujeita a um tráfego extra, devido ao transporte do material de ruptura do talude da Mina Chacrinha até a pilha de estéril Convap.

Nos itens que se seguem, cada um dos testes de campo é descrito resumidamente e são relacionados os recursos e equipamentos necessários, além dos cuidados e procedimentos que deverão ser observados. Incluem-se, também, estimativas de custo de execução dos testes e um cronograma.

7.1 – Descrição dos Testes

- Solo-Cimento : mistura de solo laterítico, cimento portland comum (5% em peso) e água.
Fornecedor do cimento portland : fábricas ou distribuidores situados na região.
- Solo-Cal : mistura de solo laterítico, cal hidratada comum (5% em peso) e água.
Fornecedor da cal hidratada : fábricas ou distribuidores situados na região.
- Solo-Escória : mistura de solo laterítico, escória de alto forno moída (10% em peso), cal hidratada e gipsita como aditivos (aproximadamente 1% em peso cada) e água.
Fornecedor da escória : Usiminas ou CST
Fornecedor da cal hidratada e da gipsita : comércio local.
- Solo-Cimento Sorel : mistura de solo laterítico, rejeito de jigge (10% em peso), óxido de magnésio (10% em peso), cloreto de magnésio (5% em peso) e água.
Fornecedor do óxido de magnésio : Magnesita (Mina Brumado)
Fornecedor do cloreto de magnésio : IPC do Nordeste Ltda - IPCNor
- Solo-Cloreto de Sódio: mistura de solo laterítico, cloreto de sódio (7% em peso) e água.
Fornecedor do cloreto de sódio : Mina de Potássio de Taquari-Vassouras
- Solo-Cloreto de Magnésio : mistura de solo laterítico, cloreto de magnésio (5% em peso) e água.
Fornecedor : IPC do Nordeste Ltda - IPCNor
- Solo-Composto Organo-Metálico Alcalino : mistura de solo laterítico, composto organo-metálico (0,08% em peso), cal hidratada (2% em peso) e água.
Fornecedor do composto organo-metálico alcalino : Dynacal Produtos Químicos Ltda
Denominação comercial : Dynacal
Fornecedor da cal hidratada : comércio local.
- Solo-Copolímero Acrílico : mistura de solo laterítico, copolímero acrílico em dispersão aquosa (0,2% em peso) e água.
Fornecedor do copolímero acrílico : Empresa Brasileira de Negócios AG-Terra Ltda – Embraterra
Denominação comercial : Terrafix-C

Observações :

- A quantidade de água para cada teste deverá ser suficiente para ser alcançada a umidade ótima de compactação, que é da ordem de 5%;
- Os percentuais de estabilizadores e aditivos são aproximados e referem-se à massa de solo laterítico seco, cuja densidade é 2,0 t/m³;

7.2 – Materiais, Recursos e Equipamentos Necessários

As quantidades de estabilizadores e aditivos requeridos para a realização dos testes constam da tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Quantidades requeridas de estabilizadores e aditivos para a realização dos testes de campo

	Quantidades (t)
Solo-Cimento Sorel	
* Rejeito de Jigue	90
* Óxido de Magnésio	90
* Cloreto de Magnésio	45
Solo-Escória	
* Escória	90
* Hidróxido de Cálcio (Cal Hidratada)	9
* Sulfato de Cálcio (Gipsita)	9
Solo-Cimento	
* Cimento Portland Comum	45
Solo-Cal	
* Cal Hidratada	45
Solo-Sal	
* Cloreto de Sódio	63
Solo-Cloreto	
* Cloreto de Magnésio	45
Composto Organo-Metálico Alcalino	
* Dynacal	0,72
* Hidróxido de Cálcio (Cal Hidratada)	18
Copolímero Acrílico	
* Terrafix-C	1,8

Prevê-se ainda a necessidade dos seguintes recursos e equipamentos para a realização de cada um dos testes propostos:

- Mão-de-obra: um supervisor da área de terraplenagem e seis ajudantes, a serem alocados durante todo o período de construção do trecho-teste, além, naturalmente, dos operadores dos equipamentos envolvidos;
- Equipamentos CVRD: conjunto pá carregadeira e caminhão em tempo suficiente para transportar as 900 t de solo desde a Mina Periquito até o local do teste, 8 hs de motoniveladora e 4 hs de caminhão-tanque (com barra aspersora regulável traseira);
- Equipamentos de Terceiros: 8 hs de rolo compactador tipo pé-de-carneiro, 4 hs de rolo compactador de pneus ou de rolo liso, 4 hs de grade aradora de discos e 4hs de distribuidor de calcário.
- Outros: pontaletes e fita de segurança para isolamento das áreas, placas de sinalização com informações sobre cuidados a serem observados, máquina fotográfica para registro visual do processo de construção dos trechos-teste.

