


ATERROS SOBRE SOLOS COMPRESSIVEIS

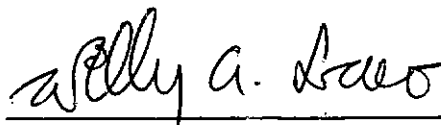
CALCULO AUTOMÁTICO DA SUA CONSTRUÇÃO POR ETAPAS

Ronaldo da Silva Ferreira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRA  
MAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PAR  
A A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS(M.Sc.)

Aprovada por:

  
Prof. Márcio Miranda Soares  
(Presidente)

  
Prof. Willy Alvarenga Lacerda

  
Prof. Mauro Lúcio Guedes Werneck

  
Prof. Jacques de Medina

FERREIRA, RONALDO DA SILVA

Aterros Sobre Solos Compressíveis - Estudo de Otimização da sua Velocidade de Construção. (Rio de Janeiro ) 1977.

IX : 289 p. 29,7cm (COPPE-UFRJ, M.Sc, Engenharia Civil, 1977)

Tese - Univ. Fed. Rio de Janeiro. Fac. Engenharia

Previsão do comportamento de aterros construídos sobre solos moles muito compressíveis levando-se em consideração, para cada etapa de carga colocada, o cálculo de pressões neutras, o estudo do adensamento, o cálculo dos recalques e a análise da estabilidade do aterro.

I. COPPE/UFRJ II. Título(série)



## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou com a colaboração irrestrita de muitas pessoas, a quem eu agradeço, reconhecendo que sem os seus auxílios este trabalho não teria sido completado.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Márcio Miranda Soares, a incansável dedicação e o entusiasmo com que me recebia quando da procura de luz para o encaminhamento dos trabalhos.

A omissão de nomes, a seguir, se faz necessária devido ao perigo de esquecimento de alguns deles, que entendo, seria deveras lâmentável tanto para mim quanto para eles.

Agradeço ao pessoal do Núcleo de Computação Eletrônica da U.F.R.J., que tantas vezes contornou problemas para possibilitar a execução dos meus trabalhos.

Agradeço ao pessoal do Centro de Processamento de Dados da UnB, mais precisamente, a Equipe de Atendimento aos Professores, que muito me auxiliou nos projetos de formatação e na execução dos programas.

Agradeço aos professores do Instituto de Letras da UnB, a elaboração da sinopse em inglês e ainda a revisão dos textos em português usados nos comentários dos programas de computador.

Agradeço finalmente à minha esposa, pela compreensão da minha ausência em muitas horas de lazer, e também pelos trabalhos de datilografado texto, executados com tanta dedicação e paciência.

## SINOPSE

Este trabalho consta da apresentação de um programa automático que permite dimensionar e analisar aterros construídos sobre solos compressíveis e de baixa resistência ao cisalhamento. O programa considera a construção por etapas deste aterro e otimiza a velocidade de sua construção a partir dos dados fornecidos e da estabilidade requerida. São computados pelo programa a velocidade de dissipação de pressão neutra, a evolução dos recalques e do fator de segurança à ruptura e o dimensionamento de drenos.

A previsão do comportamento do aterro é obtida pela execução de dois programas principais, assessorados nos cálculos matemáticos por vinte e quatro subrotinas.

Inicialmente é apresentada uma revisão da literatura, na qual é dado um enfoque especial ao estudo das teorias empregadas na previsão do comportamento do aterro.

A seguir são tecidas considerações sobre os fundamentos teóricos inseridos nos programas de computador, apresentados sob forma de atividades executadas em cada programa principal e em cada subrotina.

Posteriormente é apresentado um manual a ser utilizado pelos usuários que se interessem em estudar o comportamento de aterros sobre solos compressíveis.

Finalmente são estudados exemplos de aplicação dos programas, entre eles o do aterro experimental do IPR a ser construído na baixada fluminense, no Estado do Rio de Janeiro.

Consideramos que este programa será exaustivamente utilizado pelos engenheiros dos órgãos rodoviários (DNER e DERs) e por firmas projetistas envolvidas com estes problemas.

## SYNOPSIS

This paper presents an automatic programme which permits design and analysis of embankments built on compressible and low strength soils.

The programme deals with the step-by-step construction of the embankment and optimizes the rate of construction from the given data and required stability. The programme computes the rate of neutral pressure dissipation, the evolution of settlements and safety factor against rupture, and the size of the drains.

The forecast of embankment behaviour is obtained by the execution of two main programmes, and mathematical calculations are performed by twenty-four sub-routines.

At the outset there is a review of the pertinent literature in this field with special attention given to the study of the theories applied to the forecast of embankment behaviour.

Considerations follow treating of the theoretical fundamentals inserted in the computer programmes presented under the form of activities executed in each of the principal programmes and each sub-routine.

Later on, a user manual is presented for those who are interested in studying the behaviour of embankments on compressible soils.

Finally, examples of programme application are studied with special reference to the experimental embankment of the IPR (Road Research Institute) to be constructed in the lowland areas in the state of Rio de Janeiro.

We hope that this programme will be much useful for the engineers of the highway departments (DNER, DERs) and consulting firms dealing with such soil problems.

## RÉSUMÉ

Ce travail consiste dans la présentation d'un programme automatique qui permet de mesurer et d'analyser les remblais construits sur les sols compressibles et de faible résistance au cisaillement. Le programme considère la construction par étapes de ce remblais et permet l'optimisation du rythme construction à partir des données fournies et de la stabilité requise. Le programme prends en compte la rapidité de dissipation de la pression neutre, l'évolution des tassements et du facteur de sécurité à la rupture et les dimensions des drains.

La prévision du comportement du terrassement est obtenue par l'exécution de deux programmes principaux, avec l'aide dans les calculs mathématiques de vingt-quatre programmes complémentaires.

Au début est présentée une revue des ouvrages traitant le sujet, dans laquelle une place privilégiée est donnée à l'étude des théories utilisées dans la prévision du comportement des terrassements.

Ensuite sont exposées des considérations sur les fondements théoriques insérés dans les programmes d'ordinateur, présentés sous forme d'activités exécutées dans chaque programme principal et dans chaque programme complémentaire.

Puis est présenté un manuel à l'usage de ceux que s'intéressent à l'étude du comportement des remblais sur sols compressibles.

Enfin sont étudiés des exemples d'application des programmes, parmi lesquels celui du terrassement expérimental du IPR (Institute de Recherches Routières) qui doit être construit dans la "baixada fluminense" de l'Etat de Rio de Janeiro.

Nous espérons que ce programme soit beaucoup utilisé par les ingénieurs des organismes routiers (DNER et DERs) et par les entreprises d'études participant à ces recherches.

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO
I.1	Apresentação geral ----- 1
I.2	Motivos que levaram à pesquisa ----- 1
I.3	Organização geral do trabalho ----- 2
I.4	Tratamento do maciço compressível ----- 3
I.5	Utilização dos programas de computador ----- 4
CAPÍTULO II	TEORIAS UTILIZADAS NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ATERROS SOBRE SOLOS COMPRESSÍVEIS.
II.1	Determinação dos acréscimos de tensão ----- 5
II.2	Determinação dos acréscimos de pressão neutra ----- 13
II.3	Dissipação dos acréscimos de pressão neutra ----- 15
II.4	Determinação dos recalques ----- 24
II.5	Análise da estabilidade do conjunto aterro- subsolo ----- 27
CAPÍTULO III	PROGRAMA AUTOMÁTICO PARA PREVISÃO DO COMPOR- TAMENTO DE ATERROS CONSTRUÍDOS SOBRE SOLOS MOLES.
III.1	Introdução ----- 39
III.2	Metodologia de cálculo e atividades desen- volvidas pelos programas SAND e DETR ----- 39
III.3	Descrição do programa principal SAND ----- 64
III.4	Descrição do programa principal DETR ----- 67
III.5	Descrição das subrotinas utilizadas ----- 68
III.6	Variáveis indicadoras utilizadas nos pro- gramas principais e nas subrotinas ----- 82
III.7	Problemas práticos que poderão ser anali- sados ----- 88
III.8	Manual de utilização dos programas ----- 93
III.9	Modificações introduzidas nos programas originais ----- 109
CAPÍTULO IV	APLICAÇÕES DE VERIFICAÇÃO DOS PROGRAMAS ----- 112



	Página
IV.1	Primeiro problema exemplo-Programa SAND ----- 112
IV.2	Segundo problema exemplo-Programa DETR ----- 145
IV.3	Segundo problema exemplo-Programa SAND ----- 162
CAPÍTULO V	APLICAÇÕES A ATERROS JÁ CONSTRUÍDOS
V.1	Aterro experimental do Asian Institute of Technology ----- 187
V.2	Aterro experimental do New Hampshire Depart_ ment of Public Works and Highways ----- 189
CAPÍTULO VI	PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DOS ATERROS EXPERI_ MENTAIS I e II DO IPR -----
VI.1	Aterro experimental IPR I ----- 197
VI.2	Aterro experimental IPR II ----- 202
CAPÍTULO VII	CONCLUSÃO ----- 212
	SUGESTÕES PARA PESQUISA ----- 214
	BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA NO TEXTO ----- 215
	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR ----- 219
	APÊNDICES ----- 221
	A -SUBROTINAS----- 222
	B -PROGRAMA SAND ----- 250
	C -PROGRAMA DETR ----- 270
	SIMBOLOGIA EMPREGADA ----- 286

## CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

## I-1. Apresentação geral.

Atualmente, com o crescimento constante dos centros urbanos, cada vez mais se torna necessário a utilização de todas as áreas disponíveis. Entre estas áreas frequentemente se encontram os solos moles com baixa capacidade de suporte.

O desenvolvimento das teorias que estudam o comportamento de solos moles sob carga, possibilitou a utilização destes solos nos seus locais de origem. Neste assunto, se destacam os inúmeros trabalhos relatando o comportamento de aterros experimentais construídos sobre solos moles em todas as partes do mundo. Entre eles podemos citar os trabalhos desenvolvidos no Laboratoire des Ponts e Chaussée, na França, no Massachusetts Institute of Technology (E.E.U.U.), no Asian Institute of Technology (Thailand), os trabalhos de Krizek e Krugmann nos Estados Unidos, etc.

Atualmente estes estudos também estão se desenvolvendo aqui no Brasil, no Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), que está em fase de execução de três aterros experimentais nos solos moles da Baixada Fluminense, no estado do Rio de Janeiro.

