



**ESTABILIZAÇÃO DE SUBLEITO COM BAIXA CAPACIDADE DE
SUPORTE**

SÃO PAULO
2017



ANDERSON PEREIRA DE OLIVEIRA
FÉLIX DE MORAIS TITICO JUNIOR

**ESTABILIZAÇÃO DE SUBLEITO COM BAIXA CAPACIDADE DE
SUPORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Pavimentação Rodoviária, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Pavimentação Rodoviária.

Orientador: Prof. D.Sc. Assis Rodrigues Abbud Vilela

SÃO PAULO
2017

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus pela oportunidade que nos proporcionou em estudar, adquirir conhecimentos e conviver com professores e colegas nesse curso, propiciando assim grande crescimento pessoal e profissional.

Às nossas famílias, esposas e filhos que nos apoiaram e nos incentivaram durante o período desse curso.

Ao Instituto IDD pela valiosa colaboração que presta à Engenharia Brasileira, levando conhecimento e formando Profissionais da Engenharia Civil comprometidos com a verdadeira vocação de prestar bons serviços

Ao Engenheiro Civil Professor Assis Rodrigues Abbud Villela pela paciência e valiosa colaboração na orientação desse trabalho.

À Construções Engenharia e Pavimentação ENPAVI Ltda. na pessoa de sua presidente Doutora Silvana Aulicino que apoiou e acreditou neste projeto para crescimento profissional de seus colaboradores.

Ao Engenheiro Civil Wagner Couto Afonso pela amizade, parceria e por ter incentivado a participação no curso de Especialização em Pavimentação Rodoviária.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE ESTABILIDADE DE SUBLEITO COM BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE

Por

ANDERSON PEREIRA DE OLIVEIRA

FÉLIX DE MORAIS TITICO JUNIOR

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PAVIMENTAÇÃO
RODOVIÁRIA, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA
PELOS PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

São Paulo, 04 de agosto de 2017.

D.Sc. Assis Rodrigues Abbud Villela

M.Sc. Paulo Sergio Peterlini

M.Sc. Santi Ferri

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi desenvolvido a partir da dificuldade encontrada em campo para implantação de um pavimento destinado ao corredor exclusivo de ônibus ligando as cidades de Itapevi e Jandira, localizadas na Região Metropolitana da cidade de São Paulo.

O local escolhido para implantação do empreendimento margeia a linha férrea da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos) que vem sofrendo com invasões por parte dos moradores, aterros irregulares e falta de saneamento básico.

O projeto enviado para execução determinava os parâmetros que deveriam ser atendidos para as várias camadas de pavimento, porém as análises apresentadas, que geraram o projeto, não conferiam com os ensaios realizados “in loco”. O subleito apresentava diferentes valores do Índice de Suporte Califórnia (ISC/CBR) e deflexões recuperáveis e com isso surgiu a necessidade de se criar uma metodologia para uma tomada rápida de decisão.

Estudou-se, a partir daí qual seria a camada ideal de material granular para estabilizar os subleitos com baixa capacidade de suporte.

Palavras chave: Estabilização, ISC/CBR, Subleito, suporte, infraestrutura.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Definição das camadas (Marques (2007) e Nekel (2008))	22
Figura 2 – Tensões normais e tangenciais (Medina, 1997)	32
Figura 3 – Registro oscilográfico do ensaio de cargas repetidas (Medina, 1997)	33
Figura 4 - Corredor Metropolitano Itapevi – São Paulo – Trecho Itapevi - Jandira	39
Figura 5 – Solos contaminados com entulhos e materias orgânicos.	40
Figura 6 – Tela inicial do programa ELSYM-5.....	42
Figura 7 – Tela inicial	44
Figura 8 – Tela 1	44
Figura 9 – Tela 2	45
Figura 10 – Tela 3	45
Figura 11 – Coordenadas de análise (VILLELA, 2012).....	46
Figura 12 – Distribuição de cargas/pressão/raio.....	46
Figura 13 – Tela 4	47
Figura 14 – Posição de análise dos esforços.....	47
Figura 15 – Tela inicial	48
Figura 16 – Tela 5	48
Figura 17 – Tela 6	49
Figura 18 – Tela 7	49
Figura 19 – Tela 8	50
Figura 20 – Deflexão da camada granular	50
Figura 21 – Gráfico ISC/CBR versus deflexão recuperável.....	55
Figura 22 – Gráfico espessura camada granular versus deflexão	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modulos de Resiencias - IP-DE-P00/001 – DER SP – 2006	36
Tabela 2 – Valores de dados de entrada do programa computacional	43
Tabela 3 – Valores encontrados das deflexões	51
Tabela 4 – ISC/CBR x camada de material granular	52
Tabela 5 – Estabilização do subleito com material granular	53

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	3
FOLHA DE APROVAÇÃO	4
RESUMO	5
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	6
LISTA DE TABELAS.....	7
SUMÁRIO.....	8
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2. OBJETIVOS	15
1.2.1. Objetivo Geral	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. HIPÓTESE	16
1.4. JUSTIFICATIVAS	16
1.4.1. Tecnológicas.....	17
1.4.2. Econômicas	17
1.4.3. Sociais	17
1.4.4. Ecológicas	17
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	20
2.1. SOLOS.....	20
2.2. AGREGADO	21
2.3. BASES DO PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	21
2.4. ENSAIO DE ISC/CBR.....	23
2.5. ENSAIOS DEFLECTOMÉTRICOS	24
2.5.1 Viga Benkelman	26
2.5.2 FWD	28
2.6 MODULO DE RESILIENCIA	31
2.6.2 MR para Materiais Granulares	34

2.6.3 Coeficiente de Poison	34
2.7 PROGRAMA COMPUTACIONAL ELSYM5 – <i>ELASTIC LAYERED SYSTEM</i>	36
3 METODO DE PESQUISA.....	39
3.1 DADOS DO PROJETO A SER IMPLANTADO	41
3.1.1 Dados da Análise	42
Fonte: Fundamentação Teórica.	43
3.1.2 Análise do Subleito	43
3.1.3 Análise da Camada Granular.....	49
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
7 ANEXOS.....	60
7.1 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 0,5%	60
7.2 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 1,0%	62
7.3 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 1,5%	64
7.4 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 2,0%	66
7.5 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 2,5%	68
7.6 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 3,0%	70
7.7 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 3,5%	72
7.8 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 4,0%	74
7.9 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 4,5 %	76

7.10 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 5,0%	78
7.11 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 5,5 %	80
7.12 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 6,0%	82
7.13 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 6,5%	84
7.14 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 7,0%	86
7.15 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 7,5%	88
7.16 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 8,0%	90
7.17 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 8,5%	92
7.18 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 9,0%	94
7.19 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 9,5%	96
7.20 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 10,0%	98
7.21 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 0,5%	100
7.22 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 1,0%	102
7.23 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 1,5%	104
7.24 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 2,0%	106

7.25 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 2,5%	108
7.26 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 3,0%	110
7.27 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 3,5%	112
7.28 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 4,0%	114
7.29 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 4,5%	116
7.30 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 5,0%	118
7.31 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 5,5%	120
7.32 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 6,0%	122
7.33 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 6,5%	124
7.34 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 7,0%	126
7.35 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 7,5%	128
7.36 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 8,0%	130
7.37 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 8,5%	132
7.38 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 9,0%	134
7.39 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 9,5%	136

7.40 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 10,0%	138
---	-----

1. INTRODUÇÃO

Quando a primeira estrada brasileira foi inaugurada, os presentes ficaram maravilhados com a velocidade que a pista proporcionava. Em 1861, D. Pedro II e uma grande comitiva percorreram o vistoso caminho de Petrópolis a Juiz de Fora. As diligências cruzaram a estrada recém-inaugurada à fantástica velocidade de 20 quilômetros por hora. Porém a ampliação da malha rodoviária ocorreu no governo Vargas (1932), com a criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em 1937 e, mais tarde, com a implantação da indústria automobilística na segunda metade da década de 1950 a aceleração do processo de industrialização e a mudança da capital federal para Brasília. A partir daí a rede rodoviária se ampliou de forma notável e se tornou a principal via de escoamento de carga e passageiros do país. No setor rodoviário de cargas o caminhão é o principal meio de transporte. A frota nacional de caminhões em circulação representa 70% e tem mais de 15 anos de idade.

De acordo com a Pesquisa CNT (2016), 58,2% das rodovias brasileiras pesquisadas ainda não oferecem as condições adequadas de trafegabilidade, conforto e segurança aos usuários. Um dos problemas encontrados no Brasil, relacionado à estrutura dos pavimentos flexíveis, é o não atendimento às exigências técnicas de capacidade de suporte das camadas do pavimento e de qualidade dos materiais empregados no revestimento. Essas falhas construtivas trazem como consequência um processo de deformação mais acelerado, o que exige maiores custos com manutenção desses pavimentos para atingir condições ideais de tráfego. As consequências diretas da baixa qualidade das rodovias é o aumento do custo operacional do transporte rodoviário de cargas, que impacta o frete e, consequentemente, o preço dos produtos produzidos e consumidos no país, bem como a competitividade no mercado internacional.

Outro tipo de transporte que impacta na vida dos pavimentos das metrópoles brasileiras, é o de transporte de massa, ou seja, o transporte coletivo urbano. De acordo com dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), circulam pelas ruas

e estradas do país mais de 90 milhões de veículos, entre automóveis, caminhões, motocicletas, tratores, ônibus e outros. A região Sudeste concentra 44 milhões de veículos, e desses, mais de 26 milhões estão no Estado de São Paulo, dos quais 7,6 milhões (DENATRAN, 2016) transitam em 17,2 mil quilômetros de vias da cidade de São Paulo (SÃO PAULO ANUÁRIO, 2013). O número de ônibus e micro-ônibus soma mais de 80 mil. A frota de veículos autorizados a circular prestando o serviço de transporte coletivo da cidade é de 14.759 veículos cadastrados, com 1386 linhas em operação e 2.895.685.377 passageiros transportados em 2015 (SPTRANS, 2016). O transporte público é o principal instrumento de circulação de pessoas dentro e fora da cidade.

Uma das soluções viáveis para o transporte público e mobilidade urbana são as faixas exclusiva de ônibus. Porém estas faixas, sem o devido dimensionamento do pavimento para esta finalidade, sofrem com elevadas cargas dos pesos dos eixos ônibus, podendo apresentando uma série de defeitos patológicos dos tipos desgastes do asfalto, trincas e rachaduras, buracos e pedregulhos soltos. Quando há falta de sinalização que alerte sobre esses problemas, podem causar maiores acidentes. Em muitos casos, isso ocasiona desvio ou frenagem de forma inesperada, o que pode causar acidente de trânsito.

Conforme Valim e Câmara (2015), as patologias na faixa exclusiva de ônibus causam: desconforto aos usuários, as paradas são maiores, a velocidade diminui, ocorre atraso nas viagens, aumento nos tempos de viagem, quedas e acidentes dentro e fora dos coletivos, manutenção precoce da via pública e dos ônibus, prejuízos aos cofres públicos e às empresas do setor etc., uma vez que, não houve o devido planejamento para implantação das faixas exclusivas, às quais, grande parte não estava preparada para receberem tráfego de veículos pesados. Em dias de chuva, quando a água camufla as patologias, aumenta ainda mais a possibilidade de acidentes.

Nesse sentido deve-se, então, serem desenvolvidos projetos adequados e específicos capazes de suportar os elevados carregamentos e consequentemente atender à segurança e o conforto aos usuários.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Ao executar um projeto de pavimentação o subleito encontra-se com capacidade de suporte inferior a estabelecida em projeto. Neste sentido, estabelece-se o seguinte questionamento:

Seria possível desenvolver uma ferramenta (ou metodologia) capaz de auxiliar a rápida tomada de decisão em campo, definindo a espessura necessária de material granular, para estabilização do subleito com baixa capacidade de suporte?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Determinar a espessura ideal para aplicação de material granular no intuito de estabilizar subleitos com baixa capacidade de suporte.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analisar através do programa computacional ELSYM5 as tensões e deformações causadas por diferentes tipos de ISC/CBR encontrada em solos heterogêneos;

- Analisar com o programa computacional ELSYM5 espessuras ideais para camadas de material granular devendo esta atingir deflexões de projeto;
- Criar tabelas com espessuras de materiais granulares a serem aplicadas no intuito de se atingir deflexões de projeto auxiliando assim a tomada de decisão em obra.

1.3. HIPÓTESE

Como uma das maiores dificuldades encontradas na execução de um pavimento flexível é a estabilização de subleitos com baixa capacidade de suporte, acredita-se que, se houver uma ferramenta que auxilie o executor na tomada de decisão de, quanto deverá ser aplicada de material granular para estabilizar o subleito, isso realmente pode diminuir os impactos nos prazos de execução das obras?

1.4. JUSTIFICATIVAS

Ao receber um projeto de implantação de pavimento em áreas já adensadas, o executor depara-se com um dilema. O projeto a ser executado já está defasado com relação ao tempo de sua elaboração e efetiva execução. Invasões, construções irregulares, descartes de entulho, esgoto a céu aberto e etc., alteraram as características naturais dos solos e com isso, todas as premissas adotadas na concepção do mesmo. Como o empreendimento tem que ser executado, pretende-se então diminuir os impactos causados entre a análise atual do solo encontrado com o parâmetro adotado em sua concepção. Pretende-se ainda criar uma forma de o executor decidir rapidamente como poderá o subleito ser estabilizado com baixa capacidade de suporte.

1.4.1. Tecnológicas

A utilização de material granular para estabilização de subleitos com baixa capacidade de suporte permite que toda a premissa adotada na elaboração dos projetos executivos seja atingida satisfatoriamente e mesmo que este esteja desatualizado com relação ao tempo e elaboração e execução do empreendimento, podem ser executados.

1.4.2. Econômicas

O executor ao saber qual vai ser a quantidade exata que deve comprar e aplicar de matéria granular para estabilizar o subleito com baixa capacidade de suporte, pode conseguir atender ao prazo de execução estabelecido para as obras evitando, assim, multas por atraso.

1.4.3. Sociais

A rápida tomada de decisão na execução dos empreendimentos diminui os impactos causados pelo tráfego de máquina e equipamentos e ao final das obras deixa uma nova paisagem para a população envolvida

1.4.4. Ecológicas

Com a determinação de espessuras ideais de camadas de materiais granulares a serem aplicadas, podem se evitar desperdícios de materiais pétreos, retiradas de quantidades excessivas da natureza e descartes de material não inerte em bota-fora.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esse TCC tem o objetivo de criar uma tabela onde o executor do empreendimento, após análise do solo e, com isso, sabendo o valor do ISC/CBR ou a deflexão recuperável encontrada em campo, possa determinar qual a espessura de material granular a ser aplicado para se atingir os parâmetros determinados em projeto para estabilização do subleito.

Para tanto os seguintes processos foram seguidos:

- a) No programa ELSYM5 vão ser executadas análises com ISC/CBR variando de 0,5% a 10%;
- b) Analisar no programa ELSYM5 as espessuras de camada de material granular para atingir as deflexões de projeto; e
- c) Criar uma tabela com os dados apurados.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1 – Introdução** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização do presente estudo e os procedimentos metodológicos que vão ser adotados.

