



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas

Aumento da Resistência de Solos Mediante à Ação de um Ligante Químico

novembro / 96

PMI - 500

Prof. Dr. Wildor Theodoro Hennies

Al. Sérgio Marcos Crissiuma de Figueiredo

Nº 2825779

EPMI

TF-1996

F467a

Sig. no 1579272



Aumento da Resistência
de Solos Mediante a
Ação de um Ligante
Químico

M/1996F

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700006008

ÍNDICE	Pg
1) AGRADECIMENTOS	3
2) RESUMO	4
3) OBJETIVO	5
4) INTRODUÇÃO	5
5) APLICAÇÕES	7
6) A AÇÃO DO LIGANTE	9
7) TAXA DE APLICAÇÃO E PROFUNDIDADE DA SEÇÃO ESTRUTURAL	9
8) ENSAIOS	13
9) RESULTADOS	19
10) DISCUSSÃO	20
11) ANEXO	21
12) BIBLIOGRAFIA	31

1) **AGRADECIMENTOS**

- Ao meu orientador Prof. Doutor Fernando Fujimura pela ajuda e incentivo ao trabalho.

- Ao amigo e colega Leoncio Teófilo Carnero Carnero Engenheiro de Minas e pós-graduando que muito me ajudou na realização deste trabalho.

- E a todas as pessoas que direta e indiretamente colaboraram para a execução deste trabalho.

2) **RESUMO**

Existem vários meios de se conseguir aumentar a resistência de um solo. Com o uso de cimento, cal ou aditivos químicos conseguimos isso, mas a um custo elevado e produtividade baixa.

Através do ligante EMC² (biocatalizador natural) podemos aumentar a resistência economicamente.

Este trabalho visa comprovar experimentalmente a ação e os resultados do tratamento do solo com este ligante.

3) OBJETIVO

Aumentar a resistência à compressão de quatro tipos de solo mediante ligante químico EMC^{2TM} "Superconcentrate Soil Stabilization Products Co, Inc" de fabricação americana.

4) INTRODUÇÃO

A mecânica de solos mostra que, quando a densidade de um solo aumenta, sua resistência também aumenta. Ao mesmo tempo em que esta densidade aumenta sua permeabilidade e compressibilidade diminuem. Ou seja, ao passo em que a porosidade de um solo diminui, há uma diminuição da permeabilidade e da compressibilidade e um consequente aumento de sua resistência. Desta forma, o fator fundamental para obter-se a estabilização de determinados tipos de solos é a obtenção de uma alta densidade destes.

Quando um solo é trabalhado durante o processo contrutivo, sua estabilidade natural e porosidade são modificadas. Para restaurar sua estabilidade existem dois fatores primordiais: **umidade e compactação**.

A presença de umidade em um agregado 'lubrifica' as partículas aumentando tanto a elasticidade quanto, particularmente, a deformação permanente. Estudos realizados sugerem a melhoria da drenagem como primeiro fator a fim de resolver a infiltração de umidade. A melhoria da drenagem simplesmente reduzirá o período de tempo em que o pavimento é submetido a esta condição altamente destrutiva. Os limites de umidade para a compactação são estritos, e por uma boa razão. A variação de apenas 1% do ótimo pode reduzir a densidade para mais de duas libras por pés cúbicos e consequentemente aumentar o espaço vazio para uma porcentagem maior. O aumento da taxa de vazios reduz a firmeza estrutural enquanto aumenta tremendamente a suscetibilidade do material à intrusão de umidade, saturação e perda da resistência. Frequentemente falhamos ao perceber quão pequeno e crítico é um decréscimo ou aumento na densidade durante a construção, mas uma pequena mudança na densidade pode fazer uma grande diferença na estabilidade no longo-prazo.

O objetivo da compactação é obter a maior densidade possível dentro dos fatores limitantes de custo e disponibilidade de equipamento. Nesta equação fica claro que existem fatores sub-utilizados para aumentar a densificação e a compactação destes solos, aos quais não vêm sendo dada a devida atenção.

É aí que residem os maiores benefícios tecnológicos e econômicos da estabilização de solos. O uso de aditivos químicos, cimento e cal para estabilização da base, sub-base e solo para fundações, muito embora consigam operar reações de cimentação que acabam por aumentar a estabilidade, fazem-no a um custo muito elevado, e com produtividade baixa.

Com o ligante EMC² (biocatalizador natural), solúvel em água, formulado especialmente para condicionar uma gama de solos e agregados, obtendo a máxima densidade possível, lubrificando e coalescendo as partículas de solo, aumentando sua coesão e densidade. Este processo envolve a adsorção, co-polimerização, troca iônica, ligações covalentes e microencapsulação das partículas do solo, garantindo uma coesão ideal do material compactado, sua densificação e sua proteção contra a infiltração de umidade.

Portanto, este ligante é uma formulação biocatalisadora projetada para melhorar economicamente a cimentação e a estabilidade de materiais agregados e compactados e de materiais do solo para aplicações de resistência à compressão ou de resistência às forças erosivas do tráfego e das condições climáticas. O ligante é fornecido como um líquido catalisador altamente concentrado e é aplicado em soluções aquosas diluídas.

5) **APLICAÇÕES**

A eficiência e versatilidade do ligante permitem a aplicação numa gama extensa de solos, podendo ser usado para melhorar obras de:

- Estabilização de estradas sem pavimentação,
- Base e sub-base com pavimentação,
- Estabilização de taludes
- Barragens de terra

5.1) *ESTABILIZAÇÃO DE ESTRADAS SEM PAVIMENTAÇÃO*

EMC² reduz a infiltração de umidade, o levantamento produzido pelas geadas, marcas/sulcos de pneus, ondulações, desfiaduras, pulverização e perda por abrasão para uma grande variedade de materiais agregados e de do solos utilizados como superfícies revestidoras de estradas não pavimentadas. Aplicações potenciais incluem: estradas vicinais, pista de pouso, estradas de parques e reservas florestais, estradas de acesso em empresas mineradoras, pátios de manobra bem como ruas de bairros periféricos.

O ligante pode também ser utilizado para estabilizar acostamentos, áreas de estacionamento, áreas de teste e ladeiras aumentando a resistência contra o vento e a erosão da água ou pulverização.

5.2) *BASE, SUB-BASE E LEITO DE ESTRADAS E RUAS PAVIMENTADAS*

O ligante pode ser usado para aumentar a densidade, estabilidade e a capacidade de suporte de vias a serem pavimentadas, sem a necessidade de importar agregados (brita, saibro, laterita), fazendo bom uso de materiais existentes no próprio local. Isto proporciona uma economia substancial no processo de pavimentação, além de garantir um excelente performance da via ao longo dos anos.