É exatamente seguindo esta mesma linha de estudo e pesquisa, que o presente trabalho foi elaborado, a fim de que fossem apresentadas as teorias que podem ser usadas na previsão do comportamento de aterros construídos sobre solos moles. Este estudo, embora constituído na sua quase totalidade de embasamentos teóricos, se reveste de um cunho estritamente prático, podendo ser aplicado imediatamente em inúmeros casos ora em discussão em todo o Brasil. Somente para exemplificar, conhecemos os problemas existentes nas construções sobre as argilas moles de Santos (S.P.), nas argilas moles da Baixada Fluminense e da Baixada de Jacarepaguá (R.J.), etc.

## I-2. Motivos que levaram a pesquisa.

O meu pensamento ao me dispor a elaborar este trabalho, foi o de tornar acessível a utilização dos programas computacionais, os quais envolvem técnicas matemáticas muito complexas, aos engenheiros dos órgãos

rodoviários, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem(DNER) e Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem(DER) e por todos aqueles que porventura se defrontem com problemas desta natureza.

Além disso, este trabalho visa uma maior difusão das técnicas que utilizam os solos moles no seu próprio local, já que as soluções que envolvem a remoção do solo compressível ou mesmo a mudança do traçado do projeto, são geralmente as adotadas na prática. Isto se deve, ao aprofundamento teórico necessário, para se prever o comportamento do aterro a ser construído.

A idéia da elaboração de uma publicação mais objetiva para a utilização dos programas, surgiu devido a extensão e diversificação dos assuntos apresentados na publicação original (Krizek and Krugmann-1972)<sup>1</sup>. Devido a esta necessidade, não seria racional que se mantivesse aquele trabalho como um manual, e sim que ele servisse de bibliografia base para a elaboração de uma apresentação mais específica e mais objetiva naquilo que ela se propõe, ou seja, apresentar um estudo completo do comportamento de aterros construídos sobre solos muito compressíveis e de baixa capacidade de carga.

### I-3. Organização geral do trabalho.

Quando do início do desenvolvimento do presente trabalho, se pensou na implantação dos programas originais no computador e posteriormente num estudo de possíveis modificações nas teorias aplicadas no sentido de implementar o estudo original, a fim de se conseguir resultados cada vez mais próximos daqueles obtidos por experimentação "in situ", tais como os aterros-teste.

Porém com o desenvolvimento dos trabalhos, chegou-se a conclusão de que, devido ao gigantismo dos programas, aproximadamente 4000 cartões cada um, qualquer modificação nas teorias utilizadas, envolveria um trabalho de praticamente se refazer todo o estudo novamente. Tendo isto em mente, modificaram-se os planos iniciais, de modo que o trabalho aqui apresentado conterá além do estudo teórico indispensável, uma série de exemplos práticos de aplicação em aterros a serem construídos, e também exemplos de verificação de aterros experimentais já construídos, cujos resultados de adensamento, recalque e estabilidade, se encontram nas bibliografias especializadas (Earth and Earth Supported Structures-Purdue University-1972)<sup>2, 3</sup>.

#### I-4. Tratamento do maciço compressível.

A técnica da construção por etapas é um dos possíveis caminhos a serem seguidos no tratamento dos solos moles. Antigamente, as técnicas que utilizavam a remoção do solo mole, eram mais difundidas e por isto mesmo mais aplicadas. Isto se devia ao parcial desconhecimento do comportamento do solo carregado e consequentemente fazia com que as técnicas que tentavam utilizar o solo mole no seu próprio local, fossem mais complexas necessitando de um estudo mais aprofundado.

Segundo os pesquisadores, a técnica da construção por etapas pode ser definida como o ato de carregar um solo com uma carga inferior a carga final a ser aplicada, a fim de que a capacidade de suporte deste solo não seja ultrapassada. Posteriormente, a aplicação de cargas complementares, em tempos pré-estabelecidos, faria com que a carga final do aterro fosse atingida. O principal objetivo desta técnica, é o de melhorar as condições de resistência ao cisalhamento do solo compressível, pelo aumento das pressões efetivas nele instaladas. Este aumento seria obtido pela dissipação das pressões neutras induzidas pelo carregamento.

Uma característica importante da construção por etapas é o longo tempo necessário para se obter os efeitos benéficos desejados. Esta limitação pode ser minorada pelo uso de um sistema tridimensional de fluxo d'água, conseguido através da instalação de uma rede de drenos de areia ou de cartão.

Os tipos de solos nos quais pode ser aplicada a técnica da construção por etapas, são muito variados. Na maioria dos casos são solos moles, de graduação fina que são normalmente adensados ou então levemente pré-adensados. Os solos mais característicos são os siltes orgânicos, turfas, siltes fofos, areias finas e ocasionalmente aterros inconsolidados incluindo-se os aterros sanitários.

Como foi citado anteriormente, o tempo limita a utilização deste processo construtivo, aos solos que adensam rapidamente. Os métodos mais eficientes de se acelerar o adensamento do solo compressível são os seguintes:

a) Aplicação de eletro-osmose.

b) Aplicação de vácuo.

- c)Rebaixamento do lençol freático.
- d)Sistema de drenagem radial.
- e)Mista.

Uma das técnicas utilizadas para antecipar os recalques previstos devido a aplicação de uma determinada carga, é aquela que consiste no emprego temporário de uma sobrecarga.

A razão de sobrecarga, definida como, o excesso de carga em relação a carga final, raramente excede a 0,3, embora valores superiores são frequentemente encontrados. As altas taxas de sobrecarga são benéficas no sentido de eliminar os recalques pós-construção, porém por outro lado elas reduzem a estabilidade do aterro, tornando mais crítica a situação de aterros que já possuem tempos não suficientemente longos até a sua utilização. Isto faz com que o aumento da resistência, devido a compressão do subsolo, seja pouco aproveitada.

#### I-5. Utilização dos programas de computador.

De uma maneira sucinta, a utilização dos programas de computador, depende da definição das características geométricas do aterro, das etapas de carga e da obtenção dos parâmetros do maciço compressível que governam o seu adensamento. O conhecimento destes elementos possibilita então, o dimensionamento do aterro em poucos minutos, bem como a execução de várias opções de projeto, tendo em vista a credibilidade dos parâmetros obtidos. Uma análise da sensibilidade do dimensionamento em relação aos parâmetros-chave, também pode ser conseguida sem muito esforço e para cada caso específico.

## CAPITULO II

TEORIAS UTILIZADAS NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ATERROS SOBRE SOLOS COMPRESSIVEIS.

A previsão do comportamento de aterros construídos sobre solos moles, só será possível após o conhecimento dos seguintes estudos teóricos :

- a) Determinação dos acréscimos de tensões normais e cisalhantes;
- b) Determinação dos acréscimos de pressões neutras devido ao carregamento pelo aterro;
- c) Estudo da dissipação destes excessos de pressões neutras com o tempo;
- d) Determinação dos recalques por adensamento; e
- e) Estudo da estabilidade do aterro construído.

Será, a seguir, apresentada uma revisão dos estudos mencionados, tendo como finalidade principal, situar a teoria utilizada para a programação do cálculo automático, em relação as outras teorias que poderiam ter sido usadas.

Além disso, dentro de cada item, serão discutidas as hipóteses utilizadas, bem como serão tecidas considerações sobre as vantagens e limitações da teoria escolhida para a programação.

## II.1- Determinação dos acréscimos de tensão.

A determinação da distribuição dos acréscimos de tensão em maciços de solo, tem sido conseguido, até o momento, através da aplicação da teoria da elasticidade. Basicamente existem três fatores que fazem com que sejam utilizadas na prática estas soluções.

Primeiramente, ainda não existe uma maneira mais simples e objetiva de se determinar esta distribuição, considerando um comportamento mais realístico do solo.

Em segundo lugar, já existem pesquisas efetuadas em modelos e ensaios de campo que indicam que as soluções da teoria da elasticidade preveem satisfatoriamente esta distribuição de tensões, desde que as condições de fronteira do problema teórico resolvido coincidam com as verdadeiras.

ras condições de fronteira do campo (Winterkorn and Fang-1975)<sup>4</sup>.

Finalmente, poderíamos dizer que a teoria da elasticidade é a mais aplicada por já existir nas bibliografias especializadas uma grande quantidade de soluções nela baseadas confirmando a sua eficiência em relação a problemas reais de mecânica dos solos.

1- Metodologia empregada na determinação das tensões normais e cisalhantes.

A determinação das tensões em maciços terrosos, utilizando-se a teoria da elasticidade, se inicia nas equações de equilíbrio. Com a hipótese de que as forças devido ao peso próprio do solo são desprezíveis, as equações de equilíbrio para um ponto arbitrário dentro do maciço podem assim serem escritas:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.1-1})$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.1-2})$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.1-3})$$

As componentes da tensão normal ( $\sigma$ ) são  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  cujos índices, representam o eixo ao qual a componente da tensão é paralela, e as componentes da tensão cisalhante ( $\tau$ ) são  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yx}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{zx}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zy}$ , cujos índices são constituídos de duas letras - a primeira representa o índice da tensão normal atuante no mesmo plano e a segunda indica o eixo ao qual a componente é paralela.

Aplicando-se a condição de equilíbrio de momentos, obteremos as equações:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad (\text{II.1-4})$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} \quad (\text{II.1-5})$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} \quad (\text{II.1-6})$$

Esta simetria entre as componentes das tensões cisalhantes, reduz o número de incógnitas de nove para seis.

A fim de que possamos resolver o problema, teremos que utilizar as equações que definem o campo de deformações específicas ( $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$  e  $\epsilon_z$ ) e deformações angulares ( $\gamma_{xy}$ ,  $\gamma_{yz}$  e  $\gamma_{zx}$ ). Para isso, no entanto, a hipótese de pequenas deformações é preciso ser feita.

Uma vez definido um campo de deformações, para que se possa caracterizar o campo de deslocamentos ( $u$ ,  $v$  e  $w$ ), responsável por estas deformações, as equações de compatibilidade devem ser verificadas. Estas equações, que no caso tridimensional são em número de seis, são as seguintes:

$$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial x^2} \quad (\text{II.1-7})$$

$$\frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial x \partial z} = \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x^2} \quad (\text{II.1-8})$$

$$\frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial z \partial y} = \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial z^2} \quad (\text{II.1-9})$$

$$2 \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( - \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad (\text{II.1-10})$$

$$2 \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial z \partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad (\text{II.1-11})$$



$$2 \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad \text{(II.1-12)}$$

Podemos observar que ainda não houve nenhum avanço no sentido de se obter as incógnitas citadas anteriormente.