O **Capítulo 2 – Fundamentação Teórica** aborda uma revisão bibliográfica enfocadas nos ensaios de resistência do solo, ou seja, a sua capacidade de suporte, aplicando-se a metodologia específica do ensaio do ISC/CBR. Além disso, os ensaios deflectométricos com utilização de equipamentos dos tipos viga Benkelman e o FWD, Módulo de Resiliência e por último, teorias de mecânica de pavimento para entendimento do programa computacional Elsym-5 que vai ser utilizado como ferramenta na presente pesquisa.

O **Capítulo 3 – Método de Pesquisa**, do tipo programa experimental com a aplicação do programa computacional ELSYM5 para se verificar parâmetros de análises primeiramente de diferentes deflexões apresentadas, variando-se valores dos ensaios de resistência (ISC/CBR) e as espessuras de material granular a ser proposto necessárias para atingir uma deflexão de projeto previamente considerada.

O **Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados** apresenta o resultado obtidos nos procedimentos descritos no Capítulo 3

O **Capítulo 5 – Considerações Finais** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

No presente capítulo vão ser abordados a conceituação de solos e subleitos, os ensaios de ISC/CBR e deflectométricos com os equipamentos viga Benkelman e *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Vão ser abordados também os coeficientes de Poisson dos solos e materiais granulares e os seus respectivos módulos de resiliências para que possa aplicar o programa computacional ELSYM-5 que tem como procedimento de cálculo a busca de solução a partir da teoria elástica de sistemas de camadas a qual vai ser utilizado para análises das camadas e possibilitar a criação da ferramenta aqui estudada.

2.1. SOLOS

De acordo com Alberto Pio Fiori (FIORI, 2015) uma massa de solo pode ser considerada como um conjunto de partículas sólidas, encerrando vazios de formas e tamanhos variados que, por sua vez, podem estar preenchidos com água, ar ou ambos. Logo, o solo pode ser equacionado da seguinte forma: solo = sólido + líquido + gases.

Uma massa de solo pode ser descrita por suas propriedades físicas, como peso específico, teor de umidade, índices de vazios, entre outras, e suas propriedades mecânicas, como ângulo de atrito interno, resistência ao cisalhamento, coesão, entre outras (FIORI, 2015).

Uma pequena variação de seus valores pode influir consideravelmente na distribuição dos esforços e na natureza do equilíbrio, modificando radicalmente a segurança dos implantes ou obras (FIORI, 2015)

Dados estatísticos e experimentais sobre as propriedades mecânicas dos solos devem ser tomados com cuidado e comparados durante a realização de obras, devendo-

se avaliar as consequências de suas possíveis variações sobre a segurança das obras (FIORI, 2015).

2.2. AGREGADO

É geralmente, granular, sem forma e volume definidos, com dimensões características e propriedades adequadas para a preparação de argamassas e concretos (NBR 9935/05).

Woods (1960) define agregado como sendo uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escória ou outros materiais minerais usados em combinação com um ligante para formar um concreto, uma argamassa etc.

2.2.1 Material Granular

Agregado constituído do material que passa no britador primário e é retido na peneira de 76 mm. É a fração acima de 76 mm da bica corrida primária. A NBR 9935 define material granular como “pedra de mão”, de dimensões entre 76 e 250 mm.

2.3. BASES DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Segundo a NBR 7207/82 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os pavimentos flexíveis são compostos por camadas que não trabalham a tração, observação feita ao revestimento que pode ou não suportar esse tipo de esforço. Então, Balbo (2007) explica que as camadas constituintes do pavimento devem sofrer deformações compatíveis com a natureza de cada camada que a compõem para se obter um funcionamento adequado. Além do mais, as cargas devem ser distribuídas em parcelas equivalentes entre as camadas para que não ocorram rupturas e danificações precoces no pavimento.

O pavimento flexível é formado por diferentes tipos de camadas, em que as principais são: revestimento asfáltico, base, sub-base, reforço do subleito e regularização do subleito conforme a figura. Em que todas essas camadas são apoiadas sobre o subleito (Marques, 2007).

A ilustração da Figura 1 apresenta sucinta definição das camadas da estrutura do pavimento flexível, de acordo com Marques (2007) e Neckel (2008):

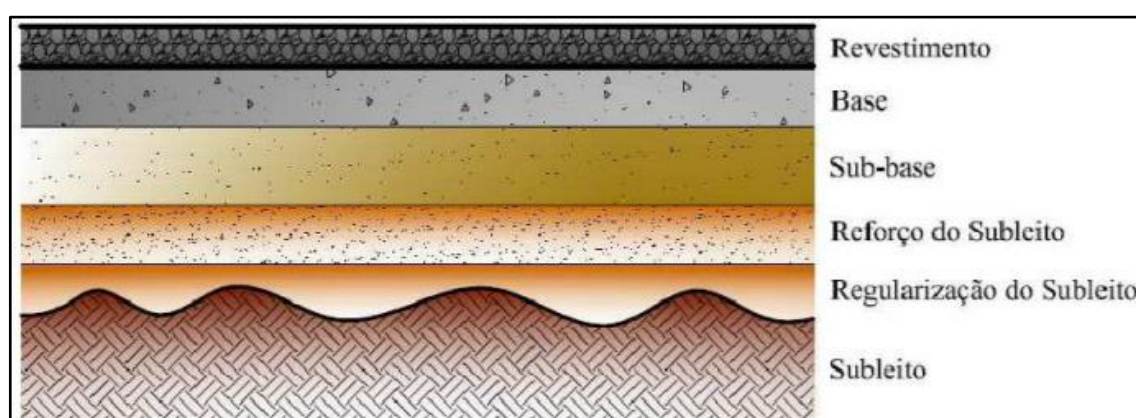


Figura 1 – Definição das camadas (Marques (2007) e Nekel (2008))

As camadas dos pavimentos podem ser descritas da seguinte maneira:

- Revestimento é a camada que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e serve para melhorar as condições da via, proporcionando conforto e segurança e deve resistir ao desgaste e aos esforços atuantes;
- Base é a camada que resiste os esforços da superfície de rolamento e distribui ao subleito, devendo ter um ISC/CBR maior que 60% de acordo com a especificação de serviço DNIT 141/2010 - ES;
- Sub-base é a camada que complementa a base, no caso de não ser possível executar a base diretamente no subleito regularizado ou reforço e deve ter ISC/CBR maior que 20%;

- Reforço de subleito é uma camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente que serve para melhorar a qualidade do subleito;
- Regularização do subleito também conhecido como nivelamento, é a camada destinada a conformar o leito transversalmente e longitudinalmente; e
- Subleito é o terreno onde o pavimento será assentado devendo-se estudar até onde a profundidade onde as tensões irão atuar.

2.4. ENSAIO DE ISC/CBR

Adotado por uma grande parcela de projetistas de pavimentos, o ensaio de ISC/CBR é determinado através da relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão cilíndrico padronizado em um corpo de prova de um determinado solo, e a pressão necessária para penetrar o mesmo pistão em uma brita graduada padrão californiana. Ou seja, ao se deparar com um resultado de $CBR=10\%$, entende-se que aquele solo representa 10% da resistência a penetração dela. O ensaio também permite a obtenção de outro parâmetro importante relacionado com a durabilidade, que é o índice de expansibilidade do solo, pois em uma etapa do ensaio, o solo é imerso em água por no mínimo 4 dias, possibilitando a análise da expansão da amostra ensaiada.

O ensaio é dividido em três importantes fases:

Compactação do corpo de prova, realizada a compactação com energia padrão (cilindro Proctor), atentando-se ao número correto de golpes e camadas, correspondentes à energia desejada, normal ou modificada. É necessário moldar no mínimo cinco corpos de prova, variando o teor de umidade para que seja possível caracterizar a curva do ensaio.

Expansão, após a moldagem dos corpos de prova, é hora de obter os valores de expansão. Para isso, o conjunto já preparado para o ensaio é imergido em água por no mínimo quatro dias, devendo ser realizadas leituras no extensômetro a cada vinte e quatro horas.

Resistência à penetração a qual é retirado o corpo de prova, após o período de imersão, e deixado a ser drenado naturalmente por quinze minutos. Logo em seguida, leva-se o corpo de prova para a prensa calibrada, onde vai ser rompido através da penetração de um pistão cilíndrico com área de $19,35 \text{ cm}^2$ com uma velocidade de $1,27 \text{ mm/min}$. Utilizando-se um anel dinamômetro na prensa, registra-se os valores necessários para o cálculo das pressões de cada penetração sendo que para o cálculo é adotado as pressões lidas entre as penetrações de 2,54 e 5,08 mm.

2.5. ENSAIOS DEFLECTOMÉTRICOS

A avaliação mais adequada para ser feita em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, de forma a acompanhar a variação da capacidade de carga com o tempo, é a que lança mão de medidas não-destrutivas, representadas por medidas de deflexão recuperável do pavimento sendo que a cada passagem de roda o pavimento sofre um deslocamento total que tem duas componentes básicas:

1. A deformação elástica que resulta na flexão alternada do revestimento, chamada por convenção de deflexão, cuja medida é a principal forma de avaliação estrutural de um pavimento em uso. (LIEDI, MOTTA, *et al.*, 2008)

2. A deformação permanente que resulta no afundamento de trilha de roda cuja medida também é um critério de definição da vida útil estrutural e funcional de um

pavimento visto que, a partir de certo valor, pode interferir na condição de conforto e segurança do tráfego. (LIEDI, MOTTA, *et al.*, 2008)

Quando se mede o deslocamento elástico em vários pontos a partir da carga tem-se a denominada bacia de deflexão ou linha de influência da carga sobre um ponto do pavimento de acordo com a norma DNER-ME 061/94.

Os equipamentos utilizados em avaliações não-destrutivas (NDT – *Nondestructive Deflection Testing* (NDT) podem ser divididos em dois tipos:

Carregamento quase-estático: Viga Benkelman (VB).

Carregamento por impacto: *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Há bastante diferença entre os valores numéricos de avaliação estrutural realizados utilizando-se cada um desses tipos de equipamentos, que podem ser usados para levantamentos da condição de pavimentos para sistema de gerência em nível de rede, para análises de rotina ou para projeto de reabilitação. Todos os equipamentos devem ser constantemente calibrados por processos específicos e seguem rotinas de aplicação determinada pelo tipo de carregamento (ASTM D 4695).

Os equipamentos de medição de deflexão recuperável do pavimento mais utilizados no país são de duas gerações bastante distintas:

1. o primeiro, desenvolvido, na década de 1950, foi a VB, sendo o engenheiro do Departamento de Transportes da Califórnia, A. C Benkelman, o seu criador. Foi introduzido no Brasil em 1962 (Carneiro, 1965);

2. o segundo do tipo peso batente (FWD) criado na década de 1980 a qual foi introduzido no Brasil em 1994 (DNER, 1998).

Com esses equipamentos são medidos os seguintes parâmetros:

1. Deflexão máxima: deslocamento sob o centro da carga (FWD) ou sob o centro das rodas duplas de um eixo simples (VB), sendo a deflexão normalmente expressa em 10^{-2} mm (d_0).

2. Raio de curvatura: círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (VB), normalmente sob a carga e a 25,0 cm do centro da mesma (d_0 e d_{25}).

3. Deformada, bacia de deformação ou bacia deflectométrica: medidas dos deslocamentos elásticos ou recuperáveis em vários pontos a partir do centro do carregamento (d_0 , d_{25} , d_{50} etc.). Como complemento à avaliação estrutural não-destrutiva de pavimentos ainda podem ser usados equipamentos como o geo-radar, munido de radar para estimar as espessuras das camadas ao longo da via (Gonçalves e Ceratti, 1998; ASTM D 4748). A seguir são descritos os equipamentos mencionados.

2.5.1Viga Benkelman

Este é, provavelmente, o teste de campo para avaliação de deflexões de pavimentos sob condições de carregamento, mais familiar aos engenheiros e aos projetistas de pavimentação pelo seu uso muito difundido e longo tempo de uso. O equipamento é versátil e simples de operar (BORGES, 2001)

A necessidade de agilizar e reduzir os custos das avaliações de pavimentos através de provas de carga levou à substituição do moroso ensaio de placa por um procedimento simples e mais ágil, cujo carregamento é feito com os próprios pneus de um caminhão carregado, ao invés da placa circular (Albernaz, 1997).

A medição da deformada da estrutura do pavimento em provas de pneus de caminhões foi iniciada em 1953, por ocasião da pista experimental da WASHO, no oeste dos EUA, graças ao engenheiro norte-americano A C. Benkelman, do Bureau of Public Roads (Carneiro, 1966).

A VB é composta por uma parte fixa apoiada no pavimento por meio de três pés reguláveis e uma viga móvel acoplada a aquela por meio de uma articulação, ficando uma das extremidades (ponta de prova) em contato com o pavimento, e a outra extremidade acionando um extensômetro com precisão de centésimos de milímetro. O ponto de articulação divide a haste em duas partes proporcionais. No ensaio, uma das pontas da haste (ponta de prova) é colocada a meia-distância das rodas do semieixo traseiro simples de rodas duplas no local onde se deseja medir a deflexão. O caminhão padronizado para este tipo de levantamento tem suas rodas duplas traseiras com pneus calibrados à pressão de 0,55MPa (5,6 kgf/cm² ou 80lb/pol²) e carga de 80 KN (8,2tf) (Borges, 2001).

Assim que o caminhão estiver posicionado e a viga ajustada, liga-se o vibrador e faz-se a leitura inicial (L_o) no extensômetro (em 1/100mm). A viga é equipada com um vibrador que tem função de eliminar a inércia inicial das partes móveis e evitar eventuais inibições do ponteiro do extensômetro. A viga foi projetada considerando-se que a área deformada do pavimento, ou seja, a área de influência da carga, no instante da leitura inicial não atinja nem os pés dianteiros nem a ponta de prova. Em seguida, desloca-se o caminhão para frente até que seu peso não exerça mais influência sobre a viga, e faz-se a leitura final (L_f). Por semelhança de triângulos, calcula-se o valor do

deslocamento da ponta de prova da viga, considerado como igual à deflexão do pavimento no mesmo ponto, multiplicando-se a diferença entre as leituras pela relação da articulação da viga (relação a/b). Sendo "a", o comprimento da ponta de prova à articulação e "b", o comprimento da articulação ao ponto de acionamento do extensômetro, sendo que essa geralmente é 2/1, 3/1 ou 4/1 (Borges, 2001).

Com as leituras a diferentes distâncias do ponto de aplicação da carga é possível determinar a linha de influência longitudinal da bacia de deformação e o cálculo do raio de curvatura. No Brasil, a padronização do método de ensaio para determinação dessa linha longitudinal da bacia de deformação por meio da VB faz parte da norma DNER - ME 61/94 e da NBR 8547. (Borges, 2001).