5.3) ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Os processos preventivos ou corretivos usados na estabilização de taludes podem ser classificados *por objetivo*, ou seja, estão intimamente ligados às causas e aos agentes do fenômeno de instabilização. Vamos enumerar algumas providências saneadoras dos escorregamentos que estejam correlacionadas ao uso do ligante:

- a) Eliminação da água,
- b) Atenuação da pressão de água,
- c) Atenuação e controle da erosão,
- d) Combate à ação do gelo.

Todas essas medidas visam um melhor controle da umidade e também uma melhor compactação, como é o caso da atenuação da pressão d'água. E tendo o tratamento do solo em questão com nosso ligante tem o objetivo de controlar a umidade e a melhora da compactação, o solo pode ser tratado com EMC².

5.4) BARRAGENS DE TERRA

Os materiais empregados na construção de barragens de terra compactada devem, em princípio, satisfazer as seguintes condições:

- a) **estabilidade** permanente contra a ruptura,
- b) **impermeabilidade** suficiente,
- c) insolubilidade dos sólidos constituintes,
- d) facilidade nas operações de construção (espalhamento e **compactação**).

Se possuímos um material com essas características e ainda tratarmos o solo com nosso ligante, poderemos aumentar a segurança e vida útil de nossa barragem, visto que compactação, estabilidade e impermeabilidade são objetivos pretendidos com o uso do ligante.

6) A AÇÃO DO LIGANTE

A forma de ação do ligante é a capacidade de "molhar" e penetrar no solo, até mesmo solos com granulometria fina que são quase hidrófobos. Este processo aumenta a coesão do solo através da solução água/produto, retardando a evaporação além de diminuir o volume de água necessário para a compactação ideal. Desta forma há um incremento substancial da densidade destes solos, pelo alinhamento das partículas e aglomerados durante o processo da mistura, compactação e cura, concomitante com micro-processos físicos de adsorção, co-polimerização, troca iônica, ligações covalentes e micro-encapsulação das partículas deste solo. O ligante é como um "obstáculo molecular", reforçando a densidade e as forças coesas dentro de um material terreno compactado e protegendo a estrutura estabilizada contra os danos pela infiltração de umidade.

Para enfatizar novamente as vantagens básicas ganhas com a densificação, a maior proximidade das partículas do solo e aglomerados é alcançada reduzindo-se a porosidade e os espaços vazios. O aumento da proximidade fortalece as forças interpartículas e a coesão interna. A porosidade reduzida e os espaços vazios reduzem a permeabilidade e a suscetibilidade aos danos da flutuação de umidade.

7) TAXAS DE APLICAÇÃO E PROFUNDIDADE DA SEÇÃO ESTRUTURAL

TAXAS DE DILUIÇÃO: Podem variar largamente dependendo da umidade do solo in situ (no local) no início do projeto de estabilização. Quando for utilizado EMC² Superconcentrado, as taxas de diluição podem variar desde uma parte do ligante em 300 partes de água (para situações nas quais o índice de umidade do solo já esteja próximo do Índice de Umidade Ótimo) até situações de maior aridez, onde uma parte do ligante pode ser diluída com até 6 000 partes de água (para as situações em que as condições de umidade do solo in situ estejam bem abaixo do Índice de Umidade Ótimo). Cálculos de laboratório do Índice de Umidade Ótimo e medições de campo da umidade in situ podem ser úteis na indicação das taxas de diluição iniciais, porém, devem-se fazer ajustes quando se opera em condições de campo reais.

PROFUNDIDADE DA SEÇÃO ESTRUTURAL: A profundidade padrão de tratamento varia de 100 a 500 mm. A determinação da profundidade adequada de tratamento envolve a análise de variáveis tais como a resistência à compressão do solo ou material agregado não tratado, as condições específicas do solo, a proximidade das camadas horizontais de água, as condições climáticas locais, o volume antecipado e peso de eixo de veículos ou fatores de carga de uma estrutura, o projeto de vida desejado, a performance histórica de uma via existente, as limitações do equipamento de construção disponível e as disponibilidades orçamentárias para assegurar a performance apropriada de longo-prazo.

REQUERIMENTOS DE TEMPERATURA: O ligante deve ser aplicado durante a temperatura mais quente possível. Embora não haja temperatura superior limite sob condições climáticas naturais, é recomendado que as temperaturas durante o dia estejam acima de 10°C. Quando necessário, o ligante pode ser aplicado sob temperaturas frias. Temperaturas abaixo de zero não são um problema após a aplicação e a compactação.

PROCEDIMENTOS PARA A ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS, MATERIAIS AGREGADOS MISTOS E PARA O TRATAMENTO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

Caminhões d'água são geralmente utilizados para aplicar a solução EMC². O ligante é prontamente misturado à água, não requerendo tanque de agitação.

PROCEDIMENTOS DE DILUIÇÃO: Uma vez determinada a taxa de aplicação apropriada, despejar o ligante em um tanque de mistura contendo aproximadamente 25% da água requerida para a mistura apropriada. Adiciona-se, em seguida, o restante da água. O ligante pode também ser adicionado em uma base contínua através de um sistema de medida durante a operação de enchimento da água. A turbulência decorrente da adição de água fornecerá a ação de mistura adequada. Fechar o recipiente após o uso a fim de manter a vedação hermética até que todo o estabilizador tenha sido utilizado.

PROCEDIMENTOS DE PROCESSAMENTO: A solução EMC² deve ser fundida ao solo ou ao material agregado misto. A mistura e fusão completas são necessárias para assegurar uma dispersão uniforme da solução. Um nivelador de estrada padrão pode ser utilizado para manipular a mistura até que ela esteja completamente umedecida e fundida. Um disco agrícola pode proporcionar uma mistura eficiente e econômica. Solos bastante argilosos podem requerer o uso de um mixer de cruzeta rotativa para se obter a pulverização e o umedecimento adequados. Quando a tarefa incluir reparo ou melhoria de uma estrada existente ou a estabilização de um solo nativo in situ, esgarçamento e escarificação são geralmente necessários. Niveladores de estrada ou tratores rastejadores com esgarçadores são empregados para a quebra inicial do material.

PROCEDIMENTOS DE COMPACTAÇÃO: A compactação é essencial para a eficiência do tratamento com o ligante. Após o solo ou o material agregado misto tiver sido fundido ao Índice de Umidade Ótimo com a solução EMC², o melhor equipamento de compactação disponível deve ser utilizado para compactar completamente o material tratado. Quando disponíveis, compactadores vibratórios são em geral preferidos para compactar os materiais a sua mais alta densidade. Se houver possibilidade de chuva à noite, todo o material tratado deve ser compactado antes de anoitecer. Se as previsões meteorológicas indicarem tempo quente e seco para as 24 horas seguintes à aplicação do ligante, pode-se deixar o material em repouso durante a noite antes de iniciar a sua compactação. Se o material secar a um nível abaixo do Índice de Umidade Ótimo durante o intervalo entre a mistura e a compactação, umidade adicional deverá ser aplicada a fim de restabelecer o Índice de Umidade Ótimo. Para maximizar a estabilidade da superfície compactada final, reservar 5% da solução EMC² e aplicá-la durante as operações finais de nivelção e compactação, assegurando o índice de umidade apropriada durante este estágio crítico.