As relações tensão-deformação é que virão nos auxiliar na solução do problema. Elas são em número de seis para o caso de material isótropo.

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} \{ \sigma_x - (\sigma_y + \sigma_z) \} \quad \text{(II.1-13)}$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} \{ \sigma_y - (\sigma_x + \sigma_z) \} \quad \text{(II.1-14)}$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{E} \{ \sigma_z - (\sigma_x + \sigma_y) \} \quad \text{(II.1-15)}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1 + \nu)}{E} \cdot \tau_{xy} \quad \text{(II.1-16)}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{2(1 + \nu)}{E} \cdot \tau_{yz} \quad \text{(II.1-17)}$$

$$\gamma_{zx} = \frac{2(1 + \nu)}{E} \cdot \tau_{zx} \quad \text{(II.1-18)}$$

Para o caso bidimensional, o número de equações se reduz significativamente. Este é o caso dos problemas de plano-tensão e de plano-deformação.

No primeiro caso pode-se, por hipótese, considerar que  $\sigma_z = 0$  e também  $\tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$ .

No segundo caso poderemos, por hipótese, adotar  $\epsilon_z = 0$  e também  $\gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0$ .

As soluções obtidas para os problemas de plano-tensão, podem ser transformadas para as soluções do respectivo problema de plano-deformação, e vice-versa, pela introdução de um coeficiente de Poisson "aparente". Assim, se as soluções para um problema de plano-tensão foram obtidas usando-se  $\nu$ , as soluções do problema de plano-deformação poderão ser obtidas usando-se o coeficiente de Poisson aparente,  $\nu'$ .

$$\nu' = \frac{\nu}{1+\nu} \quad (\text{II.1-19})$$

A solução mais rápida e mais objetiva para o problema bidimensional de distribuição de tensões no solo devido a construção de um aterro é, sem dúvida nenhuma, aquela que utiliza a função de Airy.

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \quad (\text{II.1-20})$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \quad (\text{II.1-21})$$

$$\tau_{xy} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} \quad (\text{II.1-22})$$

A substituição das equações (II.1-20) à (II.1-22) na combinação das equações de tensão-deformação-deslocamento, permite-nos obter a equação diferencial de 4ª ordem, cuja solução nos fornecerá a função de Airy.

$$\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4} = 0 \quad (\text{II.1-23})$$

A forma da solução da equação diferencial (II.1-23) depende fundamentalmente das condições de contorno do domínio de solução. É exatamente este o ponto que diferencia as diversas soluções obtidas para o problema de distribuição de tensões no subsolo, usando-se a teoria da elasticidade.

A figura (II.1-1) apresenta as condições de contorno, levadas em consideração na determinação das tensões em um maciço compressível de profundidade finita, devido a construção de um aterro com geometria trape-

zoidal. No entanto, a solução da equação diferencial de 4ª ordem estudada por Marguerre (1931)<sup>5</sup>, que foi a programada, possui as condições de contorno apresentadas na figura (II.1-2).

Então, a fim de que possamos obter a solução para um carregamento trapezoidal, deveremos aproximá-lo por um número finito de cargas uniformemente distribuídas, cada uma delas aplicada separadamente na superfície do maciço compressível. As tensões finais devido ao carregamento do aterro, seriam obtidas por um somatório das tensões produzidas por cada etapa de carga uniforme.

Para maior facilidade na aplicação da solução obtida por Marguerre (1931)<sup>5</sup>, a convenção de sinal usada é a de que tensões normais de tração serão positivas e as de compressão serão negativas. Isto contraria a convenção tradicionalmente utilizada na Mecânica dos Solos, porém a correção destes sinais será processada quando do cálculo dos acréscimos de pressão neutra induzidas no maciço.

A solução da equação (II.1-23) é então obtida, em termos de uma integral de Fourier, válida para o caso de carga simétrica.

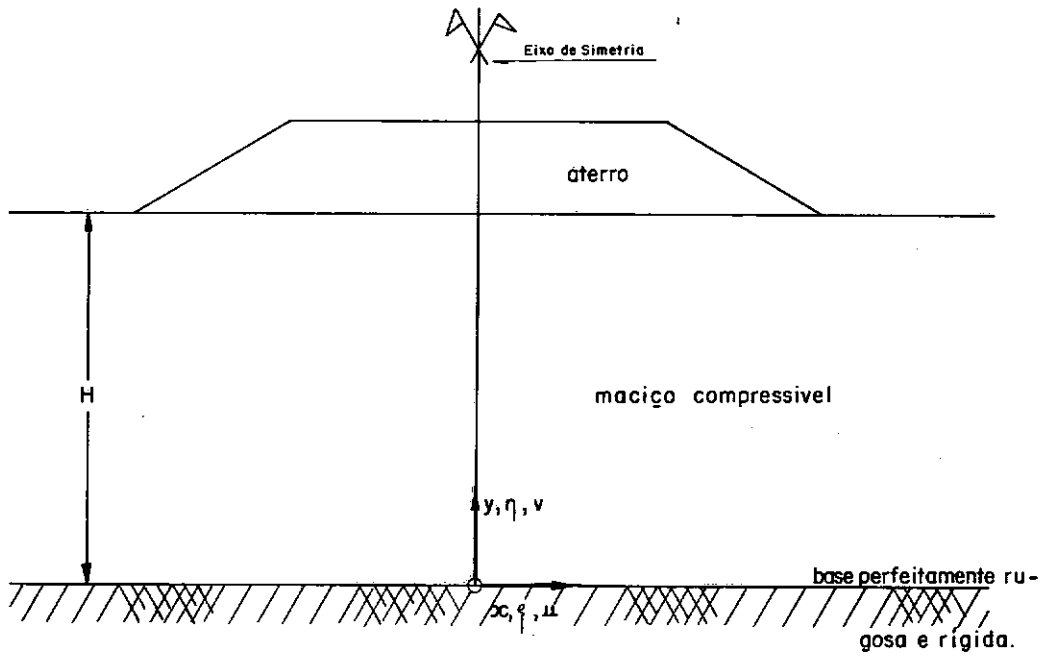
$$\Psi(x,y) = \int_0^{\infty} \{A(\lambda) \cosh \lambda y + B(\lambda) \sinh \lambda y + C(\lambda) [2 \sinh \lambda y + \lambda y \cosh \lambda y] + D(\lambda) [2 \cosh \lambda y + \lambda y \sinh \lambda y]\} \cdot \cos \lambda x \cdot d\lambda \quad (II.1-24)$$

Após a determinação das funções  $A(\lambda)$ ,  $B(\lambda)$ ,  $C(\lambda)$  e  $D(\lambda)$  a partir das condições de contorno, utilizando-se as equações (II.1-20) à (II.1-22) conseguiremos obter as equações finais das tensões no maciço.

As equações (II.1-25) à (II.1-27) apresentadas abaixo, aplicadas ao problema de plano-deformação, foram obtidas a partir da solução do problema de plano-tensão, pela substituição do coeficiente de Poisson,  $\nu$ , pelo coeficiente aparente  $\nu'$  definido pela equação (II.1-19).

Já que para o caso de argilas saturadas de baixa permeabilidade e compressibilidade aproximadamente nula no tempo de aplicação da carga, o coeficiente de Poisson  $\nu$  poderá ser adotado 0,5, teremos assim consequentemente que o coeficiente aparente será 1,0.

As equações das tensões então serão:



- a) As tensões são conhecidas na fronteira superior ( $y = H$  ou  $\eta = 1,0$ )  
 b) Os deslocamentos são nulos na fronteira inferior ( $y = 0$  ou  $\eta = 0$ )

Fig. II.1-1 Condições de Contorno para o problema geral

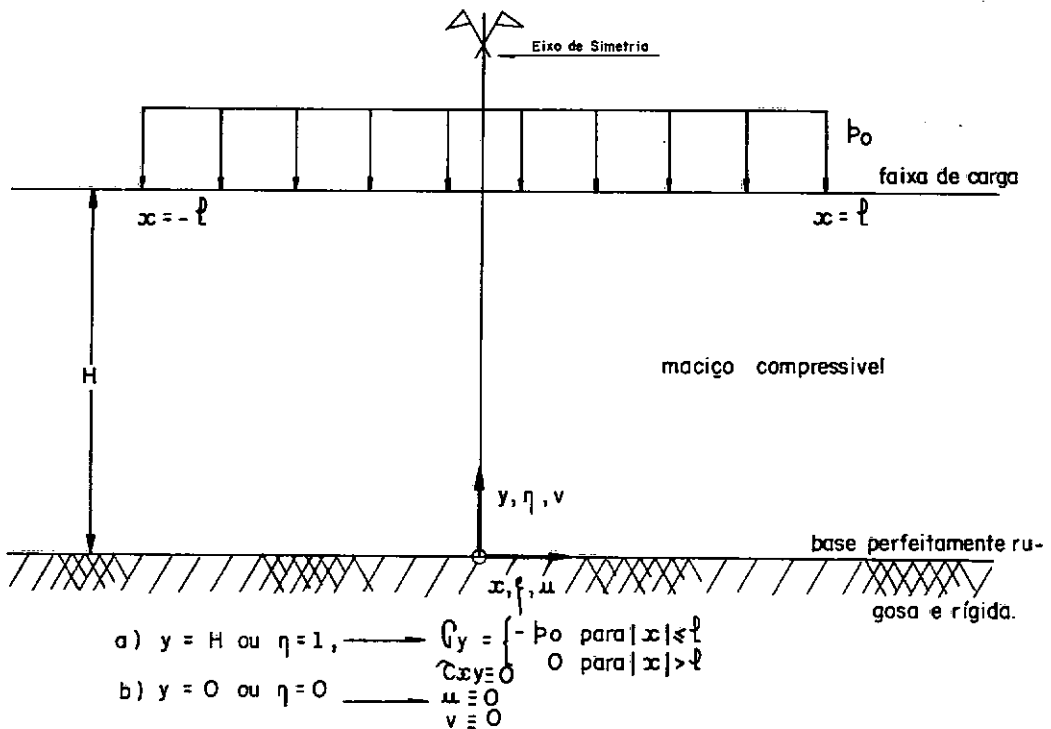


Fig. II.1 - 2 Condições de Contorno para a solução programada (Krizek and Krugmann-1972)<sup>1</sup>