Os métodos do DNER e ABNT determinam que as leituras sejam feitas com o caminhão parado sobre o ponto onde devem ser realizadas as leituras (*Creep Speed Rebound Deflection*), enquanto que o *AASHTO Guide* (1993) cita que pode ser utilizado o modo de leitura em que o veículo passa com velocidade baixa sobre os pontos de análise (*Creep Speed Normal Deflection*). (Borges, 2001).

O equipamento deve ser periodicamente aferido em laboratório. A norma DNER-PRO 175/94 descreve o procedimento para aferição da VB. A cobertura de isopor é recomendada para evitar deformações diferenciais de origem térmica das peças da mesma. A leitura de deflexão elástica que se segue a um determinado deslocamento do caminhão não deve ser realizada imediatamente a fim que se manifestem as deformações dependentes do tempo. (Borges, 2001).

2.5.2 FWD

Os refletômetros de impacto tipo FWD, tem tido grande aceitação nas avaliações estruturais de pavimentos asfálticos e de concreto de cimento Portland, em

pistas de aeroportos e rodovias. Devido à sua versatilidade, rapidez, alta precisão e grande produtividade, vêm sendo cada vez mais utilizado. (Borges, 2001).

Dentre os vários modelos de equipamentos tipo FWD citam-se:

- *Dynatest Falling Weight Deflectometer*, de origem norte-americana da empresa Dynatest;
- *Dynatest HWD*;
- *KUAB Falling Weight Deflectometer*, de origem sueca;
- *Phoenix Falling Weight Deflectometer*; e,
- *Nagaoka KUAB Falling Weight Deflectometer*, de origem japonesa.

No Brasil, o FWD foi introduzido em 1989, sendo de fabricação Dynatest, versão norte-americana e dois tipos KUAB, versão sueca. (Borges, 2001).

Todos os equipamentos do tipo FWD comercialmente disponíveis tem o mesmo princípio de funcionamento, mas com três diferenças importantes (Tholen et al, 1985):

- Forma de geração do impulso (queda de um ou dois pesos);
- Forma de distribuição da carga na superfície do pavimento; e
- Tipo de transdutor ou sensor utilizado para medir as deflexões (geofones, LVDTs, acelerômetros, sismômetros)(Borges, 2001).

O FWD é um refletômetro de impacto projetado para simular o efeito da passagem de uma carga de roda em movimento no pavimento. A medida de deflexão é obtida pela queda de um conjunto de massas, a partir de alturas pré-fixadas, sobre um sistema de amortecedores de borracha. Este sistema foi especialmente projetado para tornar o pulso de carga recebido pelo pavimento, o mais próximo possível de uma senóide. Igualando-se a energia potencial da massa, antes de sua queda, com o trabalho

desenvolvido pelos amortecedores de borracha, depois da queda, pode-se conhecer a força de pico exercida sobre o pavimento, de acordo com a equação (Cardoso, 1999):

$$F = 2Mghk \quad (2.1)$$

Onde:

- F = força de pico;
- M = massa do peso que cai;
- g = aceleração da gravidade;
- h = altura de queda; e
- k = constante de mola do sistema de amortecedores.

A força de pico é a carga teórica, ou nominal, aplicada ao pavimento por meio da placa de carga e calculada através da energia potencial. O valor da carga real aplicada ao pavimento é registrado automaticamente pela célula de carga, e é função não somente da massa e da altura de queda, mas também da rigidez e temperatura do pavimento. Quanto mais rígido o pavimento, maior a carga real, para uma dada massa e altura de queda. O pico das deflexões apresenta uma defasagem em relação à carga, sendo maior quanto mais afastado estiver o medidor de deslocamento (Borges, 2001).

O sistema de amortecedores transmite a carga aplicada a uma placa circular de 30,0 cm ou 45,0 cm de diâmetro apoiada no pavimento. O valor da solicitação, ou seja, da carga real aplicada é registrado com precisão pela célula de carga (load cell) instalada na placa de carga (Borges, 2001).

A duração da carga aplicada é da ordem de 30,0 ms no Dynatest e de 34 a 50,0 ms no KUAB, o que correspondente a uma roda com velocidade entre 60 e 80 Km/h. A média de produção desse tipo de equipamento é de 500 a 700 pontos ensaiados por dia, aplicando uma carga de 4,1 tf com tempo de aplicação da carga de 0,02 s. (Medina, 1997).

As deflexões são obtidas por até sete transdutores de velocidade, sendo um sob o centro da placa e os outros, em posições variáveis, adaptados a uma barra levadiça de até 4,5 m de comprimento. Esses transdutores de velocidade são os geofones no caso do equipamento da Dynatest e LVDT ou sismômetros (*Linear Variable Differential Transformer*) no caso do modelo KUAB. O Manual SHRP-LTPP (*Strategic Highway Research Program's and Long-Term Pavement Performance*) recomenda as distâncias: 0, 30, 45, 60, 90, 120 e 150,0 cm entre os sensores tanto para pavimentos flexíveis como para pavimentos rígidos. Segundo Rocha Filho e Rodrigues (1996), a escolha mais acertada para o posicionamento dos sensores deve ser função da rigidez e das espessuras das camadas do pavimento que será avaliado, visto que pode influenciar os resultados obtidos na retroanálise para os módulos de elasticidade dos materiais. Em pavimentos flexíveis espessos, o último sensor deve ficar mais afastado do ponto de aplicação da carga a fim de possibilitar o registro das deflexões provocadas pelo subleito (Borges, 2001).

Em pavimentos mais delgados, o último sensor pode ficar mais próximo do ponto de aplicação da carga (Borges, 2001).

O FWD permite que se aplique diferentes níveis de carregamento em uma mesma estação de ensaio, através da combinação entre os seguintes componentes: altura de queda, massa do peso que cai e sistema de amortecedores selecionado (Borges, 2001).

2.6 MODULO DE RESILIENCIA

O termo resiliência significa energia armazenada em um corpo deformado elasticamente, que é desenvolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações; ou seja, é a energia potencial de deformação. (Medina, 1997).

2.6.1. Ensaio de Cargas Repetidas

A força aplicada atua sempre no mesmo sentido de compressão, de um valor zero até um máximo, voltando a anular-se ou atingir um valor mínimo definido para voltar a atuar após pequeno intervalo de repouso (fração de segundo), de maneira a reproduzir as condições de campo (Medina, 1997).

A amplitude e o tempo de pulso dependem da velocidade do veículo e da profundidade em que são calculadas as tensões e deformações produzidas. A frequência representa o volume ou fluxo de veículos (Medina, 1997).

O estado de tensões em um elemento do subleito ou de camada do pavimento varia com a posição da carga móvel P . A aplicação de uma carga vertical leva ao surgimento de uma tensão vertical (σ_v) e uma tensão horizontal (σ_h), conforme ilustração da Figura 2.

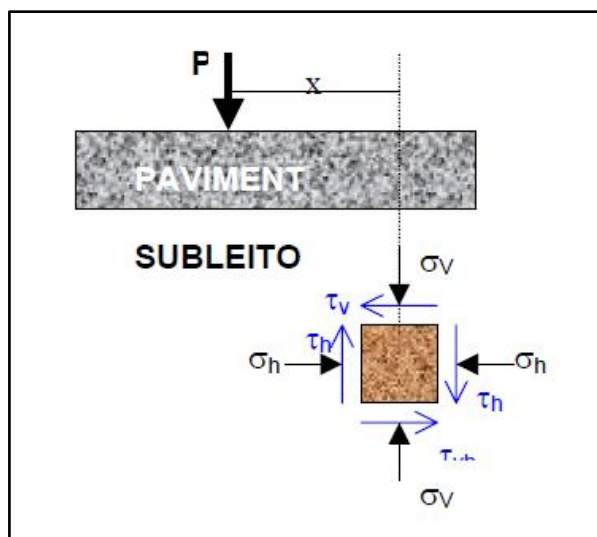


Figura 2 – Tensões normais e tangenciais (Medina, 1997)

Os ensaios drenados são comumente usados por simularem melhor as condições de campo. No entanto é difícil medir a pressão negativa da água nos poros (sucção) para que se possam obter as pressões efetivas, pois os materiais costumam ficar

parcialmente saturados, assim sendo os resultados são expressos em termos de pressões totais (Medina, 1997).

O módulo resiliente (MR) no ensaio triaxial de cargas repetidas é definido com a tensão desvio $\sigma_d = (\sigma_1 - \sigma_3)$ dividido pela deformação resiliente axial (vertical) ε_1 ou ε_r .

$$MR = \sigma_d / \varepsilon_1 \quad (2.2)$$

$$\text{com } \varepsilon_1 = \Delta h / h_0$$

Onde:

Δh é o deslocamento vertical máximo e h_0 é o comprimento inicial de referência do corpo de prova cilíndrico.

Verifica-se na ilustração da Figura 3 que a cada aplicação de tensão desvio, a deformação axial tem uma parcela pequena de natureza plástica ou permanente (ε_p), sendo: $\varepsilon_t = \varepsilon_r + \varepsilon_p$

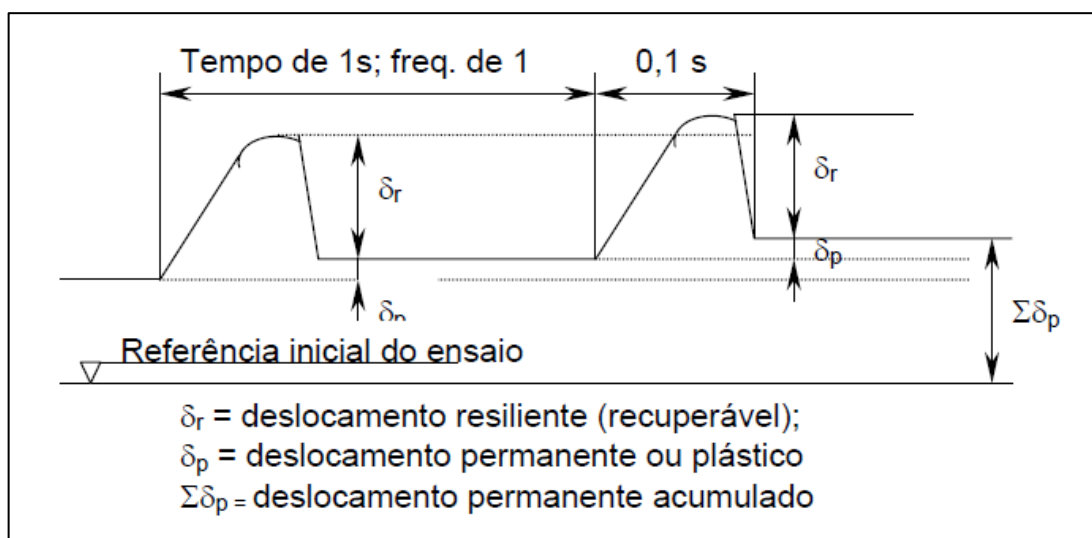


Figura 3 – Registro oscilográfico do ensaio de cargas repetidas (Medina, 1997)

Na determinação do MR somente a parcela ε_r (recuperável) é considerada.

No Brasil os valores desses módulos têm sido determinados com repetição do carregamento de aproximadamente 200 vezes com frequência de 20 a 60 solicitações

por minuto, duração de 0,10 a 0,15 segundos e frequência entre 1 e 3 Hz (Pinto & Preussler, 2001; Medina, 1997).

Os resultados são apresentados na forma gráfica, sendo que na ordenada, em escala logarítmica estão os valores dos MR e no eixo das abcissas, também em escala logarítmica, os valores das tensões confinantes. Através da análise de regressão obtêm-se equações do tipo: $MR = k_1 - \sigma_3 k_2$ para solos arenosos, pedregulhosos ou $MR = k_2 + k_3 (k_1 - \sigma_d)$ $k_1 > \sigma_d$, $MR = k_2 + k_4 (\sigma_d - k_1)$ $k_1 < \sigma_d$ para solos argilosos ou siltosos sendo que k_1 , k_2 , k_3 e k_4 são parâmetros do solo ensaiado.

2.6.2 MR para Materiais Granulares

No que tange a materiais tipicamente granulares, como já se mencionou, o comportamento resiliente é basicamente dependente da tensão de confinamento ao qual o material ficará sujeito, pelo campo de tensões gerado pelas cargas dos veículos e até mesmo por disposições construtivas. No Brasil, para agregados de natureza granítica (brita graduada simples) compactados na energia intermediária, dentre outros exemplos a seguinte relação foi obtida $M_r = 6.900 \times \sigma_3^{0,7}$ (kgf/cm²) (ITA, 1985)

2.6.3 Coeficiente de Poisson

No âmbito da teoria da Elasticidade Linear, deformabilidade dos solos é definida pelos parâmetros básicos: o módulo de elasticidade (E) e o coeficiente de Poisson (ν). As deformações causadas no solo dependem de sua composição, índice de vazios, histórico de tensões e maneira de aplicação da tensão (LAMBE e WHITMAN, 1969). É sabido que o solo não tem comportamento elástico linear. Isso significa que os valores de E e ν não são constantes e que parte das deformações é irreversível (plástica). Entretanto, as análises não lineares-elastoplásticas são complexas. Pode-se simplificar o problema aproximando-se para trechos lineares na faixa de tensões em estudo desde

que as deformações sejam pequenas e que o carregamento seja monotônico. (TELES , 2013)

O módulo de elasticidade (E), também conhecido como módulo de Young, estabelece a relação entre a tensão normal e a deformação proveniente dessa tensão em sua direção. (TELES , 2013)

O coeficiente de Poisson (ν) mede a deformação transversal para a aplicação de uma carga longitudinal através da relação entre deformações ortogonais. (TELES , 2013)

O sinal negativo está incluído na fórmula porque as deformações transversais e longitudinais possuem sinais opostos. (TELES , 2013)

Para as deformações iniciais, onde é aproximadamente válida a teoria da elasticidade, o coeficiente de Poisson varia com a deformação. Na areia, o coeficiente de Poisson fica constante somente para grandes deformações (que implicam a ruptura do solo), sendo um valor maior que 0,5; o que ocorre quando há expansão do material. O coeficiente de Poisson será menor que 0,5 somente durante os primeiros estágios de tensão, onde há a redução de volume do material. (TELES , 2013)

Devido a esse comportamento, a determinação exata do coeficiente de Poisson é muito difícil. Porém, como o valor de ν tem pouca influência nas previsões de engenharia, o desconhecimento do valor acurado desse parâmetro não chega a representar um grande problema. (TELES , 2013)

Os valores dos coeficientes de Poisson, utilizados segundo IP-DE-P00/001 do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER/SP) são mostrados na Tabela 1:

Material	Intervalo de Valores de Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson
Concreto de cimento Portland	0,10 – 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 – 0,30	0,2
Misturas asfálticas	0,15 – 0,45	0,3
Materiais granulares	0,30 – 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 – 0,50	0,4

Tabela 1 – Modulos de Resiencias - IP-DE-P00/001 – DER SP – 2006

2.7 PROGRAMA COMPUTACIONAL ELSYM5 – *ELASTIC LAYERED SYSTEM*

O programa computacional ELSYM5 foi desenvolvido na Universidade da Califórnia, em Berkeley, Califórnia, EUA no ano de 1970 para computadores de grande porte, sendo adaptado para computadores pessoais no ano de 1985. (DAROUS, 2003).