7.3 – Cuidados a Serem Observados

É muito importante que todos os cuidados possíveis sejam observados durante a realização dos testes de modo a se evitar decisões incorretas acerca dos resultados dos mesmos.

De um modo geral, os seguintes procedimentos são válidos para todos os testes de campo:

- Ao se carregar o solo para transporte até o local dos testes, evitar blocos de maiores dimensões; blocos acima de 20 cm deverão ser retirados;
- Evitar, também, os bolsões de argila pura que às vezes ocorrem intercalados com o solo laterítico;
- Preparar adequadamente o terreno da estrada sobre o qual os testes serão realizados; eliminar irregularidades, borachudos, poças de água, etc.;
- Somente iniciar a construção dos trechos-teste após assegurar-se de que todos os materiais, recursos e equipamentos requeridos estão disponíveis;
- Sinalizar adequadamente o local e somente liberar para tráfego após a autorização do responsável; deve ser considerado que os trecho-testes poderão permanecer bloqueados por tempo indeterminado;
- Os trabalhos de campo não poderão acontecer caso haja o risco de chuvas no dia; evitar, também, a realização dos testes nos dois dias que se seguirem à fortes chuvas;
- Avisar a todos supervisores e operadores de equipamentos que possam trafegar pelo local sobre a realização dos testes e sobre os cuidados que deverão ser tomados;
- Utilizar somente os equipamentos recomendados;
- Assegurar-se que o processo de homogeneização entre o solo e o estabilizador e aditivos tenha sido o melhor possível;
- Tomar extremo cuidado para evitar molhar a camada além de sua umidade ótima de compactação.

7.4 – Estimativa de Custos

A tabela 7.2 resume a estimativa de custos para a realização de cada trecho-teste proposto, incluindo-se todos os custos diretos envolvidos, discriminados em custos de carregamento e transporte do solo, insumos (estabilizadores e aditivos), fretes e equipamentos CVRD e de terceiros.

É importante ressaltar que os custos de realização de cada teste não têm relação com os custos de suas aplicações em uma situação real.

Tabela 7.2 - Estimativa de custos dos testes a serem realizados (valores em US\$)

MATERIAL	SOLO	INSUMOS	FRETE	EQUIPAMENTOS (CVRD e TERC.)	TOTAL
Cimento Sorel	630 (correspondente a 900 t carregadas e transportadas até o local dos testes)	-	2700	1480	4810
Solo-Escória		1350	-		3460
Solo-Cimento		4800	-		6910
Solo-Cal		2700	-		4810
Solo-Sal		-	1800		3910
Solo-Cloreto		-	900		3010
Composto Organo-Metálico Alcalino		1080	200		3390
Copolímero Acrílico		-	100		2210
TOTAL					32510

7.5 – Seqüência Construtiva

Basicamente, a seqüência de procedimentos para a realização dos testes pode ser dividida em três grupos, dependendo do estado físico dos estabilizadores e aditivos, ou seja, sólido, sólido + líquido ou somente líquido.

Seqüência para os Estabilizadores e Aditivos no Estado Sólido (Cimento, Cal, Escória e Cloreto de Sódio):

- 1 - Preparar o terreno da estrada sobre o qual será construído o trecho-teste. Se necessário, corrigir defeitos, escarificar e compactar adequadamente;
- 2 - Sinalizar o local, impedindo o acesso de veículos e equipamentos;
- 3 - Carregar e transportar o solo laterítico até o local do teste, evitando-se bolsões de argila pura e blocos de maiores dimensões;
- 4 - Distribuir o solo sobre a pista, diretamente pelos caminhões ou com o auxílio de pá carregadeira;
- 5 - Espalhar o solo com o emprego de uma motoniveladora, formando uma camada de 15 cm de espessura. Retirar todos os blocos com mais de 20 cm de dimensão, com a motoniveladora ou manualmente;