$$\sigma_x = \frac{2p_0}{\pi} \int_0^\infty \frac{\sum_{i=1}^L \sin \alpha_i \theta}{\theta (\cosh^2 \theta + \theta^2)} \cdot \{ (\cosh \theta + \theta \sinh \theta) \cdot (\cosh \eta \theta + \eta \theta \sinh \eta \theta) - \theta \cdot \cosh \theta (2 \sinh \eta \theta + \eta \theta \cosh \eta \theta) \} \cdot \cos \xi \theta \cdot d\theta \quad (\text{II.1-25})$$

$$\sigma_y = \frac{2p_0}{\pi} \int_0^\infty \frac{\sum_{i=1}^L \sin \alpha_i \theta}{\theta (\cosh^2 \theta + \theta^2)} \cdot \{ (\cosh \theta + \theta \sinh \theta) \cdot (\cosh \eta \theta - \eta \theta \sinh \eta \theta) + \theta \cosh \theta \cdot \eta \theta \cosh \eta \theta \} \cdot \cos \xi \theta \cdot d\theta \quad (\text{II.1-26})$$

$$\tau_{xy} = \frac{2p_0}{\pi} \int_0^\infty \frac{\sum_{i=1}^L \sin \alpha_i \theta}{\theta (\cosh^2 \theta + \theta^2)} \cdot \{ \theta \cosh \theta (\cosh \eta \theta + \eta \theta \sinh \eta \theta) - (\cosh \theta + \theta \sinh \theta) \cdot \eta \theta \cosh \eta \theta \} \cdot \sin \xi \theta \cdot d\theta \quad (\text{II.1-27})$$

As integrais de Fourier foram resolvidas, algumas através de tabelas de integrais definidas e outras através de integração numérica pela fórmula de Simpson ou pela fórmula de Filon.

Com isto então, finalmente, obtivemos as tensões no subsolo compressível.

Do ponto de vista da aplicabilidade da solução apresentada, pode-se concluir a partir das condições de contorno aplicadas ao problema, que a solução obtida é a mais realística possível. Isto porque, na maioria dos problemas práticos, a carga aplicada é trapezoidal e a fundação do aterro, de espessura finita, está geralmente sobrejacente a uma camada rígida e rugosa. As objeções que poderão ser colocadas, dizem respeito a:

- a) Consideração de tensões cisalhantes nulas na superfície, e
- b) Consideração do coeficiente de Poisson igual a 0,5.

Em relação ao primeiro item, podemos dizer, que esta hipótese, equivale a dizer que a superfície livre do maciço compressível é um plano principal, no qual atua a tensão principal maior,  $\sigma_1$ , calculada diretamente a partir do carregamento pelo aterro. Esta hipótese é perfeitamente viável se considerarmos que a fundação do aterro é flexível, devido a sua compressibilidade, de tal forma a se poder considerar que o aterro possa ser considerado como um carregamento frouxo, não transmitindo à fundação tensões cisalhantes.

Em relação ao segundo item, podemos afirmar que a maioria da literatura especializada em Mecânica dos Solos é unânime em afirmar, que

para o caso de solos argilosos saturados, que se deformam sem variação volumétrica apreciável, o valor do coeficiente de Poisson é 0,5. Mesmo que esta hipótese não seja estritamente correta,<sup>5</sup> o valor das tensões não é influenciado significativamente por pequenas mudanças do coeficiente de Poisson (Winterkorn and Fang-1975)<sup>4</sup>.

## II.2- Determinação dos acréscimos de pressão neutra.

Quando um solo compressível é carregado e nenhuma drenagem é permitida, haverá um aumento na pressão dos fluidos que preenchem os vazios da massa de solo. Este aumento de pressão é denominado de acréscimo de pressão neutra. A fim de que possamos estudar a dissipação deste acréscimo de pressão neutra com o tempo, é necessário que ele inicialmente seja avaliado.

A avaliação das pressões neutras, em um maciço compressível submetido a um carregamento, pode ser feita de duas maneiras:

- a) Medição "in loco" através de piezômetros, e
- b) Determinação teórica através de conhecimento dos acréscimos de tensões normais e cisalhantes.

No momento a determinação teórica é a que nos interessa.

O método mais usado para a avaliação teórica dos acréscimos de pressão neutra, devido ao carregamento de um maciço compressível, foi o desenvolvido por Skempton (1954)<sup>6</sup> e implementado por Scott (1963)<sup>7</sup>.

Considerando-se um carregamento não drenado do subsolo, as deformações volumétricas específicas do esqueleto sólido e a dos fluidos que preenchem os vazios deste esqueleto, são iguais. Partindo-se deste princípio, o valor do acréscimo de pressão neutra devido a um acréscimo de tensão normal, pode ser escrito:

$$\Delta u = \left\{ 1 / \left( 1 + \frac{1}{3} n C_f / C_s \right) \right\} \left\{ (\Delta \sigma)_{oct.} + \frac{1}{3} (D / C_s) (\Delta \tau)_{oct.} \right\} \quad (II.2-1)$$

Para o caso do ensaio de compressão triaxial onde  $\Delta \sigma_2 = \Delta \sigma_3$ , a equação (II.2-1) poderá ser transformada para:

$$\Delta u = \left\{ 1 / \left( 1 + \frac{1}{3} n C_f / C_s \right) \right\} \left\{ \Delta \sigma_3 + \left( \frac{\sqrt{2}}{9} (D / C_s) + \frac{1}{3} \right) (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \right\} \quad (II.2-2)$$

<sup>5</sup> Em experiências de laboratório tem-se determinado valores de  $\nu$  para solos argilosos saturados entre 0,35 e 0,50.

Definimos assim os parâmetros de pressão neutra: (II.2-2)

$$A = \frac{\sqrt{2}}{9} (D/Cs) + \frac{1}{3} \quad (\text{II.2-3})$$

$$B = 1/(1 + \frac{1}{3} nCfCs) \quad (\text{II.2-4})$$

A equação(II.2-2)passa então a possuir a seguinte forma:

$$\Delta u = B\{\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)\} \quad (\text{II.2-5})$$

Esta foi a equação obtida por Skempton(1954)<sup>6</sup>.

Partindo da mesma equação base(II.2-1),Scott(1963)<sup>7</sup> desenvolveu a equação do acréscimo de pressão neutra para o problema de plano-deformação, no qual a tensão principal intermediária,  $\Delta\sigma_2$ ,pode ser expressa em termos do coeficiente de Poisson e das outras duas tensões principais.

$$\Delta\sigma_2 = \nu(\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_3) \quad (\text{II.2-6})$$

Como discutido no item anterior,para o caso de solos argilosos saturados, o coeficiente de Poisson,pode ser adotado 0,5.

Substituindo a equação(II.2-6)na equação(II.2-1)obteremos a equação de  $\Delta u$ .

$$\Delta u = B\{\Delta\sigma_3 + (\frac{\sqrt{3}}{2}(A - \frac{1}{3}) + 1/2)(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)\} \quad (\text{II.2-7})$$

Esta foi a equação programada,para a obtenção dos acréscimos de pressão neutra,num maciço compressível carregado.

A obtenção das tensões principais  $\Delta\sigma_1$ e $\Delta\sigma_3$ ,é feita através dos acréscimos de tensões normais,  $\sigma_x$  e $\sigma_y$ ,e cisalhante,  $\tau_{xy}$ ,já determinadas de acordo com o apresentado no item(II.1).

$$\Delta\sigma_{1,3} = (\sigma_x + \sigma_y)/2 \pm \sqrt{[(\sigma_x - \sigma_y)^2/4 + \tau_{xy}^2]} \quad (\text{II.2-8})$$

Conforme foi citado no item anterior(II.1),a convenção de sinais utilizada na determinação das tensões é contrária a comumente usada em Mecânica dos Solos.Por isso na obtenção do valor de  $\Delta\sigma_1$  se utiliza o sinal negati-

vo do radical da equação(II.2-8)e do valor de  $\Delta\sigma_3$ ,o sinal positivo.

A correção destes sinais,é feita,colocando-se um sinal negativo no início da equação(II.2-7).

Do ponto de vista da aplicabilidade prática,das teorias apresentadas neste estudo,podemos concluir que duas hipóteses já discutidas no item II.1,aqui também foram aplicadas .São elas:

a)Aplicabilidade da teoria da elasticidade na determinação das tensões principais,e

b)Utilização do coeficiente de Poisson igual a 0,5.

Sem dúvida nenhuma,toda a fragilidade da teoria apresentada,se concentra na obtenção dos parâmetros de pressão neutra,A e B,já que a variação do coeficiente de Poisson é mínima para o caso de solos que apresentam variação volumétrica nula a pequenas deformações.

Segundo a tabela apresentada por Skempton(1954)<sup>6</sup>,os valores experimentais de A,permitem a seguinte classificação:

Argilas moles muito sensíveis-----0,75 a 1,5

Argilas normalmente adensadas-----0,5 a 1,0

Argilas arenosas compactadas-----0,25 a 0,75

Argilas levemente pré-adensadas-----0 a 0,5

Argilas pedregulhosas compactadas-----0,25 a 0,25

Argilas muito pré-adensadas-----0,5 a 0

Valores experimentais de B,mostram a sua correlação com o grau de saturação do solo,da seguinte forma:

Solos compressíveis saturados-----B = 1

Solos compressíveis úmidos-----0 < B < 1

Solos secos-----B = 0

Ambos os parâmetros A e B,podem ser medidos durante o teste triaxial e podem ser definidos para as condições de ruptura ou para qualquer nível de pressões.

Os valores de A listados anteriormente se referem a valores obtidos para as condições de ruptura.

### II.3- Dissipação dos acréscimos de pressão neutra.

O processo do adensamento caracteriza-se pela expulsão da água existente nos poros de uma massa de solo devido a aplicação de um carregamento exterior qualquer.A permanência deste carregamento fará com que a água,que está suportando parte desta carga,comece a fluir e consequente-



mente haja a transferência da carga para o esqueleto sólido que compõe a massa de solo.