O programa foi desenvolvido segundo a formulação matemática da teoria da elasticidade desenvolvida por Burmister de meios semi-infinito estratificados. Utiliza modelagem elástico-linear (Módulo de Resiliência constante) e o cálculo é realizado pelo método das diferenças finitas. Possibilita o cálculo de pavimentos flexíveis e semirrígidos de até cinco camadas superpostas. (ROCHA, 2010)

O programa permite o cálculo das tensões, deslocamentos e deformações para um sistema tridimensional de camadas elásticas. (DAROUS, 2003). Conforme Balbo (2007), o programa é adimensional, bastando que os parâmetros sejam informados em unidades coerentes. (ROCHA, 2010)

Horizontalmente as camadas são consideradas infinitas, possuindo espessuras uniformes e finitas, com exceção da última camada, o subleito, que possui

espessura considerada semi-infinito. Devem ser informadas as espessuras das camadas acima do subleito assim como seus módulos de resiliência e coeficientes de Poisson. (BALBO, 2007).

As cargas de roda podem ser de um número máximo de dez (idênticas) podendo-se indicar a carga por roda (Kgf), a pressão da área de contato (kgf/cm^2), o raio da carga circular (cm), o número de cargas e suas posições. (BALBO, 2007).

Segundo Medina (1997, pág. 135), o número de pontos de análise do ELSYM5 pode ir até 100 (cem), 10 pares em 10 profundidades. Aumentando-se o número de pontos as soluções se aproximam da solução exata das equações algébricas. As coordenadas usadas no programa são as retangulares cartesianas XYZ, sendo a parte superior do sistema o plano XY com $Z=0$, lugar onde são aplicadas as cargas. O eixo Z se estende verticalmente da superfície do sistema para baixo. As camadas são numeradas a partir do revestimento. (DAROUS, 2003).

Para o emprego do programa, manuseia-se o “User’s Manual for IBM-PC and Compatible Microcomputer” que segue em anexo nesta monografia. No programa são apresentados menus com dados de entrada e dados de saída, sendo eles de acordo com Darous (2003):

Dados de entrada (“Data required”):

- a) “Layer Property Data” – Dados das camadas e seus materiais constituintes: quantidade, espessuras, coeficientes de Poisson e módulo de elasticidade;
- b) “Load Data” – Dados das cargas: quantidade de cargas, valor, coordenadas (x,y) e a pressão dos pneus;
- c) “Cordinate Data” – Dados dos pontos de análise: coordenadas (x,y) e profundidade z.

O processamento resulta, para cada camada ou coordenada vertical z escolhida, em determinação de tensões, deformações específicas e deslocamentos verticais. Os dados de saída: para cada ponto de análise, se constituem nos seguintes elementos:

- a) Tensões normais;
- b) Tensões cisalhantes;
- c) Tensões principais atuantes;
- d) Deslocamentos normais;
- e) Deformações normais;
- f) Deformações cisalhantes;
- g) Deformações principais.

3 METODO DE PESQUISA

A Empresa Metropolitana de Transporte Urbanos da cidade de São Paulo (EMTU/SP) em abril de 2011, iniciou as obras para construção do corredor de ônibus Itapevi – Jandira, parte integrante do Corredor Metropolitano Itapevi – São Paulo. O consórcio Corredor 4/ Itapevi foi o vencedor do processo licitatório. Porém devido ao não cumprimento dos prazos estabelecidos para execução do objeto contratado, a EMTU/SP reincidiu contrato com a mesma. Abriu-se então nova concorrência pública, tendo como vencedora e contratada a Empresa EMPARSANCO S/A. Em função do descumprimento do contrato esta foi multada e teve o seu contrato rescindido pelo Órgão. Foi, então, convocada a segunda colocada da licitação pública, a Construtora Construções, Engenharia e Pavimentação ENPAVI Ltda., assumindo o referido contrato desde então.

O projeto previa a construção de cinco quilômetros de faixa exclusiva de ônibus, dezoito paradas, um viaduto com 3.600,00 m² de tabuleiro e a remoção e construção de duas passarelas de pedestre. O mapa da Figura 4 mostra a situação do Corredor.

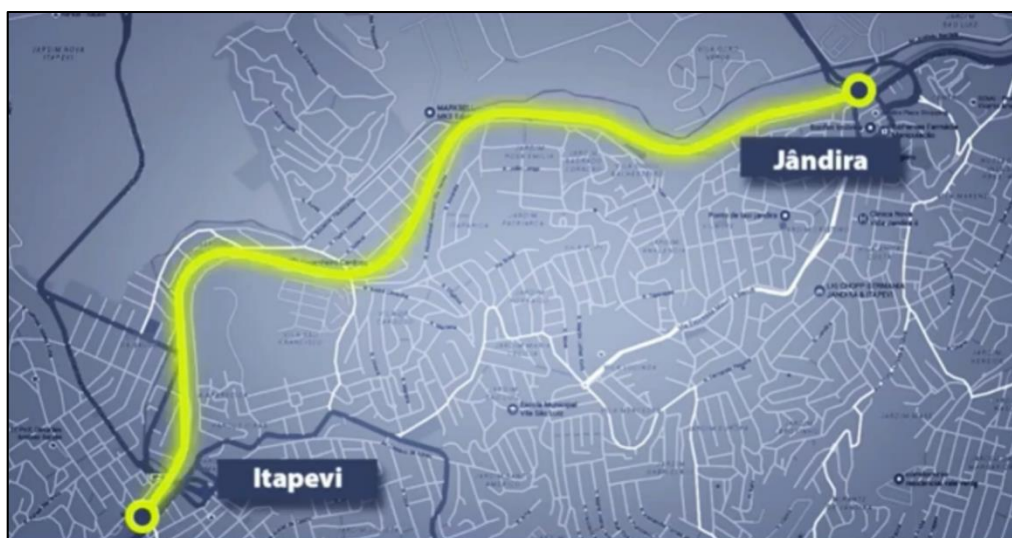


Figura 4 - Corredor Metropolitano Itapevi – São Paulo – Trecho Itapevi - Jandira

A área escolhida para a implantação do empreendimento está paralela a linha da Companhia Metropolitana de Trens Urbanos (CMTU) que sofre com a ocupação desordenada por parte da população dos municípios de Itapevi e Jandira. Além disso, a existência de solos contaminados, aterros irregulares e despejo de lixos orgânicos têm criado enormes dificuldades para a execução da obra conforme pode ser vistos nas fotos tiradas do local e que compõem a Figura 5.



Figura 5 – Solos contaminados com entulhos e materias orgânicos.

Devido ao histórico apresentado acima o terreno para implantação do empreendimento ficou comprometido. O ISC/CBR estudado na fase de projeto, agora, seria complicado para ser atingido.

Diante dos problemas encontrados e questões financeiras, a Contratada deparou-se com duas opções para a estabilização do subleito: fazer a troca do solo por um de jazida com melhor qualidade ou por uma camada de material granular. Questões

climáticas como chuva, dificuldades de se encontrar um solo de melhor qualidade dentro da região metropolitana da cidade de São Paulo e do tempo gasto para a substituição, inviabilizavam a escolha deste procedimento. Em sendo assim, a melhor opção então seria pela utilização de uma camada material granular do tipo rachão oriundo de britagem primária que pode ser considerado como material nobre na execução de obras de pavimentação, por conseguinte não devendo ser utilizado indiscriminadamente. Deve-se, então, determinar parâmetros corretos para sua utilização.

3.1 DADOS DO PROJETO A SER IMPLANTADO

Foi utilizado como base para estudos, o projeto de pavimentação a ser implantado no Corredor Metropolitano desenvolvido pela Empresa ENPAVI e encaminhada ao EMTU/SP para aprovação.

Foram realizadas vistorias de campo no sentido de se obter dados para desenvolvimento de um novo projeto de pavimentação, tais como: verificação da existência ou não de revestimento primário (presença de materiais pétreos, escória ou entulho de qualidade), nas vias, condições topográficas e aspectos ligados à drenagem superficial e profunda.

A amostragem para fins geológicos e geotécnicos foi realizada através de furos de sondagem com espaçamento máximo entre dois furos consecutivos, no sentido longitudinal, de 100,0 m sendo que a partir daí, foram realizados os ensaios em laboratório, considerando o tipo de material do subleito, sua granulometria e a presença ou não do revestimento primário. Foram executados quarenta e nove furos de sondagem, com espaçamento entre eles de 100,0 m, locados alternadamente no eixo de cada pista.

Através dos ensaios realizados foram obtidos os valores de ISC/CBR, conforme indicados no relatório geotécnico.

O estudo tem como base o valor do ISC/CBR de projeto, calculado em 7%, e com a ajuda do programa computacional ELSYM-5 foram determinados os parâmetros da deflexão recuperável do subleito da obra.

3.1.1 Dados da Análise

Com os parâmetros definidos partiu-se então para as devidas análises, onde foram simulados os valores do ISC/CBR, que variaram de 0,5% a 10%. Para a identificação estrutural da camada de material granular, frente a diversas simulações de espessura, foi utilizado o referido programa computacional.

O programa ELSYM-5 na sua versão 1.0, permite determinar os deslocamentos (deflexões), tensões e deformações, em qualquer ponto da estrutura, sob a ação de várias cargas. A colagem da Figura 6 mostra a tela inicial do programa.

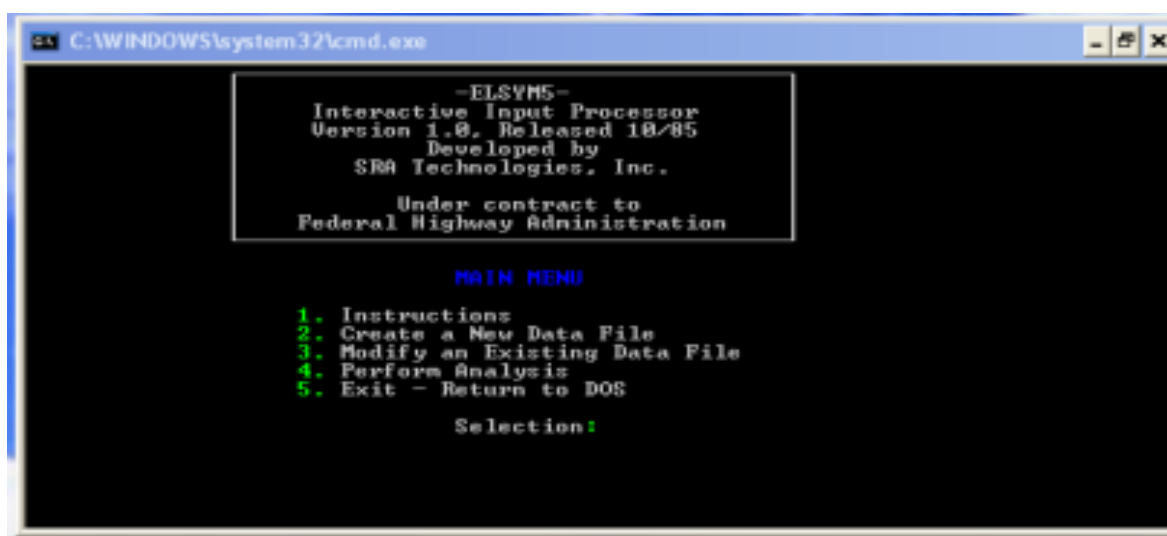


Figura 6 – Tela inicial do programa ELSYM-5

Para análise das deflexões recuperáveis e espessuras necessárias para a estabilização do subleito com material granular do tipo rachão com diâmetro máximo

de 4 polegadas adotou-se os seguintes valores de dados de entrada conforme é mostrado na Tabela 2.

Subleito			
Coeficiente de Poisson	Módulo de Resiliência Kgf/cm ²	Carga (8,200 / 4) Kgf	Pressão de Contato Kgf/cm ²
0,45	CBR x 100	2.050	5,63
Material Granular			
Coeficiente de Poisson	Módulo de Resiliência Kgf/cm ²	Carga (8,200 / 4) Kgf	Pressão de Contato Kgf/cm ²
0,35	2.500	2.050	5,63

Tabela 2 – Valores de dados de entrada do programa computacional

Fonte: Fundamentação Teórica.

3.1.2 Análise do Subleito

A colagem da Figura 7 mostra novamente a tela inicial de abertura do programa e com o toque na tecla 2 se cria um arquivo de dados onde vão ser inseridos dados apontados nos cálculos das deflexões na camada de subleito conforme colagem da Figura 8 que mostra a tela 1 .

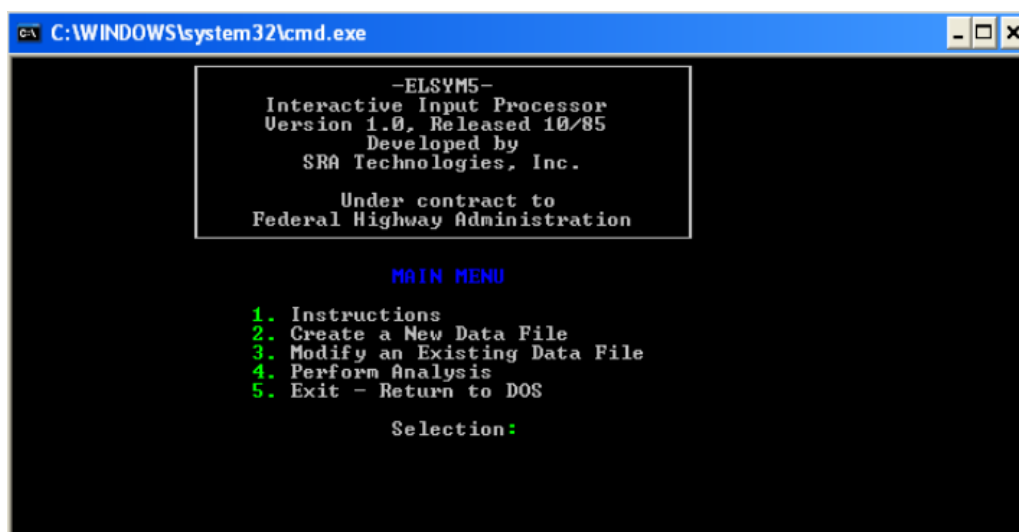


Figura 7 – Tela inicial

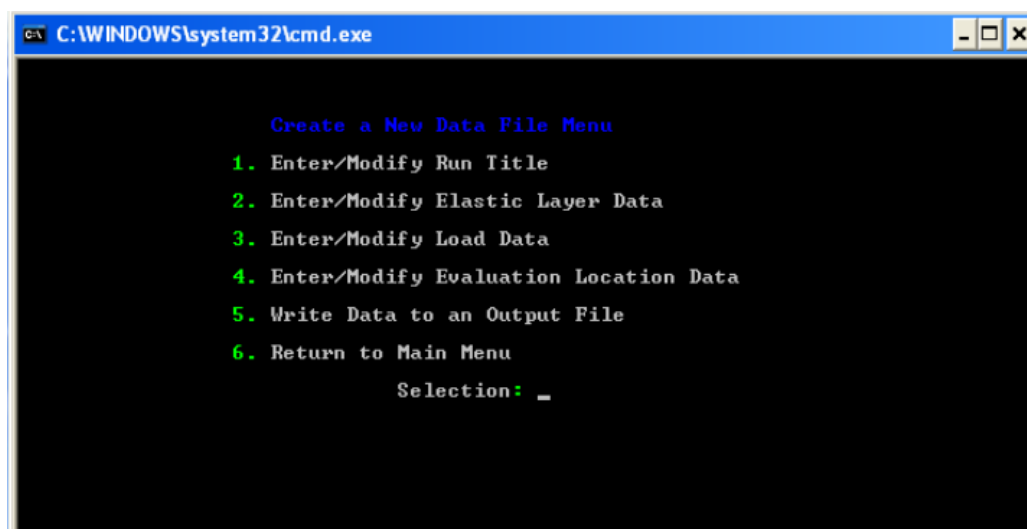


Figura 8 – Tela 1

Primeiramente se insere o coeficiente de Poisson para o solo, pois está sendo estuda a camada de subleito, com o valor de 0,45 e ISC/CBR de 0,5% conforme colagem da Figura 9, tela 2 do programa.