- 6 - Distribuir e espalhar o estabilizador sobre o solo o mais uniformemente quanto possível. Utilizar, preferencialmente, um implemento do tipo “distribuidor de calcário”;
- 7 - Misturar o solo e o estabilizador com o auxílio de uma grade de discos. Repetir a operação quantas vezes for necessário até se obter uma completa homogeneização;
- 8 - Umidificar a camada já misturada com o emprego de um caminhão-tanque com barra aspersora traseira. Realizar esta operação com cuidado até se alcançar a umidade ótima de compactação, sem, contudo, jamais ultrapassá-la;
- 9 - Compactar adequadamente a camada, inicialmente com o uso de um compactador do tipo pé-de-carneiro e, para o acabamento, com o uso de um compactador de pneus ou de rolo liso;
- 10 – Repetir as operações 5 a 9 para a segunda camada de 15 cm;
- 11 - Manter a restrição de acesso ao local até que haja a liberação pelo responsável.

Seqüência para os Estabilizadores e Aditivos no Estado Líquido (Cloreto de Magnésio e Copolímero Acrílico):

- 1 a 5 - Idem à seqüência correspondente para estabilizadores e aditivos sólidos;
- 6 – Adicionar o estabilizador no caminhão-tanque, obedecendo-se as proporções de água e estabilizador previamente estabelecidas;
- 7 – Regar a camada de solo com a solução já preparada, utilizando-se da barra aspersora do caminhão. A umidade ótima de compactação deverá ser alcançada juntamente com o esgotamento da quantidade de solução colocada no caminhão;
- 8 - Compactar adequadamente a camada, inicialmente com o uso de um compactador do tipo pé-de-carneiro e, para o acabamento, com o uso de um compactador de pneus ou de rolo liso;
- 9 - Repetir as operações 5 a 8 para a segunda camada de 15 cm;
- 10 - Manter a restrição de acesso ao local até que haja a liberação pelo responsável.

Seqüência para os Estabilizadores Líquidos e Aditivos Sólidos (Cimento Sorel e Composto Organo-Metálico Alcalino):

- 1 a 5 - Idem à seqüência correspondente para estabilizadores e aditivos sólidos;
- 6 - Distribuir e espalhar o componente sólido (óxido de magnésio no caso do Cimento Sorel e hidróxido de cálcio no caso da aplicação do Composto Organo-Metálico Alcalino) sobre o solo o mais uniformemente quanto possível. Utilizar, preferencialmente, um implemento do tipo “distribuidor de calcário”;

- 7 - Misturar o solo e o componente sólido com o auxílio de uma grade aradora de disco. Repetir a operação quantas vezes for necessário até se obter uma completa homogeneização;
- 8 - Adicionar o componente líquido (cloreto de magnésio no caso do Cimento Sorel) no caminhão-tanque, obedecendo-se as quantidades de água e estabilizador previamente estabelecidas;
- 9 - Regar a camada de solo com a solução já preparada, utilizando-se da barra aspersora do caminhão. A umidade ótima de compactação deverá ser alcançada juntamente com o esgotamento da quantidade de solução colocada no caminhão;
- 10 - Compactar adequadamente a camada, inicialmente com o uso de um compactador do tipo pé-de-carneiro e, para o acabamento, com o uso de um compactador de pneus ou de rolo liso;
- 11 - Repetir as operações 5 a 10 para a segunda camada de 15 cm;
- 12 - Manter a restrição de acesso ao local até que haja a liberação pelo responsável.

7.6 - Cronograma

O cronograma sugerido para a realização do programa de testes é mostrado na figura 7.1. Conforme mencionado anteriormente, o propósito maior é ter todos os trechos-teste construídos antes do período mais intenso de chuvas na região.

Figura 7.1 - Cronograma sugerido para a realização dos testes de campo

	SETEMBRO				OUTUBRO			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Cimento Sorel			■					
Solo-Cimento			■					
Solo-Cal				■				
Solo-Cloreto				■				
Solo-Sal					■			
Copolímero Acrílico					■			
Composto Organo-Metálico Alcalino						■		
Solo-Escória							■	

8 – CONCLUSÃO

Todas as análises efetuadas até o momento mostram que a estabilização química dos solos das estradas e acessos das Minas de Itabira é necessária e técnica e economicamente viável. Resta definir qual o estabilizador mais adequado para os materiais e condições

existentes na mina, o que deverá ser possível após a realização dos testes de campo propostos no presente documento.