Este fenômeno diferencia-se basicamente da compactação, por que na compactação a diminuição de altura é devido a um carregamento dinâmico que provoca a expulsão do ar existente na massa de solo.

A teoria do adensamento, aqui abordada, só tratará da fase na qual os recalques resultantes são devido exclusivamente a expulsão da água, o que caracteriza a fase primária do adensamento. Não será estudada a fase secundária que é resultante do rearranjo das partículas sólidas na massa de solo e tem sua teoria voltada para o comportamento viscoso e de "creep" dos solos.

Teoria de Terzaghi (1923) - O processo de adensamento, dentro do seu significado qualitativo, já é conhecido desde o século XIX, porém só foi por volta de 1923 que Terzaghi em seus estudos de hidrodinâmica o descreveu e o quantificou de uma maneira racional e aceitável.

A sua teoria foi desenvolvida originalmente para um modelo de adensamento unidimensional ocasionado por um fluxo de água também em uma só direção (a vertical).

Para que houvesse possibilidade de quantificar matematicamente todo este estudo teórico, as seguintes hipóteses foram postuladas:

1-Os vazios do solo estão completamente preenchidos com água, o que equivale a dizer, que o solo está saturado.

2-A água e o constituinte sólido do solo são incompressíveis, o que equivale a dizer, que qualquer recalque existente é proveniente de uma expulsão de água.

3-A lei de Darcy é válida, ou seja, existe a proporcionalidade entre a velocidade aparente de escoamento e o gradiente hidráulico que provocou este escoamento.

4-O coeficiente de permeabilidade e o de compressibilidade, assim como o peso específico da água são constantes durante todo o processo de adensamento.

5-O tempo de adensamento é devido exclusivamente ao baixo coeficiente de adensamento do solo compressível.

6-As tensões totais são constantes durante todo o processo de adensamento, o que equivale a dizer, que na realidade o fenômeno do adensamento é um processo de transferência de pressões neutras para pressões efetivas.

7-As deformações devidas ao adensamento são pequenas, fazendo com que não hajam alterações significativas nas formas geométricas do maciço e conseqüentemente as condições de fronteira não se alterarão durante o adensamento.

Colocadas estas hipóteses, a equação diferencial do adensamento pode então ser deduzida, baseando-se no fato de que a variação do volume de água que se escoa de um elemento de solo é exatamente igual a variação do índice de vazios deste elemento. A equação final obtida foi:

$$c_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (\text{II.3-1})$$

$$\text{onde } c_v = \frac{k_v(1 + e_0)}{\gamma_a \cdot a_v} \quad (\text{II.3-2})$$

Baseando-se nesta teoria inicial, estudada por Terzaghi em 1923, muitos pesquisadores estudaram outras formas de apresentação da equação do adensamento, levando em conta situações específicas que apareciam como hipóteses no estudo de Terzaghi.

Foi assim que Moran et al (1958)<sup>8</sup> estudaram a solução da equação diferencial para o caso de solos parcialmente saturados, que contêm gases nos vazios da massa. Para este estudo porém, ele assumiu as seguintes hipóteses como verdadeiras:

- 1-O gás dos poros se comporta como um gás perfeito.
- 2-As mudanças no volume do gás são devidos a mudanças isotérmicas da pressão.
- 3-O volume de gás dissolvido na água dos poros, permanece constante durante a aplicação da carga e durante o adensamento.
- 4-A decomposição de constituintes orgânicos não altera o peso total do gás durante o período considerado.
- 5-A tensão superficial da água nos poros é negligenciável.
- 6-A pressão de vapor da água no gás livre também é negligenciável.

A equação então obtida foi:

$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha(u)} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \quad (\text{II.3-3})$$

$$\frac{1}{\alpha(u)} = 1 + \frac{(1 + e_0)(u_a + u_1)(V_{gi} + H_e.V_{ai})}{a_v(u_a + u_1 + u)^2} \quad (\text{II.3-4})$$

Outro pesquisador que se destacou, na apresentação de uma nova equação diferencial do adensamento, foi Poskitt(1969)<sup>9</sup>. Ele deduziu a equação do adensamento, considerando variáveis o coeficiente de compressibilidade (variação linear da curva  $e \times p(\log)$ ) e o coeficiente de permeabilidade (variação linear da curva  $e \times k(\log)$ ).

A equação obtida foi a seguinte:

$$\frac{\partial}{\partial X} (1 + \mu \cdot \alpha) \cdot \frac{\partial u}{\partial X} = \frac{\partial u}{\partial T} \quad (\text{II.3-5})$$

$$\text{onde} \quad \alpha = \ln(a \cdot b) + \beta \quad (\text{II.3-6})$$

$$\beta = \frac{e}{1 + e_0} \quad (\text{II.3-7})$$

$$e \quad \mu = \frac{e_0 - e}{\Delta e} \quad (\text{II.3-8})$$

Pode ser citado ainda os trabalhos de Schffimam(1958)<sup>10</sup>, que obteve soluções da equação diferencial apresentada por Terzaghi, para os seguintes casos específicos de carregamento:

1-Carregamento crescendo linearmente com o tempo e coeficiente de permeabilidade constante.

2-Carregamento função qualquer do tempo e coeficiente de permeabilidade constante.

3-Carregamento repetido harmonicamente e coeficiente de permeabilidade constante.

4-Carregamento constante com o tempo e coeficiente de permeabilidade variável.

5-Outros.

Recentemente maior ênfase está sendo dada aos fenômenos secundários do adensamento que consideram o comportamento viscoso do solo. Poskitt e Birdsal(1971)<sup>11</sup> desenvolveram uma teoria de adensamento unidimensional que considera a influência da variabilidade dos coeficientes de compressibilidade e permeabilidade do solo, grandes deformações e o efeito viscoso não Newtoniano do solo saturado.

Adensamento com fluxo radial.

Uma outra linha de pesquisa sobre o adensamento unidimensional, foi abordada após a apresentação da teoria de Terzaghi. Ela trata do adensamento devido a um fluxo de água no plano horizontal, originado pela presença de camadas de estratificação formadas por solos com elevado valor do coeficiente de permeabilidade horizontal. A equação diferencial que governará o adensamento, foi obtida, seguindo-se a mesma linha de resolução já anteriormente tratada por Terzaghi e utilizando-se como coordenada a distância horizontal medida a partir de uma vertical pré-determinada, o que caracteriza o sistema de coordenadas cilíndricas.

A equação obtida foi a seguinte:

O fluxo radial pode ser facilitado artificialmente pela escavação de poços verticais, os quais são preenchidos de areia com uma granulometria definida, e que recebem o nome de drenos. Estes drenos são os responsáveis pela captação da água que escoar no plano horizontal, acelerando desta maneira a eliminação desta água e conseqüentemente tornando mais rápido o adensamento.

De uma maneira geral o problema do adensamento com fluxo radial pode ser abordado sob dois aspectos diferentes:

1-Caso de livre deformação ("free strain") no qual se considera que a carga é uniforme sobre a zona circular de influência do dreno e que a existência de recalques diferenciais que ocorrerão durante o processo de adensamento não influenciará a distribuição de tensão original, nem a velocidade de adensamento ;

2-Caso de deformações iguais ("equal strain") em toda a região de influência do dreno.

Quando o solo que compõe o maciço possibilita uma total redistribuição de ten-

sões devido ao arqueamento, e o adensamento do solo na região de influência do dreno <sup>será</sup> constante, conseqüentemente não haverá recalque diferencial. Esta situação pode ser obtida se a plataforma de carregamento é rígida o suficiente para não permitir estes recalques. No campo este caso poderia ser utilizado se a razão entre o caminho máximo de drenagem vertical e o diâmetro de influência do dreno fosse grande.

Resultados práticos experimentais revelaram que as diferenças nas curvas da variação dos acréscimos da pressão neutra média com o tempo, quando se considera o caso de "equal strain" e "free strain" são de uma maneira geral pequenas. Afirmativa neste sentido foi expressa por Barron(1948)<sup>12</sup> que estudou vários tipos de soluções para o caso de adensamento com fluxo radial, partindo de condições de fronteira específicas. Barron também estudou e resolveu o problema originado pela perturbação causada no solo natural pela escavação e instalação de drenos verticais de areia. Este amolgamento, denominado no meio prático de "smear", foi considerado nas hipóteses feitas por Barron, como sendo constituído por um material homogêneo de espessura constante, com permeabilidade menor do que a do terreno natural e com uma compressibilidade imediata, sendo por isso considerado incompressível durante o adensamento.

Outro pesquisador que se manifestou sobre as diferenças entre os casos de "free strain" e "equal strain" foi Richart Jr.(1957)<sup>13</sup>. Ele postulou que as diferenças entre os resultados obtidos pela consideração dos dois casos, no processo de adensamento com fluxo radial, é pequena particularmente para as curvas cuja razão  $n = \frac{r_0}{r}$  é superior a 10. Para  $n=5$  as discrepâncias verificadas são grandes, principalmente para o início do adensamento, porém acima dos 50% de adensamento as curvas são praticamente idênticas. Já que os resultados são idênticos, e o tempo para a resolução do caso "free strain" é superior em cerca de 10 a 15 vezes o do caso de "equal strain", este último caso é preferível. Barron(1948)<sup>12</sup> e Kjellman(1948)<sup>14</sup>, também recomendam o uso da solução do caso de "equal strain".

O desenvolvimento das pesquisas foi continuado por Schiffman(1958)<sup>10</sup>, quando então estudou o problema do adensamento com fluxo radial para o caso de "equal strain", incluindo os casos de permeabilidade variável e tensões totais variáveis.

Segundo as hipóteses de escoamento de água nos solos, é unân-

nime a utilização da lei de Darcy, para governar o escoamento e correlacionar proporcionalmente a velocidade do fluxo com o gradiente hidráulico existente. Porém, Hansbo (1960)<sup>15</sup> questionou a validade da lei de Darcy, e propôs que a velocidade de descarga da água dos poros, fosse expressa pela equação:

$$v = k \cdot i^n \quad (\text{II.3-11})$$

onde  $n$  é um expoente maior que a unidade.

A sua solução para a equação do adensamento mostra uma característica importante: "A expressão que caracteriza o excesso de pressão neutra depende das dimensões reais da instalação de drenos". Isto equivale a dizer, que não se pode representar através de uma escala em laboratório, as condições existentes no campo do problema de adensamento com fluxo radial.