Figura 9 – Tela 2

Nessa tela são necessários a inserção dos dados como:

- N° de camadas: 1 - camada do subleito;
- Espessura da Camada = .00 espessura semi-infinito;
- Coeficiente de Poisson = 0,45; e
- MR = 50,00 Kg/cm².

A colagem da Figura 10 mostra a tela 3 com os seguintes valores:

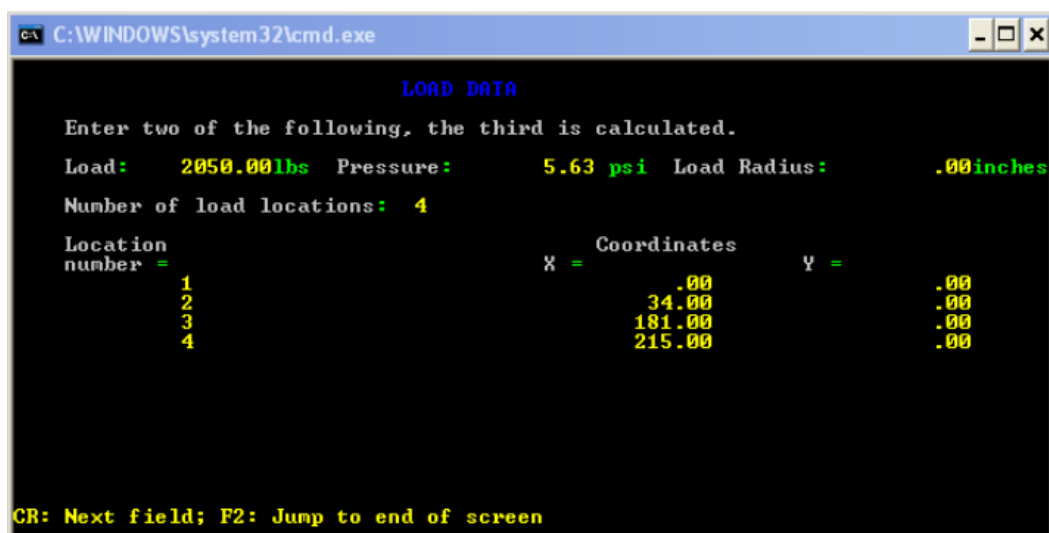


Figura 10 – Tela 3

- carga aplicada = 2050,0 kg (carga de apenas uma roda do eixo padrão de 8200,0 kg).
- coordenadas de distribuição das cargas conforme ilustração da Figura 11.

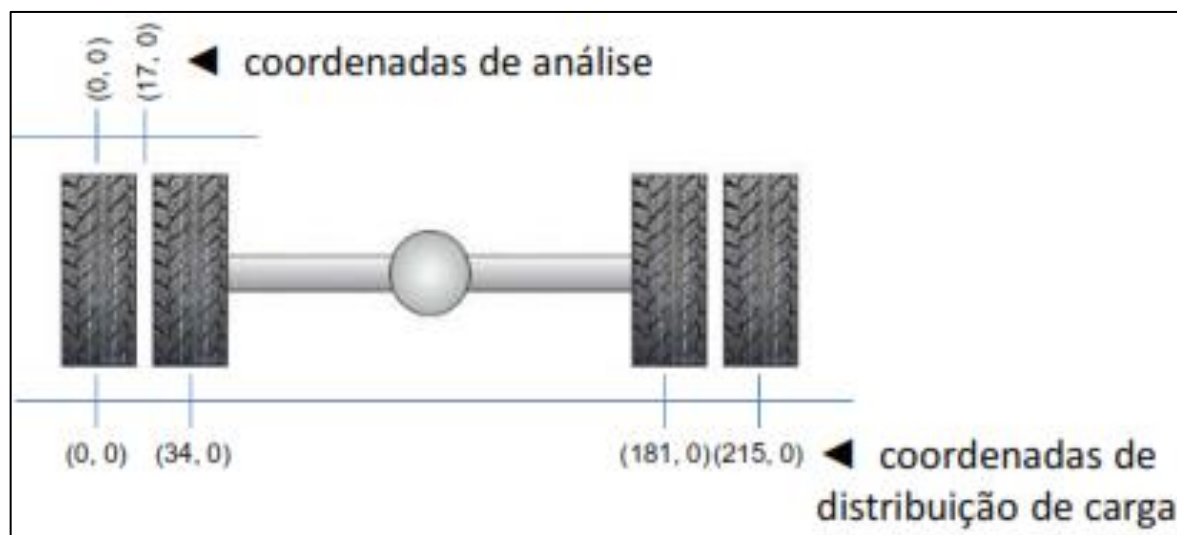


Figura 11 – Coordenadas de análise (VILLELA, 2012)

- pressão do pneu sobre o pavimento = 5,63 Kgf/cm² conforme ilustração da Figura 12.

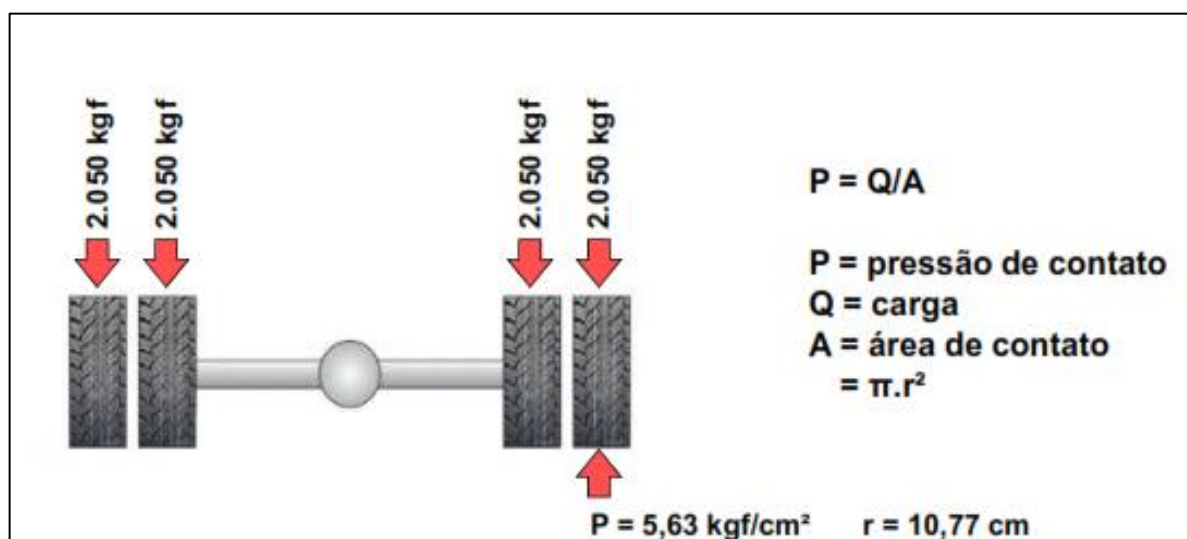


Figura 12 – Distribuição de cargas/pressão/raio

Com os dados de entrada, finaliza-se a janela com a tecla N, retornando assim para o menu inicial sendo que a partir com a pressão na tecla 4 faz-se as devidas análises das posições da carga, inicialmente entre as rodas do semi-eixo de 4.200 kg, ou seja, a 17,0 cm, conforme Figura 12 que mostra a tela 4 do programa.

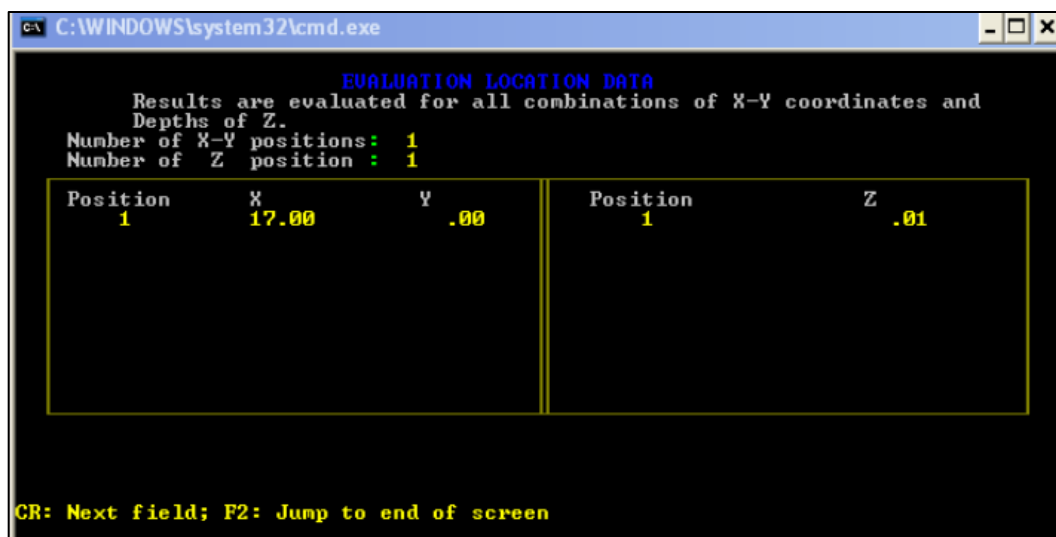


Figura 13 – Tela 4

- Posição de análise dos esforços em $Z = 0.01$, análise feita no topo do subleito conforme mostra ilustração da Figura 13.

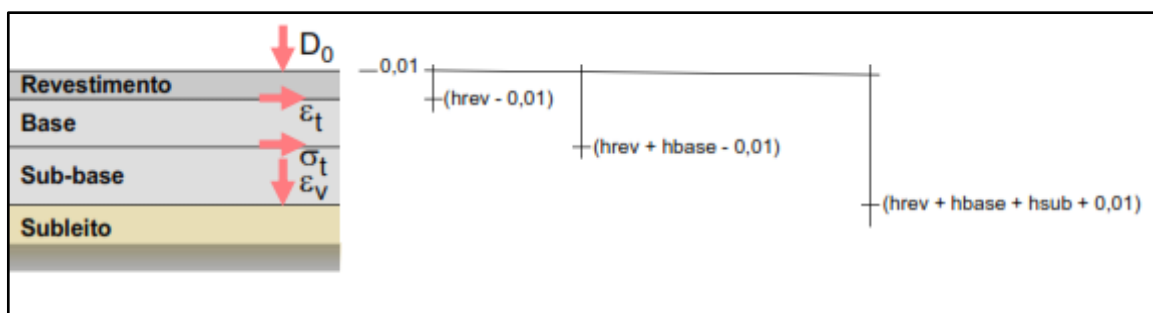


Figura 14 – Posição de análise dos esforços

Após definições das coordenadas para a análise dos esforços, retorna – se para a tela do menu inicial conforme colagem mostrada na Figura 14.



Figura 15 – Tela inicial

Pressionando a tecla 4, *Perform Analysis*, onde é necessário nomear o arquivo, conforme mostra a colagem da tela 5 da Figura 15.

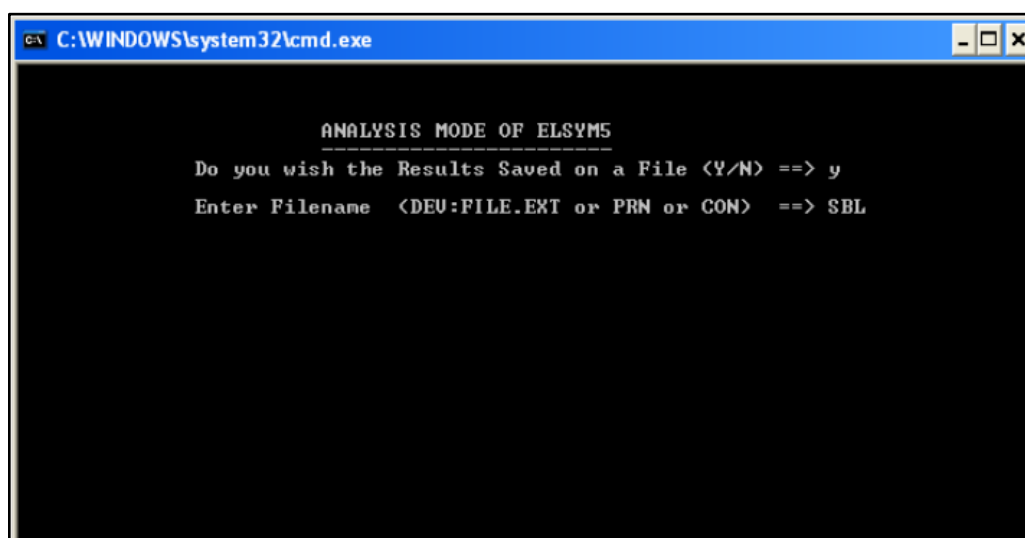


Figura 16 – Tela 5

Após nomear o arquivo, pressione a tecla 3, *displacements*, ou seja, o deslocamento que nada mais é que a deflexão recuperável, no caso, do subleito, conforme mostra a colagem da tela 6 mostrada na Figura 16.