ACABAMENTO DE SUPERFÍCIE: O acabamento de superfície de estradas sem pavimentação e de solos tratados que deverão ser mantidos sem pavimentação devem ser nivelados e compactados tão lisos e uniformes quanto possível. Quanto menos calcário solto deixado nas superfícies das estradas sem pavimentação melhor, já que as pedras tendem a rolar e romper os materiais compactos da superfície, contribuindo para a desfiadura da mesma.

Como qualquer estrada ou área melhorada é importante, sempre que possível, providenciar um bom desnível transversal ou convexo e drenagem perimétrica a fim de maximizar o fluxo de água para fora e para longe da área estabilizada.

CONDIÇÕES DE CURA: Similar à colocação de asfalto e pavimento de concreto ou solos tratados à cal e cimento, condições apropriadas de cura são necessárias para permitir a consolidação do material antes da exposição à chuva. Dependendo da temperatura e das condições de umidade, é recomendável que as aplicações do ligante para estabilização sejam limitadas às condições climáticas estáveis, onde não se espere a ocorrência de chuva durante a aplicação ou durante as 24 horas seguintes.

Se ocorrer uma chuva moderada após terem sido processadas completamente as soluções EMC² no material agregado ou no solo, em geral o único problema resultante será o processamento adicional ou o aumento do tempo de espera necessário para a mistura atingir o índice de umidade adequado para a aplicação do esforço de compactação máximo. Quando se tratar da estabilização de materiais de base que irão ser cobertos por pavimento de asfalto ou concreto, um período de cura de sete dias é geralmente recomendado para permitir a secagem e o fortalecimento da base. Não há problemas de compatibilidade entre o ligante e outros materiais utilizados para a construção de estradas ou de fundações. Concretos, asfaltos, pedaços de pedra, asfalto líquido e paliativos de pó podem todos serem colocados sobre uma base estabilizada com o ligante.

RESTAURAÇÃO DO TRÁFEGO: O tráfego pode ser liberado nas superfícies estabilizadas imediatamente após a compactação se a superfície estiver firme o suficiente para resistir aos rastros de roda e às desfiaduras.

8) **ENSAIOS**

8.1) **APARELHAGEM**

a) Teor de umidade (h)

- Balança eletrônica de precisão 0,01g
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 a 110°C
- Bacias de alumínio
- Bandejas
- Escovas com cerdas

b) Granulometria

- Balança eletrônica
- Série normal de peneiras
- Agitador mecânico de peneiras, com dispositivo de fixação, com tampa

e fundo

- Bandejas
- Escovas com cerdas
- Almofariz
- Pistilo
- Espátula

c) Preparação da solução água-EMC^{2TM}

- Balão de fundo chato de 1000 ml
- pipeta graduada de 5 ml
- Beker graduado de 1000 ml
- Proveta graduada de 100 ml
- baqueta

d) Preparação dos corpos de prova

- 4 tipo de solos
- Peneira de # 10
- Bandeja
- Espátula
- Almofariz

- Pistilo
 - Moldes de PVC de 5 cm de diâmetro por 13 cm de comprimento
 - 14 abrançadeiras de alumínio
 - Bacias
 - Estufa capaz de manter temperatura entre 105 a 110°C
 - Lixas
- e) Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova secos
- Corpos de prova preparados com os solos A, B, C e D
 - Prensa de carregamento baixo do IPT

8.2) DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO

a) Solo A

Apresenta um cor amarelo claro, através do procedimento tátil pode identificar-se como um solo silto-arenoso com conteúdo de argila o que determina pequena resistência do torrão seco que se pulveriza quando desagregado com os dedos da mão. Nota-se pequena aspereza ao tacto. Apresenta umidade com mobilidade de água intersticial devido a sua permeabilidade, quando úmido e colocado na palma da mão, batendo e fechando aparece água mas desapareceu lentamente a superfície brilhante ao abrir-se a mão.

b) Solo B

Mostra um cor amarelado escuro, pela maior presença de umidade que o anterior. Através do procedimento tátil pode identificar-se como um solo areio-siltoso com pequeno conteúdo de argila o que determina resistência muito fraca do torrão seco quando pulverizado com os dedos da mão. Nota-se aspereza ao tacto.

c) Solo C

Apresenta um cor vermelho, o que denota a presença de minerais oxidados de ferro. Pelo procedimento visual tátil, pode identificar-se como um solo silto-arenoso com conteúdo de argila minerais o que determina pequena resistência do torrão seco quando pulverizado com os dedos da mão.

Nota-se pequena aspereza ao tacto. Quando úmido e colocado na palma da mão, batendo e fechando aparece uma superfície brilhante que desaparece lentamente ao abrir a mão o que indica mobilidade de água intersticial.

d) Solo D

Apresenta um cor castanho-escuro, identificando-se como um solo orgânico de partículas fibrosas. Quando umedecido o cor preto é mais intenso. Formado o torrão seco não apresenta resistência nenhuma e ao tacto nota-se aspereza.

8.3) DETERMINAÇÃO DA UMIDADE NATURAL DOS SOLOS

A determinação da umidade natural dos solos se realizou em condições normais de laboratório: sem controle da umidade do ar, temperatura ambiente, etc.

Resultados de ensaios de umidade dos solos A, B, C e D:

	Solo A	Solo B	Solo C	Solo D
Tara (g)	8,14	61,78	40,59	56,23
Ph = Tara (g)	132,42	149,44	96,32	100,49
Ps = Tara (g)	126,38	134,38	90,37	89,49
P água (2-3)	9,04	15,06	5,95	11,00
Ps (3-1)	68,24	72,60	49,78	33,26
Umidade (4:5)	13,25	20,74	11,95	33,07
x 100 (%)				

Como pode-se ver os solos B e D, apresentam maior conteúdo de umidade ao estado natural.

8.4) ANÁLISE GRANULOMÉTRICO DOS SOLOS A, B, C e D

O ensaio granulométrico foi orientado para determinar as curvas granulométricas dos quatro solos em questão.

Dada as condições de umidade e do tempo frio na região, as amostras de solo foram colocadas na estufa entre 105 a 110°C e secadas por um tempo de 6 horas. Após secadas e expostas ao ar para retomar a umidade ambiental, as amostras foram peneiradas na malha 10, tomando-se as precauções de destorroar as partículas maiores no almofariz. O material peneirado foi pesado em 300g para cada tipo de solo.