#### Equação do adensamento unidimensional para pressões totais constantes.

Uma consideração mais ampla e muito mais realista, é a de se estudar o adensamento unidimensional causado por um fluxo de água tridimensional.

Ao considerarmos o solo anisotrópico, em relação aos coeficientes de permeabilidade teríamos:

$k_x \neq k_y \neq k_z$ , sendo  $x, y$  e  $z$  os eixos coordenados triortogonais. Consequentemente, em relação aos coeficientes de adensamento teríamos:  $c_{vx} \neq c_{vy} \neq c_{vz}$ .

A equação do adensamento poderia assim ser formulada:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_{vx} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + c_{vy} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + c_{vz} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (\text{II.3-12})$$

Para um solo isotrópico, submetido a um fluxo tridimensional, a equação diferencial do adensamento seria assim escrita:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (\text{II.3-13a})$$

Ou de maneira mais compacta:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \cdot \nabla^2 u \quad (\text{II.3-13b})$$

onde  $\nabla^2$  é o operador Laplaciano.

Particularizando para o caso de isotropia somente no plano horizontal teríamos a seguinte equação diferencial:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_{vh} \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + c_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (\text{II.3-14a})$$

A equação (II.3-14a) tem um significado prático muito importante, pois representa o adensamento vertical de uma camada argilosa, cuja evolução está sendo acelerada pelo uso de drenos verticais.

Esta situação se torna mais prática e mais realista, porque além do fluxo de água vertical temos ainda um fluxo horizontal radial, que se caracteriza por possuir uma simetria em relação ao eixo central do dreno. É conveniente expressar esta simetria sob forma de coordenadas cilíndricas.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_r \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) + c_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (\text{II.3-14b})$$

As condições de fronteira que seriam aplicadas, para a solução da equação diferencial são as seguintes:

$$u = p_o \quad \text{para } t = 0 \text{ e } 0 < y < H \\ r_w < r < r_e$$

$$u = 0 \quad \text{para } y = 0 \text{ e } r = r_w \\ \text{para } y = H$$

$$\text{para } r = r_e$$

A solução final a ser obtida, seria então:

$$u = f(y, r, t) \quad (\text{II.3-15})$$

Foi mostrado por Carrillo (1942)<sup>16</sup> que a solução (II.2-15) poderia ser obtida através do produto das soluções das equações (II.3-1) e (II.3-9), cada uma das quais com as condições de fronteira que lhe dizem respeito.

Assim teremos:

$$u(y, r, t) = V(y, t) \cdot R(r, t) \quad (\text{II.3-16})$$

A equação (II.3-16) só seria válida se :

$$c_v \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = \frac{\partial V}{\partial t} \quad (\text{II.3-17a})$$

$$c_r \cdot \left( \frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial R}{\partial r} \right) = \frac{\partial R}{\partial t} \quad (\text{II.3-17b})$$

Há entretanto casos, que a separação da equação (II.3-14b) nas equações (II.3-1) (II.3-9), não pode ser efetuada com o objetivo de se obter a solução (II.3-15). Entre eles podemos citar:

- 1-Solo anisotrópico.
- 2-Solo não homogêneo.
- 3-Tensões totais variáveis durante o adensamento.
- 4-Solo com parâmetros variáveis durante o adensamento.

O primeiro caso foi citado por Carrillo (1942)<sup>16</sup> e os demais foram citados por Krizek (1972)<sup>17</sup>.

O objetivo principal do problema do adensamento unidimensional pode agora ser atingido, ou seja, de posse da solução da equação (II.3-14b) podemos determinar a qualquer tempo o grau de adensamento do maciço compressível. A equação do adensamento que foi programada, leva em consideração a variabilidade dos parâmetros do solo durante o adensamento, entre intervalos de tempo discretos,  $\Delta t$ , e também o caso de saturação parcial, na forma da equação (II.3-3).

Uma outra forma de abordar o fenômeno do adensamento é introduzir na equação diferencial a variabilidade do índice de vazios, durante o adensamento. Richart Jr. (1957)<sup>13</sup> estudou e deduziu esta nova equação do adensamento. A expressão tem a seguinte forma:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{a_v \cdot \gamma_a} \cdot \frac{1}{1+e} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial h^2} - \frac{k}{\gamma_a (1+e)^2} \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial h} \right) \quad (\text{II.3-18})$$

Na equação (II.3-18)  $e, u, t$  e  $h$  são variáveis enquanto que  $k, a_v$  e  $\gamma_a$  são considerados constantes.

A variável  $h$ , denominada de incremento de altura, é baseada na altura equivalente de volume dos sólidos para um dado volume de solo.

Considerando-se o caso de um elemento de solo de área unitária e altura  $dz$ , a respectiva altura ocupada pelos grãos será  $dh$ , desde que a seguinte relação seja satisfeita:

$$(1 + e)dh = dz \quad (\text{II.3-19})$$

Na dedução da equação (II.3-18) foram levadas em consideração as mesmas hipóteses postuladas por Terzaghi.



A variação da pressão neutra com o tempo poderá então ser escrita sob forma de uma variação do índice de vazios, através das equações:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{a_v} \cdot \frac{\partial e}{\partial t} \quad (\text{II.3-20})$$

$$\frac{\partial u}{\partial h} = \frac{1}{a_v} \cdot \frac{\partial e}{\partial t} \quad (\text{II.3-21})$$

Com isto a equação (II.3-18) poderá ser colocada sob forma de uma única variável independente, que é "e". A solução obtida, pela resolução da equação diferencial será:

$$e = f(h, t) \quad (\text{II.3-22})$$

As diferenças nas curvas do adensamento entre a teoria de Terzaghi e a modificação para incluir a variabilidade do índice de vazios, não são apreciáveis. Apenas o efeito do índice de vazios variável faz com que a sua curva respectiva se posicione um pouco mais para esquerda da curva tradicional de Terzaghi, fornecendo conseqüentemente tempos menores para um mesmo grau de adensamento.

#### II.4- Determinação dos recalques.

A aplicação de carregamentos em maciços de solos compressíveis, implica no aparecimento de deslocamentos que resultarão na diminuição de sua espessura. Estes deslocamentos, denominados, na Mecânica dos Solos, de recalques são provenientes de diversas fontes. De uma maneira geral os recalques de um maciço são compostos das seguintes parcelas:

- 1 - Recalques imediatos;
- 2 - Recalques por "creep" não drenado;
- 3 - Recalques secundários ("creep" drenado); e
- 4 - Recalques primários.

Quanto aos recalques imediatos, pode-se dizer que para o caso de solos com baixo coeficiente de adensamento eles se caracterizam por uma variação da espessura do maciço, sem que nenhuma variação de volume ocorra, e portanto ele aparece simultaneamente com a aplicação do carregamento. Mais corretamente, poderemos dizer que esta parcela de recalque, se origina de deformações cisalhantes do maciço argiloso, sob área carregada, e é mais comumente identificado como a componente do recalque devido a um escoamento lateral do subsolo. A maior parte das deformações cisalhantes ocorre durante a aplicação das cargas, daí o nome de recalques imediatos ou iniciais.

Entretanto os deslocamentos cisalhantes também ocorrerão durante o adensamento primário e secundário, complementando assim a parcela denominada de recalques imediatos (Bjerrum-1973)<sup>17</sup>

O cálculo dos recalques imediatos é baseado na teoria da elasticidade e a equação mais tradicionalmente conhecida é :

$$\rho_i = q \cdot b \cdot \frac{1-\nu^2}{E} \cdot I \quad (\text{II.4-1})$$

A equação (II.4-1) só poderá ser aplicada, se as seguintes hipóteses forem verificadas:

- 1 - Área carregada com largura finita;
- 2 - Subsolo saturado;
- 3 - Tensões cisalhantes na fase elástica;
- 4 - Carga uniformemente distribuída sobre uma fundação rígida;
- 5 - Subsolo semi-infinito, isótropo e homogêneo.

Estas hipóteses caracterizam a aplicabilidade da teoria da elasticidade à maciços terrosos.

Quanto aos recalques de "creep", pode-se dizer que eles ocorrem durante todo o tempo em que o carregamento permanecer sobre o maciço compressível. Estes recalques ocorrem sem que existam mudanças no teor de umidade do subsolo. O seu principal causador é a ocorrência do fenômeno da viscosidade estrutural nos maciços de terra, mobilizada pelo carregamento aplicado. Este tipo de deformação se inicia a partir da existência no subsolo de regiões que se encontram no estado plástico, próximas ao estado de ruptura. O atual estágio de conhecimentos no que diz respeito a definição das regiões de plastificação no subsolo, é muito complexo e ainda não está totalmente resolvido. Por este motivo, geralmente não se inclui no cálculo do recalque final de uma estrutura, a parte referente ao recalque por "creep" do subsolo.

Quanto aos recalques secundários, pode-se afirmar que eles são resultantes de um rearranjo do esqueleto sólido do maciço carregado. Sendo assim, as tensões responsáveis pelo aparecimento destes recalques são tensões efetivas, cujos acréscimos começam a aparecer no início do fenômeno do adensamento.

Sendo assim, pode-se dizer que os recalques secundários não iniciam após os

recalques primários, e sim que eles fazem parte do fenômeno real do adensamento, como sendo dois processos diferentes, porém interrelacionados com o tempo. O fenômeno do recalque secundário pode ser facilmente verificado no laboratório, no ensaio de adensamento, para carregamentos que permanecem aplicados mais de 24 horas. Nesta situação, os recalques que estarão ocorrendo, após cessado o fenômeno do adensamento primário são, sem dúvida nenhuma, uma parte do recalque secundário total devido a este carregamento.

Outro método de se mostrar o fenômeno da compressão secundária é a utilização de modelos reológicos constituídos de molas e pistões com o objetivo de caracterizar o comportamento visco-elástico dos solos. Porém estes modelos são úteis para o conhecimento do mecanismo que causa o adensamento secundário, e não para a sua quantificação. Foi verificado, para muitos solos, que a compressão secundária aumenta linearmente com o tempo na escala logarítmica, e para quantificá-lo foram usadas expressões matemáticas empíricas que acompanham este comportamento. Uma equação comumente utilizada para quantificar a compressão secundária é a seguinte:

$$\rho_{\text{sec}} = H_p \cdot C_\alpha \cdot \log(t_{\text{sec}}/t_p) \quad (\text{II.4-2})$$

Um procedimento usual no cálculo dos recalques secundários é assumir que a compressão secundária inicia quando 90% do adensamento primário está completo (Lewis et al-1975).<sup>18</sup>

Embora o fenômeno seja perfeitamente identificável, ainda nos resta muito a fazer para que consigamos compreendê-lo e quantificá-lo adequadamente.