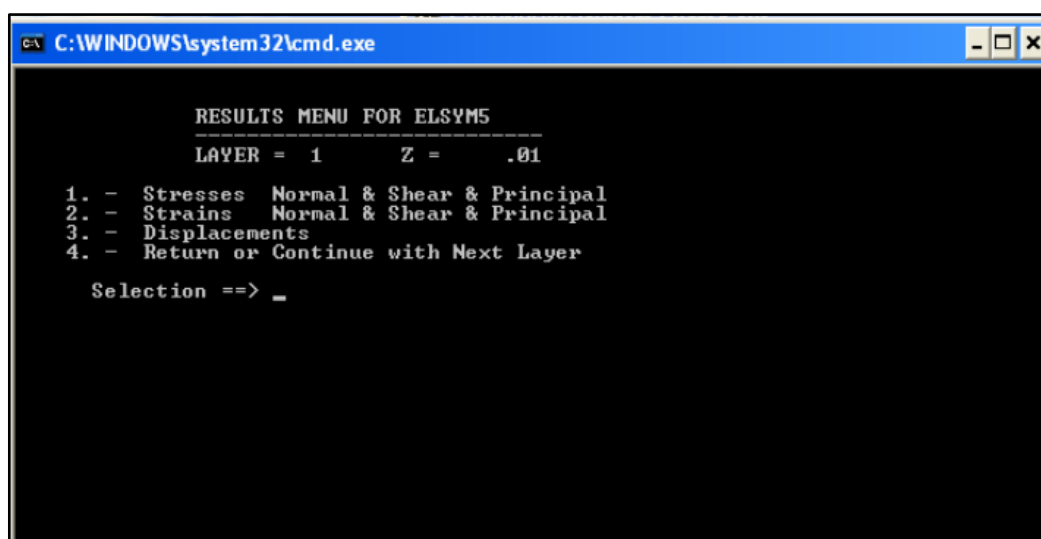


Figura 17 – Tela 6

Finalmente é gerado o resultado da deflexão recuperável do subleito (UZ), igual a 0.141 E+01, ou seja, 1410×10^{-2} mm conforme mostra a colagem da tela 7 mostrada na Figura 17.

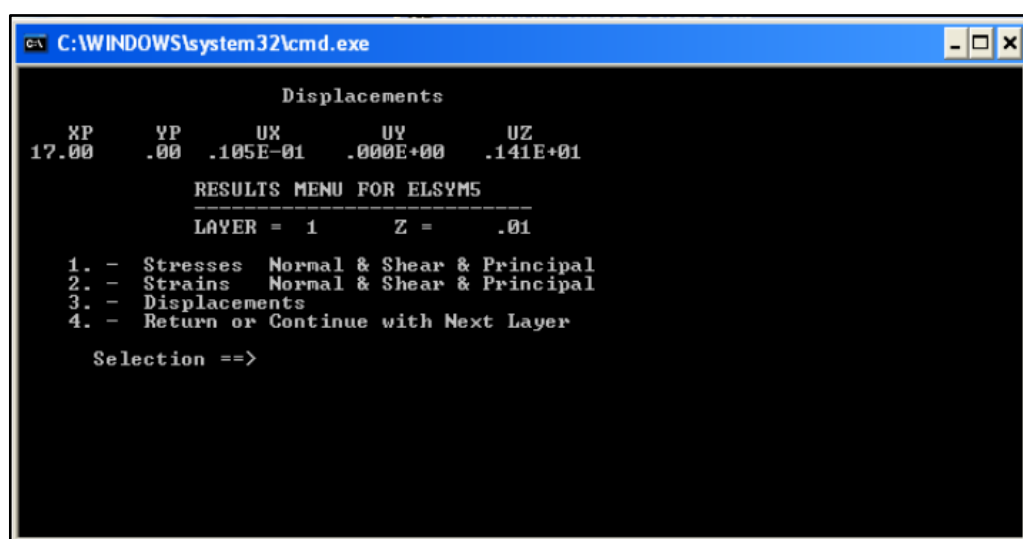


Figura 18 – Tela 7

3.1.3 Análise da Camada Granular

A colagem da tela 7, conforme Figura 18, mostre agora a inserção da camada granular acima do subleito (camada 2), ou seja, o programa vai analisar o pavimento agora com duas camadas.

Na presente tela vão ser inseridos os valores da espessura, do coeficiente de Poisson e do módulo de resiliência, respectivamente 247,0 cm, 0.35 e 2500 kg/cm², assentada sobre a camada do subleito (camada 1) cujos valores já foram mostrados anteriormente

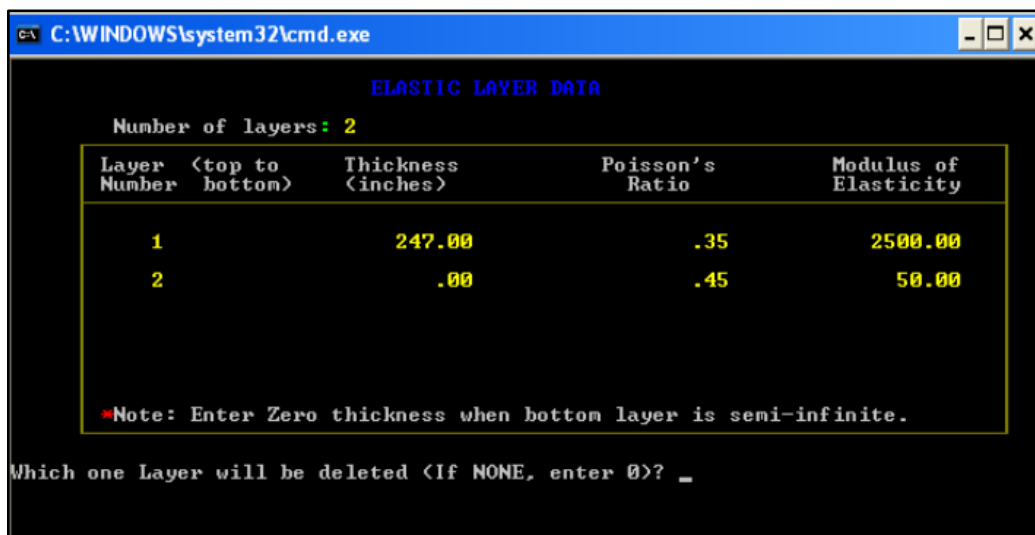


Figura 19 – Tela 8

Repetindo-se o procedimento mostrado anteriormente o programa calcula o valor da deflexão recuperável sobre a camada granular conforme é mostrado na colagem da Figura 20. O resultado indica um valor de 0.101E+00, ou seja, 101 x 10⁻² mm, portanto uma drástica redução quando se colocou uma espessura de 247,0 cm assentada sobre o subleito com valor de ISC/CBR tão baixo.

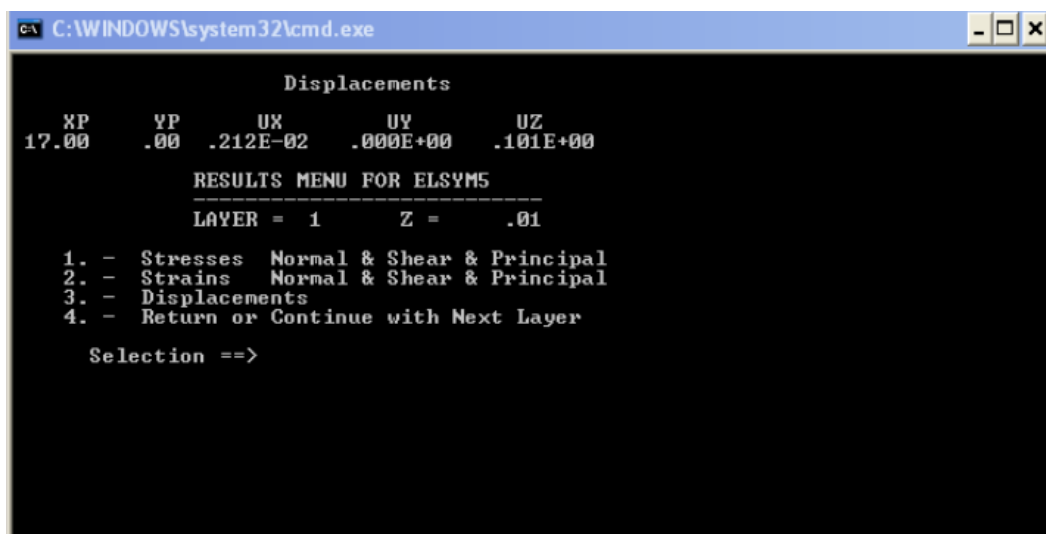


Figura 20 – Deflexão da camada granular

Nota-se que com uma camada de 247,0 cm de material granular, foi possível atingir a deflexão solicitada em projeto que é de 101×10^{-2} mm considerando o ISC/CBR do subleito igual a 7% conforme é mostrado na Tabela Y que mostra também os valores encontrados das deflexões para cada valor de ISC/CBR considerado na pesquisa, ou seja, de 0,5% a 10,0%.

Tabela 3 – Valores encontrados das deflexões

	CBR (%) Encontrado em campo	Deflexão do subleito encontrada em campo <i>$D0 \times 10^{-2}$mm</i>
	0,50%	1410,00
	1,00%	707,00
	1,50%	471,00
	2,00%	353,00
	2,50%	283,00
	3,00%	236,00
	3,50%	202,00
	4,00%	177,00
	4,50%	157,00
	5,00%	141,00
	5,50%	129,00
	6,00%	118,00
	6,50%	109,00
Parametro de Projeto	7,00%	101,00
	7,50%	94,00
	8,00%	88,00
	8,50%	83,00
	9,00%	78,00
	9,50%	74,00
	10,00%	70,70

Com os resultados acima apurados, foi inserido no programa Elsym-5 diferentes valores, por tentativas, com o objetivo de determinar as espessuras ideais para camada do material granular, conforme é mostrado na Tabela Z.

	CBR (%) Encontrado em campo	Deflexão do subleito encontrada em campo $D_0 \times 10^{-2} \text{mm}$	Camada de material granular encontrada (cm)	Deflexão do Subleito estabilizado com o rachão $D_0 \times 10^{-2} \text{mm}$
	0,50%	1410,00	247,00	101,00
	1,00%	707,00	190,00	100,00
	1,50%	471,00	147,00	101,00
	2,00%	353,00	107,00	101,00
	2,50%	283,00	75,00	101,00
	3,00%	236,00	56,00	101,00
	3,50%	202,00	45,00	101,00
	4,00%	177,00	37,00	101,00
	4,50%	157,00	32,00	100,00
	5,00%	141,00	27,00	100,00
	5,50%	129,00	23,00	100,00
	6,00%	118,00	19,00	101,00
	6,50%	109,00	16,00	100,00
Parametro de Projeto	7,00%	101,00	-----	-----
	7,50%	94,00	-----	-----
	8,00%	88,00	-----	-----
	8,50%	83,00	-----	-----
	9,00%	78,00	-----	-----
	9,50%	74,00	-----	-----
	10,00%	70,70	-----	-----

Tabela 4 – ISC/CBR x camada de material granular

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por ocasião das análises realizadas, no programa computacional constatou-se que é possível, teoricamente, produzir uma ferramenta para auxiliar o executor na tomada de decisão em campo, no que tange a espessura necessária de material granular para estabilização de subleito com baixa capacidade de suporte.

A Tabela 5 mostra os valores das espessuras do rachão até o valor do ISC/CBR do subleito considerado em 7%.

	CBR (%) Encontrado em campo	Deflexão do subleito encontrada em campo $D0 \times 10^{-2} \text{mm}$	Camada de material granular encontrada (cm)	Camada de material granular proposta para estabilização do subleito (cm)	Deflexão do Subleito estabilizado com o rachão $D0 \times 10^{-2} \text{mm}$
	0,50%	1410,00	247,00	250,00	101,00
	1,00%	707,00	190,00	200,00	100,00
	1,50%	471,00	147,00	150,00	101,00
	2,00%	353,00	107,00	110,00	101,00
	2,50%	283,00	75,00	75,00	101,00
	3,00%	236,00	56,00	60,00	101,00
	3,50%	202,00	45,00	45,00	101,00
	4,00%	177,00	37,00	35,00	101,00
	4,50%	157,00	32,00		100,00
	5,00%	141,00	27,00	30,00	100,00
	5,50%	129,00	23,00		100,00
	6,00%	118,00	19,00		101,00
	6,50%	109,00	16,00		100,00
Parametro de Projeto	7,00%	101,00	-----	-----	-----
	7,50%	94,00	-----	-----	-----
	8,00%	88,00	-----	-----	-----
	8,50%	83,00	-----	-----	-----
	9,00%	78,00	-----	-----	-----
	9,50%	74,00	-----	-----	-----
	10,00%	70,70	-----	-----	-----

Tabela 5– Estabilização do subleito com material granular

A Tabela 5 apresenta, na coluna 3, os valores de camada de material granular do tipo rachão necessário para estabilizar o subleito. Podendo ter como parâmetro de entrada os valores de ensaio de ISC/CBR ou a deflexão encontrada no mesmo.

Foi possível, ainda, fazer as seguintes análises:

- Valores de ISC/CBR entre 0,5% e 2,0% apresentam deflexões altas exigindo, assim, camadas de material granulares superiores a 100,0 cm. Foram sugeridos valores na coluna da direita para melhor trabalhabilidade do material;
- Valor do ISC/CBR igual a 3,0% a camada de material granular deveria ser de 56,0 cm, porém para melhor trabalhabilidade do material adotou-se espessura de 60,0 cm;
- Valores de ISC/CBR entre 4,0% e 4,5% deveriam se adotar camadas de material granular com espessura de 35,0 cm, pois espessuras de 37,0cm e 32,0 cm respectivamente dificultam a trabalhabilidade do material;
- Valores de ISC/CBR entre 5,0% e 6,5% deveriam se adotar camadas de material granular com espessura de 30,0 cm, sendo que abaixo disso, fica impossibilitada a compactação do mesmo;
- Valores de ISC/CBR superiores a 7% poderiam ser desprezados, uma vez que já se atingiu a deflexão de projeto.

O gráfico da Figura 21 apresenta a variação do ISC/CBR de 0,5% a 10% e as deflexões recuperáveis encontradas para o subleito. Nota-se que, quanto menor o valor do suporte do subleito, maior a deflexão.

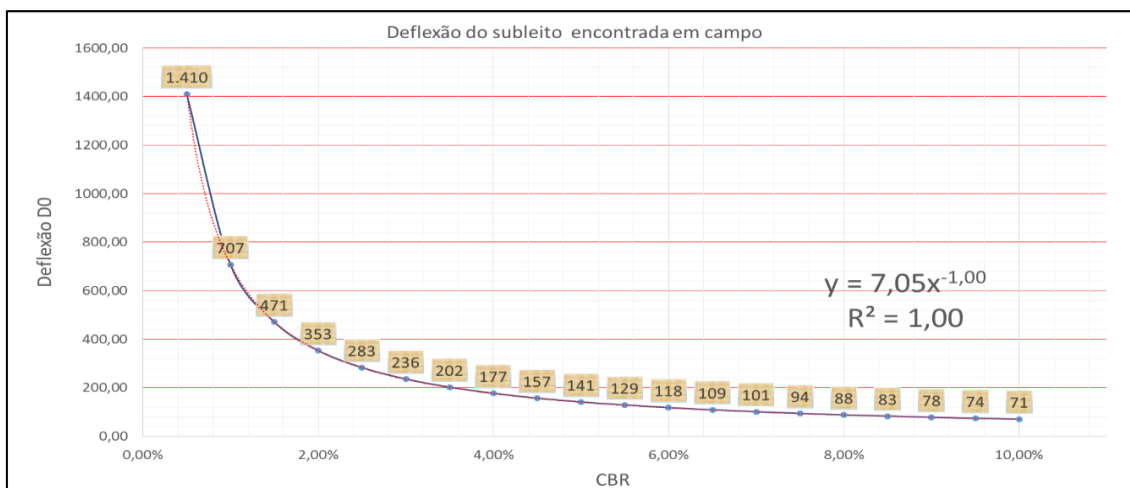


Figura 21 – Gráfico ISC/CBR versus deflexão recuperável

Já o gráfico da Figura 22 mostra que quanto menor a capacidade de suporte do subleito, maior será a camada de material granular.