O material pesado foi colocado junto com a série de peneiras no agitador mecânico por um período de 15 minutos. Transcorrido o tempo recomendado, o material retido em cada peneira foi pesado. A determinação da granulometria e gráficos das curvas granulométricas foram feito com ajuda do Programa Quattro Pro for Windows, versão 1,0, 1992.

Os resultados são apresentados em folhas anexas.

8.5) *PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM ÁGUA, SOLUÇÃO 1:1000 E SOLUÇÃO 1:500*

Os solos A, B, C e D, foram homogeneizados e quarteados. Se pesou 2 kg para cada tipo de solo. Se preparou a solução água- EMC^{2TM} na proporção de 1: 1000 (1000 mililitros de água e 1 ml de ligante químico) e 1:500 (1000 mililitros de água para 2 ml de ligante). Num balão de fundo chato de 1000 ml se avolumou água.

Com uma pipeta graduada de 5 ml se mediu 1 ml de ligante químico e depois 2ml. Foram colocados a água e ligante químico num bequer de 1000 ml e se procedeu a homogenização das soluções.

Colocado o solo previamente numa bandeja e com ajuda de uma proveta graduada de 100 ml foi adicionado a quantidade de solução necessária para cada tipo de solo até formar uma massa de consistência pastosa.

As umidades dos corpos de prova preparados só com água após 4 dias de preparado são:

CORPOS DE PROVA	UMIDADE MÉDIA (%)
A ₀ , A ₁ , A ₂	16,32
B ₀ , B ₁ , B ₂	17,08
C ₀ , C ₁ , C ₂ , C ₃	18,37
D ₀ , D ₁ , D ₂ , D ₄	36,22

As umidades médias dos corpos de prova feitos com solução 1:1000 após 5 dias de cura são:

CORPOS DE PROVA	UMIDADE MÉDIA (%)
A ₀ , A ₁ , A ₂	17,56
B ₀ , B ₁ , B ₂	25,72
C ₀ , C ₁ , C ₂ , C ₃	20,04
D ₀ , D ₁ , D ₂ , D ₄	36,58

E as umidades dos corpos de prova preparados com solução 1:500 após 5 dias de cura são:

CORPOS DE PROVA	UMIDADE MÉDIA (%)
A ₀ , A ₁ , A ₂	21,36
B ₀ , B ₁ , B ₂	22,56
C ₀ , C ₁ , C ₂ , C ₃	16,91
D ₀ , D ₁ , D ₂ , D ₄	44,46

8.6) ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram preparados os corpos de prova nos moldes de PVC, previamente preparados para os fins de ensaio considerando as relações entre diâmetro e comprimento de 1:2,5.

Os corpos de prova preparados para cada tipo de solo foram:

- solo A = 3, denominados A₀, A₁ e A₂
- solo B = 3, denominados B₀, B₁ e B₂
- solo C = 4, denominados C₀, C₁, C₂ e C₃
- solo D = 4, denominados D₀, D₁, D₂ e D₃

As superfícies dos corpos de prova secos, foram preparados para ser ensaiados (compressão) na prensa de baixo carregamento do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).

Resultados de ensaios de resistência à compressão média (σ_c) dos corpos de prova só com água após 48 dias de cura:

CORPOS DE PROVA	σ_c MÉDIA (kg / cm ²)
A ₀ , A ₁ , A ₂	5,02
B ₀ , B ₁ , B ₂	1,78
C ₀ , C ₁ , C ₂ , C ₃	3,74
D ₀ , D ₁ , D ₂ , D ₄	3,40

Dados de resistência à compressão (σ_c) média dos corpos de prova com solução 1:1000 :

CORPOS DE PROVA	σ_c MÉDIA (kg / cm ²)
A ₀ , A ₁ , A ₂	5,36
B ₀ , B ₁ , B ₂	2,38
C ₀ , C ₁ , C ₂ , C ₃	4,28
D ₀ , D ₁ , D ₂ , D ₄	2,82

Resultados de ensaios de resistência à compressão média (σ_c) dos corpos de prova com solução 1:500 após 42 dias de preparados:

CORPOS DE PROVA	σ_c MÉDIA (kg / cm ²)
A ₀ , A ₁ , A ₂	6,29
B ₀ , B ₁ , B ₂	3,57
C ₀ , C ₁ , C ₂ , C ₃	4,85
D ₀ , D ₁ , D ₂ , D ₄	3,38

Resumo da resistência à compressão dos solos:

SOLOS	S/ SOLUÇÃO (σ_c média kg/cm ²)	SOL. 1:1000	SOL. 1:500
Solo A	5,02	5,36	6,29
Solo B	1,78	2,38	3,57
Solo C	3,74	4,28	4,85
Solo D	3,40	2,84	3,38

9) **RESULTADOS**

- A resistência à compressão do solo varia segundo a natureza do solo.
- A resistência à compressão do solo varia com o grau de compactação.
- O solo A alcançou um aumento de resistência na ordem de 25,3% comparando-se a resistência dos corpos de prova feitos só com água e os feitos com solução 1:500.
- O solo B sofreu um aumento de 100% comparando-se os feitos com água e os feitos com solução 1:500.

- No solo C o aumento foi de 30% em relação à solução 1:500 e à água.
- Solo D não apresentou melhoras na sua resistência.

10) **DISCUSSÃO**

Nos solos A, B, C, houve um acréscimo de resistência. Cada solo sofreu um aumento diferenciado, considerando que são solos de granulometria e composição diferentes e não foram levados em consideração a umidade ótima de cada solo para o cálculo da quantidade de água e solução a serem misturados ao solo.

Ainda nestes ensaios, o aumento poderia ter sido maior, pois em alguns corpos de prova o aumento foi inferior a média dos outros. Por exemplo, com solução 1:500 o solo C rompeu com 5,61; 4,08 e 4,85 kg/cm². Esse menor valor (4,08) mostra que houve falha na construção do corpo ou ele não foi bem compactado. Mais provavelmente as suas bases não ficaram alinhadas horizontalmente, induzindo ao erro.

É aconselhável realizar novos ensaios com os solos levando em consideração a umidade ótima de cada solo, uma compactação uniforme e uma análise química da ação do ligante para conclusões com margem de erro baixas.