Desde que seja possível alcançar condições de estabilização que propicie boas condições de piso de todas as estradas e acessos ao longo de todo o ano, inclusive no período de chuvas, os ganhos esperados são da ordem de US\$ 10 milhões por ano, o que é extremamente atrativo.

Mesmo que nenhuma das soluções sugeridas nesta primeira etapa do trabalho apresente resultados satisfatórios, deve-se prosseguir investigando outras opções.

Bibliografia

Geral

VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. Ed. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo, 1977.

KAUFMAN, WALTER W. & AULT JAMES C.. **Design of Surface Mine Haulage Roads – A Manual**. USA Bureau of Mines.

TENSAR TECHNICAL NOTES. **Chemical and Mechanical Stabilization of Subgrades and Flexible Pavements Sections**. 1998.

US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION / FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Gravel Roads – Maintenance and Design Manual**. 2000.

CASANGA, JESÚS MUNOZ. **Experiencias com Estabilizadores de Suelos en Caminos de la Cuarta Región**.

GEOTÉCNICA CONSULTORES. **Diagnóstico de Tecnologías de Estabilizadores en Bermas y Paraderos de Tierra**. 1999.

ATKINSON, THOMAS. **Design and Layout of Haul Roads**. Mining Engineering Handbook – SME.

THOMPSON, ROGER J. & VISSER, ALEX T.. **Integrated Asset Management Strategies for Unpaved Mine Haul Roads**. University of Pretoria, 2002.

TANNANT, DWAYNE D. & REGENSBURG, BRUCE. **Guidelines for Mine Haul Road Design – Executive Summary**. School of Mining and Petroleum Engineering – University of Alberta. 2001.

SOTREQ. **Estradas de Transporte – Projeto, Construção e Manutenção**. 1995

Solo-Cloretos

SUPER SAL LOBOS. Página Internet : www.ssl.cl

IPCNOR. Página Internet : www.ipcnor.com.br

SALMAG. Página Internet : www.salmag.cl

SALMAG. Guía para la Aplicación de Bischofita como Estabilizador de Caminos no Pavimentados. Santiago, 2001.

SALMAG. Guía para la Aplicación de Bischofita como Supresor de Polvo en Caminos no Pavimentados. Santiago, 2001.

SALT INSTITUTE. Página Internet : www.saltinstitute.org.

Solo-Escória

NATIONAL SLAG ASSOCIATION. Catálogo Técnico : **Blast Furnace Slag – The Construction Material of Choice.**

NATIONAL SLAG ASSOCIATION. Catálogo Técnico : **Steel Slag – A Premier Construction Aggregate.**

INSTITUTO HABITAT. Pesquisa em Habitação Popular e Projetos Comunitários : **O Resíduo que Vira Cimento.** Página Internet : www.meusite.pro.br/habitat/casanova.htm

Solo-Cimento

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Página Internet : www.abcp.org.br

PORTLAND CONCRETE PAVEMENTS RESEARCH. Página Internet : www.tfhr.gov/pavement/pccp/pccp.htm

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Página Internet : www.portcement.org

MACHADO, CARLOS C. e outros. **Estudo do Comportamento da Mistura Solo-Cimento Reforçado com Fibra Sintética para Uso em Estradas Florestais.** Universidade Federal de Viçosa, 1998.

Solo-Cal

AZEVEDO, ANDRÉ L. C. & RAMALHO, RONEI W.. **Estabilização de Solos com Adição de Cal.** Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico. São Paulo, 2000.

Solo-Cimento Sorel

CHANDRAVAT, M. P. S. e outros. **Effect of Bitumen Emulsion on Setting, Strength, Soundness and Moisture Resistance of Oxymchloride Cement.** Indian Academy of Sciences. 2001.

CORREIA, DANILO M. B.. **Magnesita.** Departamento Nacional da Produção Mineral – Brasil. Página Internet : www.dnpm.gov.br

Produtos Comerciais

DYNACAL PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. Manual Técnico do Produto Dynacal.
Página Internet : www.dynacal.com.br

EMPRESA BRASILEIRA DE NEGÓCIOS AG-TERRA LTDA. Boletins Técnicos dos Produtos Terrafix. Página Internet : www.embraterra.com.br