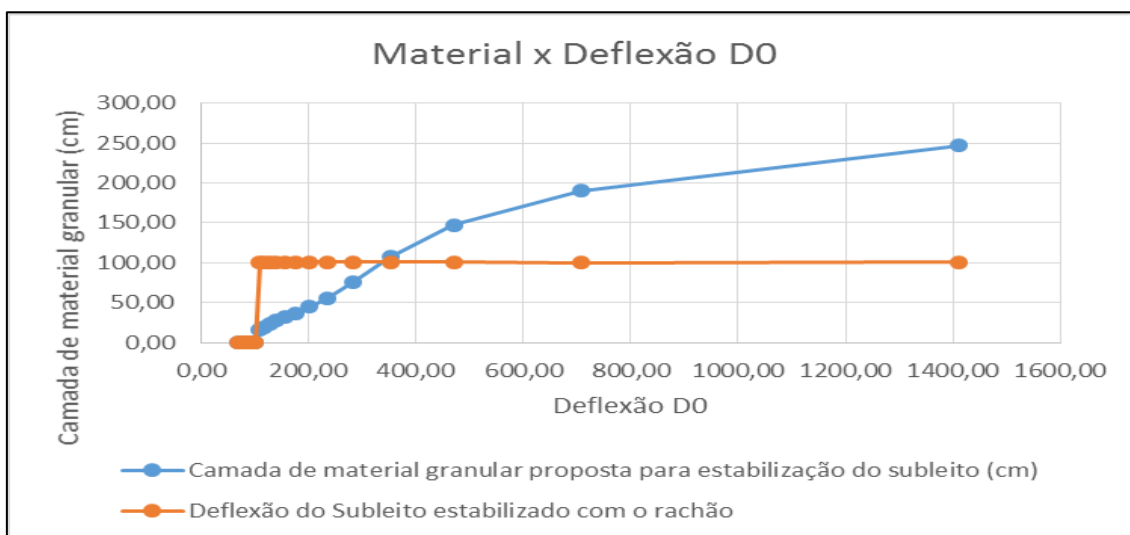


Figura 22 – Gráfico espessura camada granular versus deflexão

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente TCC procurou criar uma ferramenta para tomada de decisão em campo, quando o executor se deparar com subleitos com baixa capacidade de suporte.

O estudo apresentado de estabilização do subleito com material granular do tipo rachão foi possível graças a bibliografia aplicada, normas técnicas vigentes e conhecimentos adquiridos nas aulas do Curso de Especialização em Pavimentação Rodoviária, ministrada por Mestres e Doutores contratados pelo Instituto IDD na cidade de São Paulo, SP.

O programa computacional Elsym-5 mostrou ser de fácil manuseio e possibilitou a análise e criação de tabelas e gráficos, com as deflexões e camadas de material granular a ser aplicada no subleito, mesmo que teórico.

O executor, por sua vez, dispondo de um dos parâmetros (ISC/CBR ou deflexão) vai conseguir saber qual a camada ser aplicada para atender o projeto como foi o caso do presente.

Com relação à deflexão recuperável os ensaios com a VB mostrou-se mais pratica e melhor relação custo benefício em relação ao FWD, pois seu baixo custo na aquisição do equipamento e com a necessidade apenas de um técnico para as leituras e caminhão calibrado é mais barato do que a locação de um instrumento mais sofisticado, no caso o FWD, isso sem contar que para a utilização do último o executor, necessita dispor de uma área grande para leituras.

O ensaio de CBR se mostra menos favorável a tomada de decisão, uma vez que é feito em laboratório e resultados demorem quatro dias para ficarem prontos e pode não corresponder às condições de campo (umidade e compactação).

O valor de módulo de resiliência do rachão pode variar dependendo da condição de confinamento que ele estiver no campo. Teoricamente, quanto maior a espessura do rachão, menos ela estará confinada, portanto menor vai ser esse valor com que o material vai responder no campo. A pesquisa de certa forma ficou prejudicada, uma vez que não foi possível aferir, em campo, os resultados obtidos, A área que seria destinada ao mesmo não foi liberada pela EMTU/SP em tempo para que se fizessem estudos mais detalhados.

Tendo em vista o resultado obtido neste trabalho com base nos resultados apurados, teoricamente, pelo programa computacional onde se pode criar uma ferramenta para auxiliar o executor na tomada de decisão, quanto a estabilização de subleitos com baixa capacidade de suporte, recomenda-se que sejam desenvolvidos estudos e novos trabalhos relacionados ao presente para complementá-lo, de acordo com as seguintes sugestões:

- a) Desenvolver um estudo de campo, ensaiando ISC/CBR e Viga Benkelman e executar as camadas propostas na Tabela 5, Estabilização do subleito com material granular para, assim, comprovar e verificar sua funcionalidade.
- b) A ferramenta apresentada tem por base dados de ISC/CBR e deflexão recuperável de um projeto específico para a implantação do corredor de ônibus Itapevi – Jandira, no entanto se precisar utilizar a Tabela (?) em outro empreendimento, terá que se recalcular. Pode-se, então, estudar uma equação que, a partir dos parâmetros já conhecidos nessa tabela, o executor poderia lançar os dados coletados a partir dos ensaios realizados encontrar as espessuras necessárias para estabilizar o subleito.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Terminologia e Classificação de Pavimentação**. Rio de Janeiro. 1982.

BORGES, C. B. S. **Estudo Comparativo Entre Medidas de Deflexão com Viga Benkelman e FWD em Pavimentos da Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.

DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Projeto de Pavimentação**. São Paulo. 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Pavimentos Flexíveis - Solos - Determinação de Módulo de Resiliência - Método de Ensaio**. Instituto de Pesquisas rodoviárias - IPR. Rio de Janeiro. 2009.

FIORI, A. P. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas**. 3º. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

HIBBLER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5º. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

LIEDI, B. B. et al. **Pavimentação Rodoviária - Formação Básica para Engenheiros**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008.

MARQUES, G. L. D. O. **Utilização do Módulo de Resiliência como Critério de Dosagem de Mistura Asfáltica; Efeito da Compactação por Impacto e**

Giratória. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2004.

MEDINA, J. D.; MOTTA, L. M. G. D. **Mecânica dos Pavimentos.** 3ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM.
Pavimento - Determinação das Deflexões pela Viga Benkelman. Mato Grosso. 1994.

ROCHA, A. D. J. **Dimensionamento de pavimento flexíveis: Comparação dos métodos empíricos e mecanístico.** Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana. 2010.

TELES , L. V. **Estudo sobre os parâmetros de resistência e deformabilidade da areia de Hokksund.** Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica. Rio de Janeiro. 2013.

VILLELA, A. R. A. **Estudo de Camada de Base Asfáltica de Módulo Elevado para Restauração de Rodovias de Tráfego Muito Pesado.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transporte. São Paulo. 2012.

7 ANEXOS

7.1 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 0,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	50.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD..... 2050.00 LBS
 LOAD STRESS..... 5.63 PSI
 LOAD RADIUS..... 10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYY -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .1053E-01
UY .0000E+00
UZ .1414E+01

NORMAL STRAINS

EXX .6398E-02
EYY -.6558E-02
EZZ -.1708E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.2888E-06
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .6398E-02
PE 2 -.1708E-03
PE 3 -.6558E-02

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1296E-01
PSE 2 .6569E-02
PSE 3 .6387E-02

7.2 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 1,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	100.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .5267E-02
UY .0000E+00
UZ .7068E+00

NORMAL STRAINS

EXX .3199E-02
EYY -.3279E-02
EZZ -.8541E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.1444E-06
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3199E-02
PE 2 -.8541E-04
PE 3 -.3279E-02

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .6478E-02
PSE 2 .3285E-02
PSE 3 .3193E-02

7.3 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 1,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	150.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .3512E-02
UY .0000E+00
UZ .4712E+00

NORMAL STRAINS

EXX .2133E-02
EYY -.2186E-02
EZZ -.5694E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.9626E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .2133E-02
PE 2 -.5694E-04
PE 3 -.2186E-02

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .4319E-02
PSE 2 .2190E-02
PSE 3 .2129E-02

7.4 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 2,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	200.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

		LOCATED AT	
LOAD		X	Y
1		.000	.000
2		34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00

PSS 2 .1133E+00

PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .2634E-02

UY .0000E+00

UZ .3534E+00

NORMAL STRAINS

EXX .1600E-02

EYY -.1639E-02

EZZ -.4270E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00

EXZ -.7219E-07

EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .1600E-02

PE 2 -.4270E-04

PE 3 -.1639E-02

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .3239E-02

PSE 2 .1642E-02

PSE 3 .1597E-02

7.5 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 2,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	250.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

		LOCATED AT	
LOAD		X	Y
1		.000	.000
2		34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX	.1694E+00
SYX	-.2773E+00
SZZ	-.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY	.0000E+00
SXZ	-.4979E-05
SYZ	.0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1	.1694E+00
PS 2	-.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00

PSS 2 .1133E+00

PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .2107E-02

UY .0000E+00

UZ .2827E+00

NORMAL STRAINS

EXX .1280E-02

EYY -.1312E-02

EZZ -.3416E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00

EXZ -.5775E-07

EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .1280E-02

PE 2 -.3416E-04

PE 3 -.1312E-02

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .2591E-02

PSE 2 .1314E-02

PSE 3 .1277E-02

7.6 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 3,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	300.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

		LOCATED AT	
LOAD		X	Y
1		.000	.000
2		34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX	.1694E+00
SYX	-.2773E+00
SZZ	-.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY	.0000E+00
SXZ	-.4979E-05
SYZ	.0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1	.1694E+00
PS 2	-.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00

PSS 2 .1133E+00

PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .1756E-02

UY .0000E+00

UZ .2356E+00

NORMAL STRAINS

EXX .1066E-02

EYY -.1093E-02

EZZ -.2847E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00

EXZ -.4813E-07

EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .1066E-02

PE 2 -.2847E-04

PE 3 -.1093E-02

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .2159E-02

PSE 2 .1095E-02

PSE 3 .1064E-02

7.7 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 3,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	350.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX	.1694E+00
SYX	-.2773E+00
SZZ	-.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY	.0000E+00
SXZ	-.4979E-05
SYZ	.0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1	.1694E+00
PS 2	-.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00

PSS 2 .1133E+00

PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .1505E-02

UY .0000E+00

UZ .2019E+00

NORMAL STRAINS

EXX .9141E-03

EYY -.9368E-03

EZZ -.2440E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00

EXZ -.4125E-07

EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .9141E-03

PE 2 -.2440E-04

PE 3 -.9368E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1851E-02

PSE 2 .9385E-03

PSE 3 .9124E-03

7.8 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 4,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	400.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .1317E-02
UY .0000E+00
UZ .1767E+00

NORMAL STRAINS

EXX .7998E-03
EYY -.8197E-03
EZZ -.2135E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.3610E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .7998E-03
PE 2 -.2135E-04
PE 3 -.8197E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1620E-02
PSE 2 .8212E-03
PSE 3 .7984E-03

7.9 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 4,5 %

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	450.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .1171E-02
UY .0000E+00
UZ .1571E+00

NORMAL STRAINS

EXX .7109E-03
EYY -.7286E-03
EZZ -.1898E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.3209E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .7109E-03
PE 2 -.1898E-04
PE 3 -.7286E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1440E-02
PSE 2 .7299E-03
PSE 3 .7096E-03

7.10 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 5,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	500.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .1053E-02
UY .0000E+00
UZ .1414E+00

NORMAL STRAINS

EXX .6398E-03
EYY -.6558E-03
EZZ -.1708E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.2888E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .6398E-03
PE 2 -.1708E-04
PE 3 -.6558E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1296E-02
PSE 2 .6569E-03
PSE 3 .6387E-03

7.11 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 5,5 %

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	550.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYY -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .9577E-03
UY .0000E+00
UZ .1285E+00

NORMAL STRAINS

EXX .5817E-03
EYY -.5962E-03
EZZ -.1553E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.2625E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .5817E-03
PE 2 -.1553E-04
PE 3 -.5962E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1178E-02
PSE 2 .5972E-03
PSE 3 .5806E-03

7.12 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 6,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	600.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYY -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .8779E-03
UY .0000E+00
UZ .1178E+00

NORMAL STRAINS

EXX .5332E-03
EYY -.5465E-03
EZZ -.1423E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.2406E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .5332E-03
PE 2 -.1423E-04
PE 3 -.5465E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1080E-02
PSE 2 .5474E-03
PSE 3 .5322E-03

7.13 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 6,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	650.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .8104E-03
UY .0000E+00
UZ .1087E+00

NORMAL STRAINS

EXX .4922E-03
EYY -.5044E-03
EZZ -.1314E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.2221E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .4922E-03
PE 2 -.1314E-04
PE 3 -.5044E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .9966E-03
PSE 2 .5053E-03
PSE 3 .4913E-03

7.14 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 7,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	700.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYY -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .7525E-03
UY .0000E+00
UZ .1010E+00

NORMAL STRAINS

EXX .4570E-03
EYY -.4684E-03
EZZ -.1220E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.2063E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .4570E-03
PE 2 -.1220E-04
PE 3 -.4684E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .9254E-03
PSE 2 .4692E-03
PSE 3 .4562E-03

7.15 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 7,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	750.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYY -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .7023E-03
UY .0000E+00
UZ .9423E-01

NORMAL STRAINS

EXX .4266E-03
EYY -.4372E-03
EZZ -.1139E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.1925E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .4266E-03
PE 2 -.1139E-04
PE 3 -.4372E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .8637E-03
PSE 2 .4380E-03
PSE 3 .4258E-03

7.16 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 8,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	800.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

		LOCATED AT	
LOAD	X	Y	
1	.000	.000	
2	34.000	.000	
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00

PSS 2 .1133E+00

PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .6584E-03

UY .0000E+00

UZ .8834E-01

NORMAL STRAINS

EXX .3999E-03

EYY -.4099E-03

EZZ -.1068E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00

EXZ -.1805E-07

EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3999E-03

PE 2 -.1068E-04

PE 3 -.4099E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .8098E-03

PSE 2 .4106E-03

PSE 3 .3992E-03

7.17 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 8,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	850.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .6197E-03
UY .0000E+00
UZ .8315E-01

NORMAL STRAINS

EXX .3764E-03
EYY -.3857E-03
EZZ -.1005E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.1699E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3764E-03
PE 2 -.1005E-04
PE 3 -.3857E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7621E-03
PSE 2 .3864E-03
PSE 3 .3757E-03

7.18 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 9,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	900.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .5853E-03
UY .0000E+00
UZ .7853E-01