11) ANEXO

SEQÜÊNCIA da APLICAÇÃO

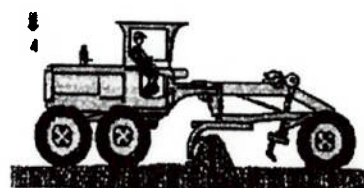
A execução do processo de tratamento com EMC^2 , em uma camada de solo local, é composta, basicamente, de 5 fases:



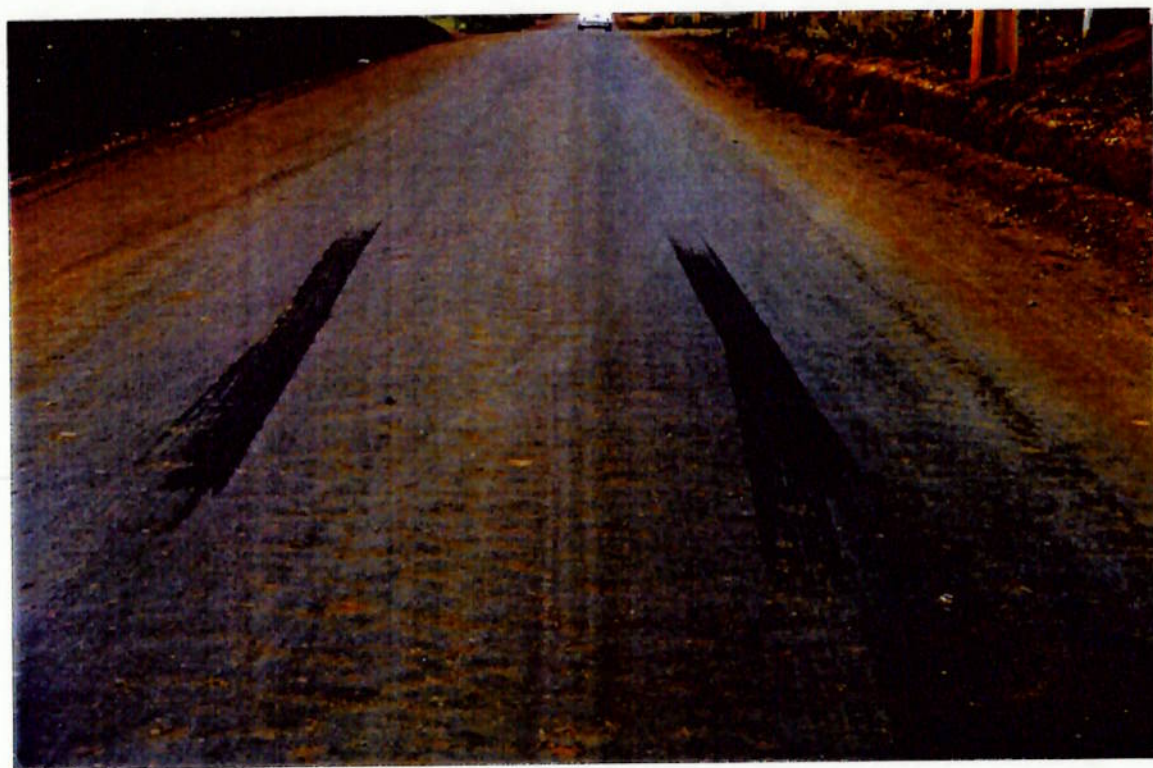
1) Escarificação do solo na profundidade desejada

2) Espargimento com Água + EMC^2 3) Homogeneização do solo tratado com EMC^2

4) Conformação, acerto e acabamento do greide



5) Compactação do solo e selagem da superfície



3 anos sem manutenção , submetido à tráfego intenso - Curitiba - PR

Solo A
 Dados da granulometria
 Peneiramento seco Peso inic= 300.00 (g)

Mesh	Abertura (mm)	Peso Ret. (g)	%Peso	%Acumul. acima	%Acumul. abaixo	%Diâmet p/ malha	Diâmet méd(mm)	Peso ret / Diâmméd
3/4"	19.050	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	19.000	0.00
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	15.875	0.00
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	11.113	0.00
1/4"	6.350	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	7.938	0.00
6#	3.350	18.28	6.17%	6.17%	93.83%	0.2068	4.850	3.77
10#	1.700	61.82	20.87%	27.05%	72.95%	0.3549	2.525	24.48
20#	0.850	54.06	18.25%	45.30%	54.70%	0.1552	1.275	42.40
35#	0.425	40.80	13.78%	59.08%	40.92%	0.0586	0.638	64.00
65#	0.212	32.58	11.00%	70.08%	29.92%	0.0233	0.319	102.29
100#	0.150	14.39	4.86%	74.94%	25.06%	0.0073	0.181	79.50
200#	0.075	16.75	5.66%	80.59%	19.41%	0.0042	0.113	148.89
-200#	0.003	57.47	19.41%	100.00%	0.00%	0.0006	0.039	1473.59
TOTAL	-	296.15	100.00%	-	-	-	-	1938.93