Quanto aos recalques por compressão primária, partimos da definição de que a sua origem resulta da expulsão da água dos poros do maciço compressível devido a ação de um carregamento aplicado e mantido constante por um tempo indeterminado. O valor do recalque primário final é obtido através de parâmetros determinados no ensaio de adensamento. A fim de se negligenciar deformações laterais que possam ocorrer durante o carregamento, será adotado que o recalque vertical ocorrerá somente devido a tensões verticais. A equação que quantifica o recalque final de adensamento é a seguinte:

$$\rho_{\text{ult}} = \int_0^H \frac{a_v}{1+e_0} \cdot \Delta\sigma' \cdot dy \quad (\text{II.4-3})$$

Para os solos que exibem uma curva de compressibilidade com a reta virgem perfeitamente definida, a equação (II.4-3) pode ser substituída pela seguinte equação:

$$\rho_{ult} = \int_0^H \frac{C_c}{1+e_0} \cdot \log\left(1 + \frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right) \cdot dy \quad (\text{II.4-4})$$

Partindo-se da hipótese que a tensão total permanece constante durante o processo de adensamento, é possível se substituir o acréscimo de pressão efetiva pelo acréscimo de pressão neutra, calculada a partir dos parâmetros A e B de Skempton. Assim procedendo obteremos:

$$\rho_{ult} = \int_0^H \frac{a_v}{1+e_0} \cdot \Delta u \cdot dy \quad (\text{II.4-5})$$

ou então:

$$\rho_{ult} = \int_0^H \frac{C_c}{1+e_0} \cdot \log\left(1 + \frac{\Delta u}{\sigma'_0}\right) \cdot dy \quad (\text{II.4-6})$$

Uma outra pesquisa interessante para a determinação de recalques, foi feita por Lambe (1964)<sup>19</sup>, e que se baseia na determinação dos recalques verticais de um maciço, a partir do conhecimento do caminho de tensões totais e tensões efetivas a ser seguido no campo. O valor dos recalques é obtido através da determinação das deformações sofridas por um corpo de prova deste maciço, ensaiado em um teste de compressão triaxial no qual o caminho de tensões será o mesmo do campo. A integração destas deformações medidas no laboratório, para a geometria de campo, fornecerá os recalques verticais esperados. Algumas dificuldades são encontradas na aplicação deste método, sendo que a principal é a que se refere ao conhecimento do caminho de tensões que existirá no campo, bem como a condução do teste triaxial neste caminho de tensões especificado.

## II.5- Análise da estabilidade do conjunto aterro-subsolo.

O projeto de um aterro sobre um solo mole com baixa capacidade de carga, deve prevenir qualquer risco de ruptura por cisalhamento, já que uma ruptura seria um acidente lamentável.

A verificação da condição de estabilidade poderá ser feita através de várias maneiras.

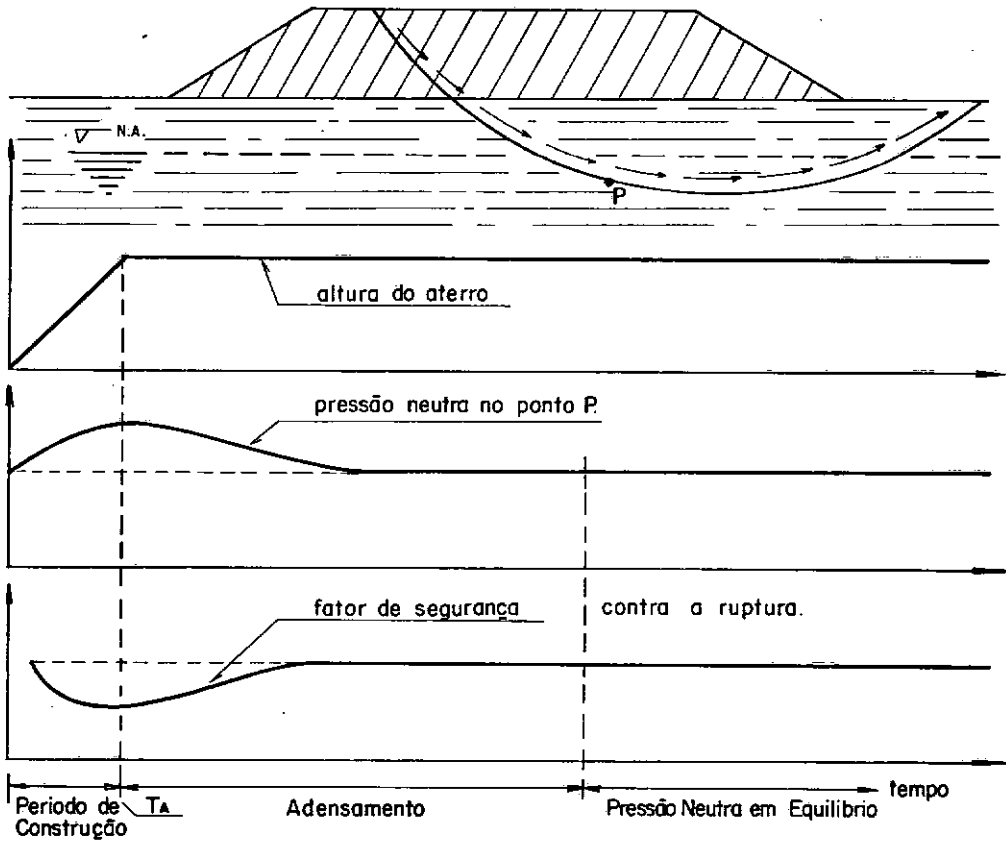


Fig.II. 5 -1 Evolução do carregamento, pressão neutra e fator de segurança com o tempo, para um aterro em argila mole. Bjerrum<sup>17</sup>

A figura (II.5-1) ilustra o problema apresentado e mostra uma das várias maneiras que ele pode ser tratado. Adota-se uma possível superfície de ruptura de forma circular, e a estabilidade do conjunto pode ser avaliada pela comparação dos momentos que tendem a produzir a ruptura, momentos atuantes, com os momentos que tendem a manter a estrutura estável, momentos resistentes. O fator de segurança <sup>geralmente</sup> atinge o seu menor valor no final da construção, ocasião esta em que está iniciando o processo de adensamento, e a resistência ao cisalhamento a ser utilizada na análise da estabilidade, corresponde a situação de menor coeficiente de segurança o que implica em dizer que esta resistência caracteriza a situação não drenada do maciço argiloso. Pelo exposto, concluímos que toda a análise da estabilidade gira em torno da utilização dos mais corretos e realísticos valores da resistência ao cisalhamento do maciço compressível. Este procedimento é importante, e são inúmeros os casos citados na literatura, nos quais os aterros construídos sobre solos moles romperam com um fator de segurança calculado pelos métodos usuais, superior a unidade.

Os métodos de determinação da estabilidade podem ser classificados segundo a teoria empregada na formulação matemática, nos seguintes

tipos:

- 1-Análise da estabilidade baseada na teoria da elasticidade.
- 2-Análise da estabilidade baseada na teoria da plasticidade.
- 3-Análise da estabilidade baseada na teoria do equilíbrio limite.

A análise da estabilidade baseada na teoria da elasticidade requer o conhecimento das seguintes grandezas (Juergenson(1934))<sup>20</sup>:

1-Tensões normais e cisalhantes que se desenvolvem no maciço e no aterro construído sobre ele.

2-Resistência do material que compõe o aterro e o subsolo, para se avaliar se ele poderá ou não resistir as tensões impostas, sem que ocorram excessivas deformações ou mesmo a ruptura. Para os casos de altos fatores de segurança nos quais as tensões cisalhantes no maciço são consideravelmente menores do que a resistência ao cisalhamento do solo, é bastante razoável se considerar o solo como um material linearmente elástico, e consequentemente aplicam a teoria da elasticidade, para analisar a sua estabilidade. Entretanto quando as tensões cisalhantes calculadas se aproximarem, ou mesmo forem maiores do que a resistência do solo, uma zona de plastificação se formará e transmitirá ao solo próximo a si, a parte da carga que ultrapassou a sua resistência. Isto sugere que nestes casos, poderá ser mais realístico determinar o fator de segurança à ruptura, utilizando-se os princípios da teoria da plasticidade.

A análise da estabilidade baseada na teoria da plasticidade leva em consideração, para a determinação das tensões no maciço no estado plano de tensões, as duas equações de equilíbrio e uma terceira equação que caracteriza a ruptura, que é a condição de ruptura de Mohr-Coulomb.

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.5-1})$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.5-2})$$

$$\left\{ \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + c \cdot \cot \phi \right\} \cdot \sin \phi - \left\{ \left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 \right\}^{1/2} = 0 \quad (\text{II.5-3})$$

Esta metodologia já empregada antigamente, possibilita a <sup>obtenção</sup> a partir das equações (II.5-1) a (II.5-3), <sup>de</sup> um sistema de duas equações diferenciais parciais, cuja solução fornecerá as tensões no maciço e consequentemente caracteriza

riam as regiões de plastificação por onde passaria a provável superfície de ruptura.

Este método de abordagem do problema da estabilidade de maciços, começa a apresentar dificuldades quando da determinação das linhas de deslizamento e da definição das fronteiras das zonas de plastificação. Por isto, atualmente, o método que utiliza os princípios da teoria do equilíbrio limite é o mais largamente aplicado.

A análise da estabilidade baseada na teoria do equilíbrio limite é baseada no equilíbrio, de um corpo livre destacado do talude, ao longo de uma possível superfície de ruptura.

A tensão de cisalhamento que é necessária para contrabalançar as forças externas atuantes, é então determinada e comparada com a resistência ao cisalhamento do solo ao longo da <sup>superfície de ruptura</sup>. O quociente entre esta resistência e a tensão cisalhante calculada é denominada de fator de segurança e o seu valor expressa a estabilidade do maciço.