NORMAL STRAINS

EXX .3555E-03
EYY -.3643E-03
EZZ -.9490E-05

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.1604E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3555E-03
PE 2 -.9490E-05
PE 3 -.3643E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7198E-03
PSE 2 .3650E-03
PSE 3 .3548E-03

7.19 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 9,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	950.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT		
LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX	.1694E+00
SYX	-.2773E+00
SZZ	-.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY	.0000E+00
SXZ	-.4979E-05
SYZ	.0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1	.1694E+00
PS 2	-.5710E-01
PS 3	-.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .5545E-03
UY .0000E+00
UZ .7440E-01

NORMAL STRAINS

EXX .3368E-03
EYY -.3451E-03
EZZ -.8990E-05

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.1520E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3368E-03
PE 2 -.8990E-05
PE 3 -.3451E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .6819E-03
PSE 2 .3458E-03
PSE 3 .3361E-03

7.20 MEMÓRIA DE CALCULO DO SUBLEITO COM ISC/CBR = 10,0%

ELASTIC SYSTEM -

ELASTIC POISSONS

LAYER	MODULUS	RATIO	THICKNESS
1	1000.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

LOCATED AT

LOAD	X	Y
1	.000	.000
2	34.000	.000
3	181.000	.000
4	215.000	.000

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1694E+00

SYX -.2773E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.4979E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1694E+00

PS 2 -.5710E-01

PS 3 -.2773E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .2234E+00
PSS 2 .1133E+00
PSS 3 .1101E+00

DISPLACEMENTS

UX .5267E-03
UY .0000E+00
UZ .7068E-01

NORMAL STRAINS

EXX .3199E-03
EYY -.3279E-03
EZZ -.8541E-05

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.1444E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3199E-03
PE 2 -.8541E-05
PE 3 -.3279E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .6478E-03
PSE 2 .3285E-03
PSE 3 .3193E-03

7.21 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR = 0,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	247.000 IN
2	50.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT	
		X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

	X	Y
	17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX	.5066E+00
SYY	-.8465E+00
SZZ	-.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY	.0000E+00
SXZ	-.3082E-05
SYZ	.0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .5066E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.8465E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .6766E+00
PSS 2 .2819E+00
PSS 3 .3947E+00

DISPLACEMENTS

UX .2905E-02
UY .0000E+00
UZ .1009E+00

NORMAL STRAINS

EXX .3292E-03
EYY -.4015E-03
EZZ .2474E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.3329E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3292E-03
PE 2 .2474E-04
PE 3 -.4015E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7307E-03
PSE 2 .3044E-03
PSE 3 .4263E-03

7.22 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 1,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	190.000 IN
2	100.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .4852E+00

SYY -.8752E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.1461E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .4852E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.8752E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .6802E+00
PSS 2 .2712E+00
PSS 3 .4091E+00

DISPLACEMENTS

UX .3347E-02
UY .0000E+00
UZ .9999E-01

NORMAL STRAINS

EXX .3246E-03
EYY -.4100E-03
EZZ .3176E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.1578E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3246E-03
PE 2 .3176E-04
PE 3 -.4100E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7346E-03
PSE 2 .2929E-03
PSE 3 .4418E-03

7.23 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 1,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	147.000 IN
2	150.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .4770E+00

SYY -.8956E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ .6478E-06

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .4770E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.8956E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .6863E+00
PSS 2 .2671E+00
PSS 3 .4193E+00

DISPLACEMENTS

UX .3848E-02
UY .0000E+00
UZ .1007E+00

NORMAL STRAINS

EXX .3242E-03
EYY -.4170E-03
EZZ .3576E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ .6996E-09
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3242E-03
PE 2 .3576E-04
PE 3 -.4170E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7412E-03
PSE 2 .2884E-03
PSE 3 .4528E-03

7.24 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 2,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	107.000 IN
2	200.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .4512E+00

SYY -.9444E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ .2812E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .4512E+00

PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.9444E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .6978E+00
PSS 2 .2542E+00
PSS 3 .4437E+00

DISPLACEMENTS

UX .4401E-02
UY .0000E+00
UZ .1007E+00

NORMAL STRAINS

EXX .3207E-03
EYY -.4329E-03
EZZ .4621E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ .3037E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3207E-03
PE 2 .4621E-04
PE 3 -.4329E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7536E-03
PSE 2 .2745E-03
PSE 3 .4791E-03

7.25 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 2,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	75.000 IN
2	250.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .3511E+00

SYY -.1075E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ .2059E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .3511E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.1075E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .7129E+00
PSS 2 .2041E+00
PSS 3 .5088E+00

DISPLACEMENTS

UX .4437E-02
UY .0000E+00
UZ .1007E+00

NORMAL STRAINS

EXX .2989E-03
EYY -.4710E-03
EZZ .7846E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ .2224E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .2989E-03
PE 2 .7846E-04
PE 3 -.4710E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7699E-03
PSE 2 .2204E-03
PSE 3 .5495E-03

7.26 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 3,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	56.000 IN
2	300.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS....	5.63 PSI
LOAD RADIUS....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1867E+00

SYY -.1258E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.2388E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1867E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.1258E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .7225E+00
PSS 2 .1219E+00
PSS 3 .6006E+00

DISPLACEMENTS

UX .3712E-02
UY .0000E+00
UZ .1013E+00

NORMAL STRAINS

EXX .2589E-03
EYY -.5215E-03
EZZ .1272E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.2580E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .2589E-03
PE 2 .1272E-03
PE 3 -.5215E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7803E-03
PSE 2 .1317E-03
PSE 3 .6487E-03

7.27 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 3,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	45.000 IN
2	350.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .2349E-01

SYY -.1433E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.6706E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .2349E-01

PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.1433E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .7284E+00
PSS 2 .4029E-01
PSS 3 .6881E+00

DISPLACEMENTS

UX .2847E-02
UY .0000E+00
UZ .1012E+00

NORMAL STRAINS

EXX .2181E-03
EYY -.5686E-03
EZZ .1745E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.7242E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .2181E-03
PE 2 .1745E-03
PE 3 -.5686E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .7867E-03
PSE 2 .4352E-04
PSE 3 .7432E-03

7.28 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 4,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	37.000 IN
2	400.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX -.1431E+00

SYY -.1621E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.9174E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 -.5710E-01
PS 2 -.1431E+00
PS 3 -.1621E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .7820E+00
PSS 2 .4301E-01
PSS 3 .7390E+00

DISPLACEMENTS

UX .2120E-02
UY .0000E+00
UZ .1014E+00

NORMAL STRAINS

EXX .1777E-03
EYY -.6204E-03
EZZ .2242E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.9908E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .2242E-03
PE 2 .1777E-03
PE 3 -.6204E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .8446E-03
PSE 2 .4645E-04
PSE 3 .7982E-03

7.29 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 4,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	32.000 IN
2	450.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX -.2529E+00

SYY -.1761E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.9435E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 -.5710E-01
PS 2 -.2529E+00
PS 3 -.1761E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .8520E+00
PSS 2 .9790E-01
PSS 3 .7541E+00

DISPLACEMENTS

UX .1657E-02
UY .0000E+00
UZ .9999E-01

NORMAL STRAINS

EXX .1534E-03
EYY -.6610E-03
EZZ .2591E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.1019E-07
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .2591E-03
PE 2 .1534E-03
PE 3 -.6610E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .9202E-03
PSE 2 .1057E-03
PSE 3 .8144E-03

7.30 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 5,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	27.000 IN
2	500.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX -.3761E+00

SYY -.1953E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.8572E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 -.5710E-01
PS 2 -.3761E+00
PS 3 -.1953E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .9479E+00
PSS 2 .1595E+00
PSS 3 .7884E+00

DISPLACEMENTS

UX .1310E-02
UY .0000E+00
UZ .1002E+00

NORMAL STRAINS

EXX .1309E-03
EYY -.7205E-03
EZZ .3032E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.9258E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3032E-03
PE 2 .1309E-03
PE 3 -.7205E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1024E-02
PSE 2 .1723E-03
PSE 3 .8514E-03

7.31 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 5,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	23.000 IN
2	550.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX -.4452E+00

SYY -.2127E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.7385E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 -.5710E-01
PS 2 -.4452E+00
PS 3 -.2127E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .1035E+01
PSS 2 .1941E+00
PSS 3 .8407E+00

DISPLACEMENTS

UX .1093E-02
UY .0000E+00
UZ .1001E+00

NORMAL STRAINS

EXX .1276E-03
EYY -.7803E-03
EZZ .3372E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.7976E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3372E-03
PE 2 .1276E-03
PE 3 -.7803E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1118E-02
PSE 2 .2096E-03
PSE 3 .9079E-03

7.32 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 6,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	19.000 IN
2	600.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX -.4518E+00

SYY -.2326E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.6313E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 -.5710E-01

PS 2 -.4518E+00
PS 3 -.2326E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .1134E+01
PSS 2 .1974E+00
PSS 3 .9368E+00

DISPLACEMENTS

UX .9405E-03
UY .0000E+00
UZ .1010E+00

NORMAL STRAINS

EXX .1528E-03
EYY -.8590E-03
EZZ .3660E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.6818E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3660E-03
PE 2 .1528E-03
PE 3 -.8590E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1225E-02
PSE 2 .2132E-03
PSE 3 .1012E-02

7.33 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 6,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	16.000 IN
2	650.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX -.3277E+00

SYY -.2433E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.5779E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 -.5710E-01
PS 2 -.3277E+00
PS 3 -.2433E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .1188E+01
PSS 2 .1353E+00
PSS 3 .1053E+01

DISPLACEMENTS

UX .8424E-03
UY .0000E+00
UZ .1004E+00

NORMAL STRAINS

EXX .2175E-03
EYY -.9192E-03
EZZ .3636E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.6242E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3636E-03
PE 2 .2175E-03
PE 3 -.9192E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1283E-02
PSE 2 .1461E-03
PSE 3 .1137E-02

7.34 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 7,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	13.000 IN
2	700.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX -.1735E-01

SYY -.2477E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.5479E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 -.1735E-01

PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.2477E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .1230E+01
PSS 2 .1988E-01
PSS 3 .1210E+01

DISPLACEMENTS

UX .7657E-03
UY .0000E+00
UZ .9975E-01

NORMAL STRAINS

EXX .3478E-03
EYY -.9803E-03
EZZ .3263E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.5917E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .3478E-03
PE 2 .3263E-03
PE 3 -.9803E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1328E-02
PSE 2 .2147E-04
PSE 3 .1307E-02

7.35 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 7,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	8.000 IN
2	750.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1302E+01

SYY -.2180E+01

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.5359E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1302E+01

PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.2180E+01

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .1741E+01
PSS 2 .6794E+00
PSS 3 .1062E+01

DISPLACEMENTS

UX .6961E-03
UY .0000E+00
UZ .1004E+00

NORMAL STRAINS

EXX .8339E-03
EYY -.1046E-02
EZZ .1002E-03

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.5788E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .8339E-03
PE 2 .1002E-03
PE 3 -.1046E-02

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .1880E-02
PSE 2 .7337E-03
PSE 3 .1146E-02

7.36 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 8,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	1.000 IN
2	800.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1064E+01

SYY -.7277E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.8221E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1064E+01
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.7277E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .8957E+00
PSS 2 .5605E+00
PSS 3 .3353E+00

DISPLACEMENTS

UX .6557E-03
UY .0000E+00
UZ .8838E-01

NORMAL STRAINS

EXX .5354E-03
EYY -.4320E-03
EZZ -.6990E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.8879E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .5354E-03
PE 2 -.6990E-04
PE 3 -.4320E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .9674E-03
PSE 2 .6053E-03
PSE 3 .3621E-03

7.37 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 8,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	1.000 IN
2	850.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .1008E+01

SYY -.6954E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.7937E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .1008E+01
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.6954E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .8516E+00
PSS 2 .5325E+00
PSS 3 .3192E+00

DISPLACEMENTS

UX .6183E-03
UY .0000E+00
UZ .8318E-01

NORMAL STRAINS

EXX .5085E-03
EYY -.4113E-03
EZZ -.6657E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.8571E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .5085E-03
PE 2 -.6657E-04
PE 3 -.4113E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .9198E-03
PSE 2 .5751E-03
PSE 3 .3447E-03

7.38 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 9,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	1.000 IN
2	900.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .9578E+00

SYY -.6660E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.7646E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .9578E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.6660E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .8119E+00
PSS 2 .5075E+00
PSS 3 .3045E+00

DISPLACEMENTS

UX .5849E-03
UY .0000E+00
UZ .7856E-01

NORMAL STRAINS

EXX .4844E-03
EYY -.3925E-03
EZZ -.6369E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.8258E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .4844E-03
PE 2 -.6369E-04
PE 3 -.3925E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .8769E-03
PSE 2 .5481E-03
PSE 3 .3288E-03

7.39 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 9,5%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	1.000 IN
2	950.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .9128E+00

SYY -.6391E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.7403E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .9128E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.6391E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .7760E+00
PSS 2 .4850E+00
PSS 3 .2910E+00

DISPLACEMENTS

UX .5550E-03
UY .0000E+00
UZ .7443E-01

NORMAL STRAINS

EXX .4626E-03
EYY -.3754E-03
EZZ -.6116E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.7995E-08
EYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRAINS

PE 1 .4626E-03
PE 2 -.6116E-04
PE 3 -.3754E-03

PRINCIPAL SHEAR STRAINS

PSE 1 .8381E-03
PSE 2 .5238E-03
PSE 3 .3143E-03

7.40 MEMÓRIA DE CALCULO DO MATERIAL GRANULAR COM ISC/CBR

= 10,0%

ELASTIC SYSTEM -

LAYER	ELASTIC MODULUS	POISSONS RATIO	THICKNESS
1	2500.	.350	1.000 IN
2	1000.	.450	SEMI-INFINITE

FOUR LOAD(S), EACH LOAD AS FOLLOWS

TOTAL LOAD.....	2050.00 LBS
LOAD STRESS.....	5.63 PSI
LOAD RADIUS.....	10.77 IN

	LOAD	LOCATED AT X	Y
	1	.000	.000
	2	34.000	.000
3	181.000	.000	
4	215.000	.000	

RESULTS REQUESTED FOR SYSTEM LOCATION(S)

DEPTH(S)

Z= .01

X-Y POINT(S)

X	Y
17.00	.00

Z= .01 LAYER NO, 1

X	Y
17.00	.00

NORMAL STRESSES

SXX .8721E+00

SYY -.6144E+00

SZZ -.5710E-01

SHEAR STRESSES

SXY .0000E+00

SXZ -.7155E-05

SYZ .0000E+00

PRINCIPAL STRESSES

PS 1 .8721E+00
PS 2 -.5710E-01
PS 3 -.6144E+00

PRINCIPAL SHEAR STRESSES

PSS 1 .7432E+00
PSS 2 .4646E+00
PSS 3 .2786E+00

DISPLACEMENTS

UX .5279E-03
UY .0000E+00
UZ .7071E-01

NORMAL STRAINS

EXX .4428E-03
EYY -.3598E-03
EZZ -.5892E-04

SHEAR STRAINS

EXY .0000E+00
EXZ -.7727E-08