Densidade

1.83 g/cm³

Superfície unitaria Antes

Volume da amostra

161.83 cm³

3.78 1/cm

Diâmetro Medio dos Graos

0.81 mm

Superfície Unitaria Depois

Diâmetro Medio Especifico

0.15 mm

392.83 1/cm

Superfície Especifica Antes

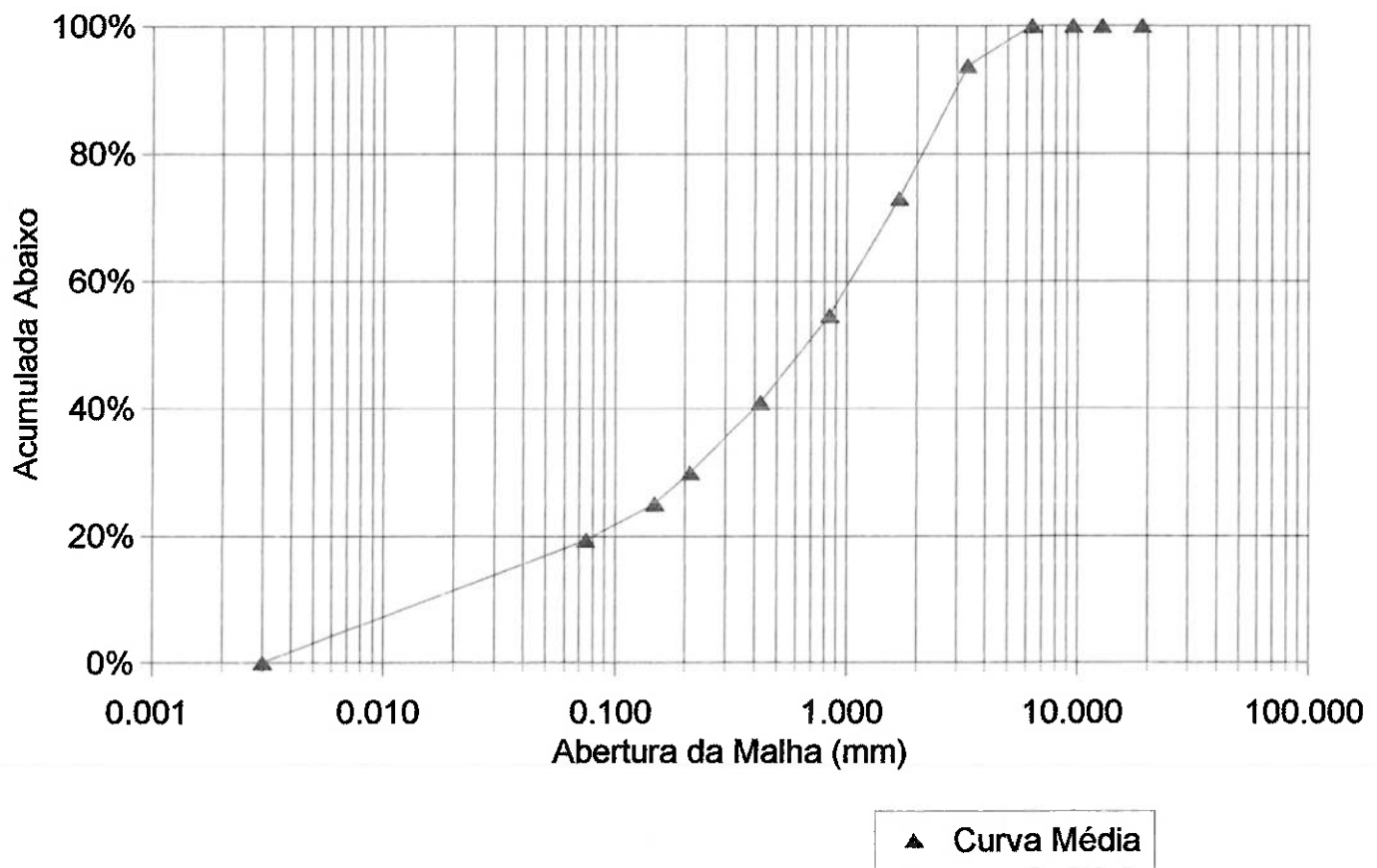
611.6 cm²

Superfície Especifica Depois

63571.3 cm²

SOLO A

Curva granulométrica média



Solo B
 Dados da granulometria
 Peneiramento seco Peso inic= 300.00 (g)

Mesh	Abertura (mm)	Peso Ret. (g)	%Peso	%Acumul acima	%Acumul abaixo	%Diâmet p/ malha	Diâmet méd(mm)	Peso ret / Diamméd
3/4"	19.050	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	19.000	0.00
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	15.875	0.00
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	11.113	0.00
1/4"	6.350	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	7.938	0.00
6#	3.350	21.33	7.15%	7.15%	92.85%	0.2397	4.850	4.40
10#	1.700	55.31	18.55%	25.71%	74.29%	0.3154	2.525	21.90
20#	0.850	46.80	15.70%	41.41%	58.59%	0.1334	1.275	36.71
35#	0.425	36.87	12.37%	53.77%	46.23%	0.0526	0.638	57.84
65#	0.212	31.50	10.57%	64.34%	35.66%	0.0224	0.319	98.90
100#	0.150	16.62	5.57%	69.91%	30.09%	0.0084	0.181	91.82
200#	0.075	19.78	6.63%	76.55%	23.45%	0.0050	0.113	175.82
-200#	0.003	69.91	23.45%	100.00%	0.00%	0.0007	0.039	1792.56
TOTAL	-	298.12	100.00%	-	-	-	-	2279.95

Densidade

1.88 g/cm3

Superfície Unitaria Antes

Volume da Amostra

158.57 cm3

3.78 1/cm

Diametro Medio dos Graos

0.78 mm

Superfície Unitaria Apos

Diametro Medio Especifico

0.13 mm

458.87 1/cm

Superfície Especifica Antes

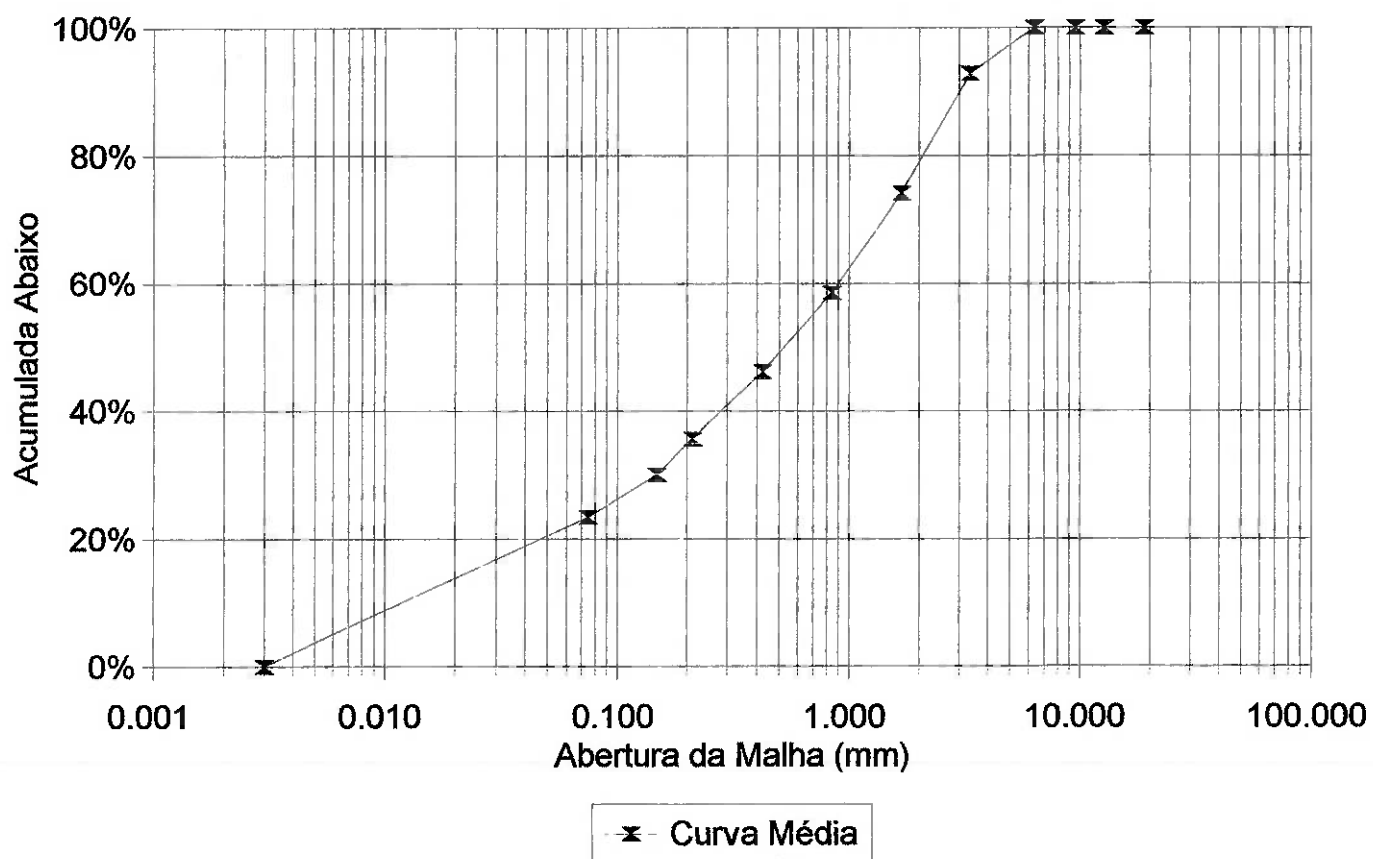
599.3 cm2

Superfície Especifica Depois

72764.5 cm2

SOLO B

Curva Granulométrica Média



Solo C
 Dados da granulometria
 Peneiramento seco Peso inic= 300.00 (g)

Mesh	Abertura (mm)	Peso Ret. (g)	%Peso	%Acumul acima	%Acumul abaixo	%Diâmet p/ malha	Diâmet méd(mm)	Peso ret / Diam.mée
3/4"	19.050	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	19.000	0.00
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	15.875	0.00
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	11.113	0.00
1/4"	6.350	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	7.938	0.00
6#	3.350	13.67	4.61%	4.61%	95.39%	0.1544	4.850	2.82
10#	1.700	44.40	14.97%	19.58%	80.42%	0.2545	2.525	17.58
20#	0.850	49.60	16.73%	36.31%	63.69%	0.1422	1.275	38.90
35#	0.425	40.98	13.82%	50.13%	49.87%	0.0587	0.638	64.28
65#	0.212	33.13	11.17%	61.30%	38.70%	0.0237	0.319	104.02
100#	0.150	15.68	5.29%	66.59%	33.41%	0.0079	0.181	86.63
200#	0.075	18.90	6.37%	72.96%	27.04%	0.0048	0.113	168.00
-200#	0.003	80.19	27.04%	100.00%	0.00%	0.0008	0.039	2056.15
TOTAL	-	296.55	100.00%	-	-	-	-	2538.39

Densidade

1.84 g/cm3

Superfície Unitaria Antes

Volume da Amostra

161.17 cm3

3.78 1/cm

Diametro Medio dos Graos

0.65 mm

Superfície Unitaria Depois

Diametro Medio Especifico

0.12 mm

513.58 1/cm

Superfície Especifica Antes

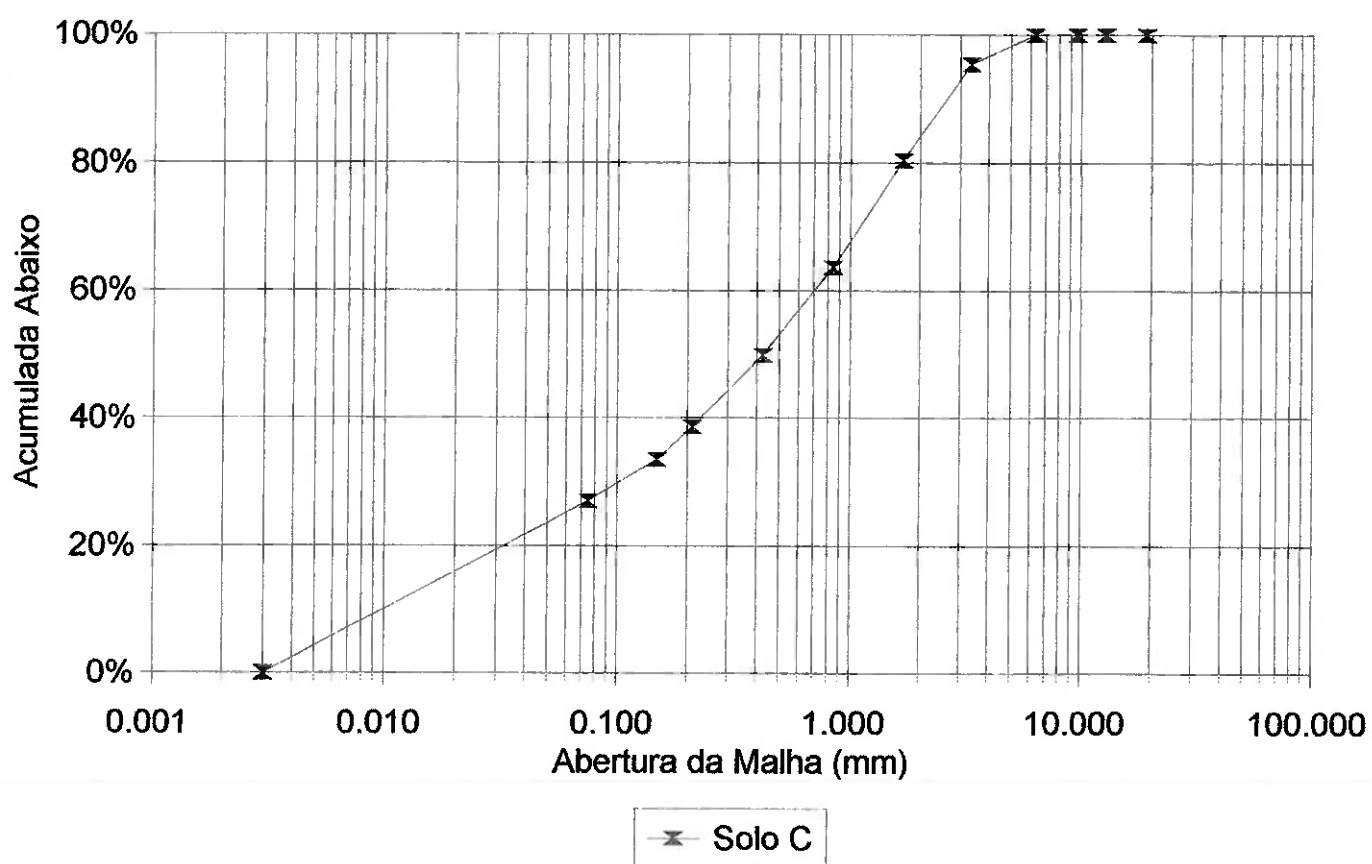
609.1 cm2

Superfície Especifica Depois

82773.6 cm2

SOLO C

Curva Granulométrica média



Solo D
 Dados da granulometria
 Peneiramento seco Peso inic= 340.00 (g)

Mesh	Abertura (mm)	Peso Ret. (g)	%Peso	%Acumul acima	%Acumul abaixo	%Diâmet p/ malha	Diâmet méd(mm)	Peso ret / Diamméd
3/4"	19.050	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	19.000	0.00
1/2"	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	15.875	0.00
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	11.113	0.00
1/4"	6.350	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	0.0000	7.938	0.00
6#	3.350	10.35	3.08%	3.08%	96.92%	0.1031	4.850	2.13
10#	1.700	54.93	16.33%	19.41%	80.59%	0.2776	2.525	21.75
20#	0.850	82.51	24.53%	43.94%	56.06%	0.2085	1.275	64.71
35#	0.425	68.75	20.44%	64.38%	35.62%	0.0869	0.638	107.84
65#	0.212	45.76	13.61%	77.99%	22.01%	0.0288	0.319	143.67
100#	0.150	17.60	5.23%	83.22%	16.78%	0.0078	0.181	97.24
200#	0.075	21.77	6.47%	89.69%	10.31%	0.0049	0.113	193.51
-200#	0.00	34.66	10.31%	100.00%	0.00%	0.0003	0.039	888.72
TOTAL	-	336.33	100.00%	-	-	-	-	1519.59

Densidade

1.20 g/cm³

Superfície Unitaria Antes

Volume da Amostra

280.28 cm³

3.78 1/cm

Diâmetro Medio dos Graos

0.72 mm

Superfície Unitaria Depois

Diâmetro Medio Especifico

0.22 mm

271.09 1/cm

Superfície Especifica Antes

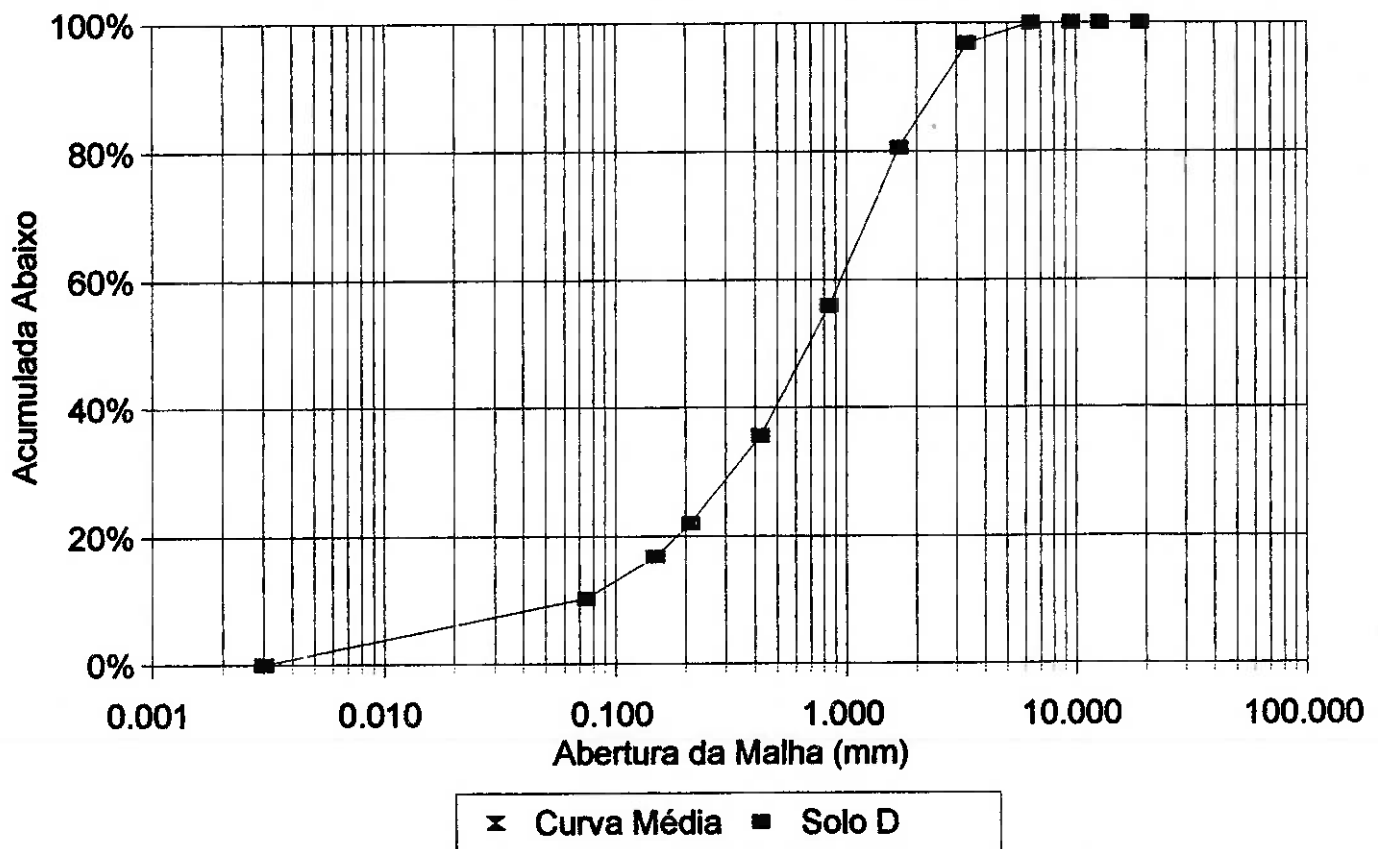
1059.3 cm²

Superfície Especifica Depois

75979.3 cm²

SOLO D

Curva granulométrica média



12) **BIBLIOGRAFIA**

- Batista, Ciro de Freitas Nogueira - Pavimentação (Vol. 1) - ed. Globo, RJ, 1976.
- " Barragens do Brasil : Dans in Brazil" - Comitê brasileiro de grandes barragens - ed. Novo grupo, 1982.
- Caputo, Homero Pinto - Mecânica dos solos e suas aplicações (Vol. 2) - ed. Ao livro técnico, RJ, 1969.
- Cruz, Paulo Teixeira da - Estabilidades de taludes - ed. EPUSP, SP, 1970.
- Carvalho, Pedro Alexandre Sawaya de, - Manual de geotecnia : Taludes de rodovias : orientação para diagnósticos e soluções de seus problemas - IPT, publicação nº 1843, SP, 1991.
- Darnell, G. Ross - Sulfur polymer cement, a nea solidification and stabilization agent for low-level and mixed wastes - International Journal of Environmental in Minerals and Energy Industry, (1992): 1-5.
- Guidicini, Guido - Estabilização de taludes naturais e de escavação - ed. Edgard Blücher e Universidade de São Paulo, SP, 1976.
- Senço, Wlastermiller de - Pavimentação - ed. Bisordi, SP, 1974.
- "Technical Seminar Series 1996", Soil Stabilization Products Co., Inc. Persto Products Company.
- Vargas, Milton - A ruptura da barragem da Pampulha - IPT, publicação nº 529, SP, 1955.