Segundo Whitman and Bailey(1967)<sup>2</sup>, este método pode ser aplicado considerando-se o maciço de três maneiras diferentes:

1-O maciço é tratado como um corpo livre único. Este é o caso do método do círculo de atrito, cuja descrição é dada por Taylor(1948)<sup>3</sup>.

2-O maciço é tratado como sendo formado por uma cunha, que atua no sentido de provocar a instabilidade do conjunto. Este método é mais utilizado no cálculo da estabilidade de taludes naturais.

3-O maciço é tratado como sendo composto de um número finito de fatias, sendo que cada uma delas deve estar em equilíbrio. Este é possivelmente o método mais utilizado para a análise da estabilidade de aterros sobre solos compressíveis. Vários enfoques tem sido dados a este método sendo que o desenvolvido por Morgenstern and Price(1965)<sup>4</sup> é talvez o mais realista, já que considera superfícies de escorregamento de formas arbitrárias, nas quais as condições de equilíbrio e de fronteira, são levadas em consideração. O enfoque mais direto e objetivo do método das fatias é o apresentado por Fellenius(1927)<sup>5</sup> e mais tarde aperfeiçoado por Bishop(1955)<sup>6</sup>.

Nestes métodos o fator de segurança é obtido através do quociente entre o momento resistente e o momento atuante das forças envolvidas no problema, em relação ao centro da provável superfície de ruptura, suposta circular. Este será o método empregado no programa automático para verificar a estabilidade do conjunto aterro-subsolo. Já que a tônica do problema esta-

bilidade é a comparação entre grandezas atuantes (representada pelo peso de terra) e grandezas resistentes (representada pela resistência do solo), de imediato podemos concluir que toda a dificuldade da análise está no processo de determinação da resistência ao cisalhamento do solo.

Isto é tão verdadeiro, que se não for feita uma reprodução fiel no laboratório das condições de carregamento e drenagem a serem efetivadas no campo, o fator de segurança calculado não será uma referência satisfatória, já que o aterro poderá ou não romper, independentemente se o fator de segurança é ou não superior a unidade.

Sendo o mais importante e o mais difícil passo da análise, a determinação da tensão cisalhante ao longo da provável superfície de ruptura, é que passaremos agora a detalhar os métodos de se fazer esta determinação. As tensões cisalhantes podem ser determinadas usando-se um dos dois caminhos seguintes:

1-Análise por tensões totais.

2-Análise por tensões efetivas.

Uma análise por tensões totais requer que para a sua aplicação seja conhecida a variação da resistência do solo quando este solo for submetido a uma variação da tensão aplicada. Já a análise por tensões efetivas necessita que se conheça:

- A relação entre a resistência do solo e as tensões normais efetivas no momento da ruptura;
- As pressões neutras ao longo da superfície de ruptura; e
- A tensão total normal ao longo da superfície de ruptura.

Bishop and Bjerrum (1960)<sup>27</sup> analisaram a estabilidade de um corte vertical em um solo argiloso, imediatamente após a escavação, utilizando tanto o método por tensões totais, como o método por tensões efetivas. As suas principais conclusões foram:

- Ambos os métodos forneceram um fator de segurança unitário para a massa de solo que foi levada ao equilíbrio limite por uma mudança das tensões sob condições não drenadas.
- Embora os fatores de segurança sejam os mesmos, a posição da superfície de ruptura dependia do valor de  $\phi$  usado nas análises.

Partindo-se do princípio de que os parâmetros de resistência do solo, a serem usados nos dois métodos de análise, podem ser obtidos com suficiente precisão, pode-se afirmar que:



1- A principal vantagem do método de análises por tensão efetiva é que através das medidas de pressão neutra feitas no campo, pode-se avaliar a confiabilidade do fator de segurança, comparando-se o valor medido com os valores previstos e introduzidos nos cálculos; e

2- A principal vantagem do método de análise por tensão total, é a simplicidade do tratamento matemático e o fato de que os parâmetros necessários variam entre estreitos limites podendo, portanto, serem razoavelmente bem estimados, especialmente para os casos de projetos preliminares.

Segundo Kirby and Lambe(1972)<sup>28</sup>, as seguintes fontes de erros são reconhecidas no método de análise da estabilidade que utiliza a teoria do equilíbrio limite com superfície circular de deslizamento:

1- Utilização da superfície circular de deslizamento.

2- Em uma análise por tensão efetiva, geralmente são utilizados métodos aproximados no cálculo da tensão normal total ao longo do provável arco de deslizamento.

3- Em uma análise por tensão total, a determinação da resistência não drenada dependerá do sistema de tensão aplicado no adensamento; do sistema de tensão existente no momento de ruptura e do grau de amolgamento da amostra.

4- Em uma análise por tensão efetiva, as pressões neutras ao longo do arco de ruptura devem ser medidas ou então calculadas.

O erro devido ao uso da superfície circular de deslizamento é mais significativo quando a resistência do solo mole varia com a profundidade e quando há anisotropia importante.

No que diz respeito a exploração do subsolo e testes no laboratório, pode-se determinar três conjuntos de parâmetros de resistência ao cisalhamento que podem representar o comportamento do solo sob três diferentes condições de carregamento no campo (Bjerrum-1971)<sup>29</sup>.

1- Resistência ao cisalhamento não drenada.

Para o caso de argilas saturadas a resistência não drenada representa a máxima tensão ao cisalhamento que a argila pode suportar, quando ela for carregada sem que haja mudança do seu teor de umidade. Ela pode ser determinada por "Vane test" no campo ou então no laboratório, a partir de amostras não amolgadas utilizando-se testes de compressão não confinada, testes triaxiais, cisalhamento direto, etc.

2- Parâmetros de resistência em termos de tensões efetivas. Estes parâmetros são geralmente determinados por uma série de três ou mais testes triaxiais drenados (ou testes triaxiais adensado-não drenados com medidas de pressões neutras) efetuados sob diferentes níveis de tensão.

$$s = c' + \sigma' \cdot \operatorname{tg} \phi' \quad (\text{II.5-4})$$

Os parâmetros,  $c'$  e  $\phi'$ , possibilitam a determinação da resistência ao cisalhamento máximo nos testes efetuados.

3- Parâmetros de resistência residual em termos de pressão efetiva. Estes parâmetros podem ser determinados, por exemplo, através de testes de cisalhamento direto com sistema de reversão do sentido de deslocamento da caixa de cisalhamento. Geralmente o parâmetro  $c'_r$  é zero ou então muito pequeno o que faz com que ele possa ser ignorado na prática.

Os valores dos parâmetros de resistência, resultantes de testes de laboratório ou de campo, são normalmente determinados sob certas condições que são as vezes radicalmente diferentes daquelas que existirão no campo. Antes destes parâmetros serem introduzidos em uma análise da estabilidade é necessário aplicar certas correções que levam em consideração um número de fatores que podem influenciar a resistência no campo.

Entre estes fatores se encontram:

#### 1- Velocidade de carregamento.

Experiências têm mostrado que nas argilas, a resistência não drenada é muito sensível a velocidade de carregamento e que esta sensibilidade aumenta com o índice de plasticidade.

Por exemplo, em argilas com limite de liquidez de 100 a 150%, a resistência ao cisalhamento pode ser da ordem de 60 a 70% dos valores determinados por testes Vane convencionais que demoram cerca de 5 minutos para serem executados (Bjerrum-1971)<sup>29</sup>

#### 2- Presença de defeitos e fissuras.

Devido ao pequeno tamanho das amostras usadas em testes convencionais de laboratório e devido também ao caminho pelo qual a ruptura é obtida, o efeito das fissuras muitas vezes não está incluído nos parâmetros de resistência, resultantes de testes de laboratório. Consequentemente em problemas de estabilidade em argilas fissuradas, é necessário aplicar uma correção aos parâmetros de laboratório.

### 3- Existência de descontinuidades e heterogeneidade.

As descontinuidades em um maciço terroso representam zonas locais ou superfícies de reduzida resistência, tais como planos de estratificação ou planos antigos de escorregamentos. Neste caso, também deverá haver uma correção dos parâmetros de resistência determinados no laboratório.

### 4- Efeitos devidos a anisotropia da resistência .

É conhecido o fato de que a resistência não drenada das argilas não é constante, e sim varia com a direção ao longo da qual a argila é cisalhada. Este fator implica no conhecimento da possível superfície de ruptura e conseqüentemente um maior cuidado deve ser tomado na seleção das amostras para o ensaio.

### 5- Efeitos devido a ruptura progressiva.

Algumas argilas moles e especialmente aquelas que apresentam alta sensibilidade, possuem uma curva tensão-deformação exibindo um pico característico, seguido de uma rápida redução na resistência após a ruptura ter ocorrido.

Se uma superfície de escorregamento passa através de um maciço formado com este tipo de argila, a simultânea mobilização da resistência de pico em todos os pontos que compõe a superfície, somente é possível se a velocidade de deformação é uniforme; o que não ocorre geralmente.

A ruptura se desenvolverá progressivamente, iniciando nas zonas mais severamente tensionadas, que se encontram sobre a área carregada, e gradualmente se estendem para as zonas menos tensionadas em ambos os lados do aterro. Quando finalmente o escorregamento ocorre, a argila sob a área carregada está quase sempre sendo deformada além do pico. O efeito da ruptura progressiva pode portanto ocasionar discrepâncias na previsão do comportamento do maciço carregado (Bjerrum-1973).<sup>17</sup>

Ensaio experimentais de laboratório tem mostrado que existe uma correlação entre a pressão efetiva na amostra e sua resistência não drenada. Curvas plotadas, num gráfico semi-logarítmico, do índice de vazios versus pressão efetiva (curva de compressibilidade) e do índice de vazios versus resistência não drenada, mostraram que havia um grosseiro paralelismo entre elas, o que levava a supor que a relação entre resistência não drenada e pressão efetiva, existe e varia entre limites muito estreitos.

Skempton (1957)<sup>30</sup> verificou a existência desta razão, que poderia ser considerada constante para muitos solos, e a expressou em termos do índice de plasticidade (IP).

$$c/p \approx 0,11 + 0,0037 \cdot IP(\%) \quad (II.5-5)$$

Onde  $c$  representa a resistência não drenada do solo, cujo valor é a metade da tensão deviatória  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  na ruptura, e  $p$  representa a pressão efetiva <sup>vertical</sup> a atual existente em cada profundidade do maciço compressível.

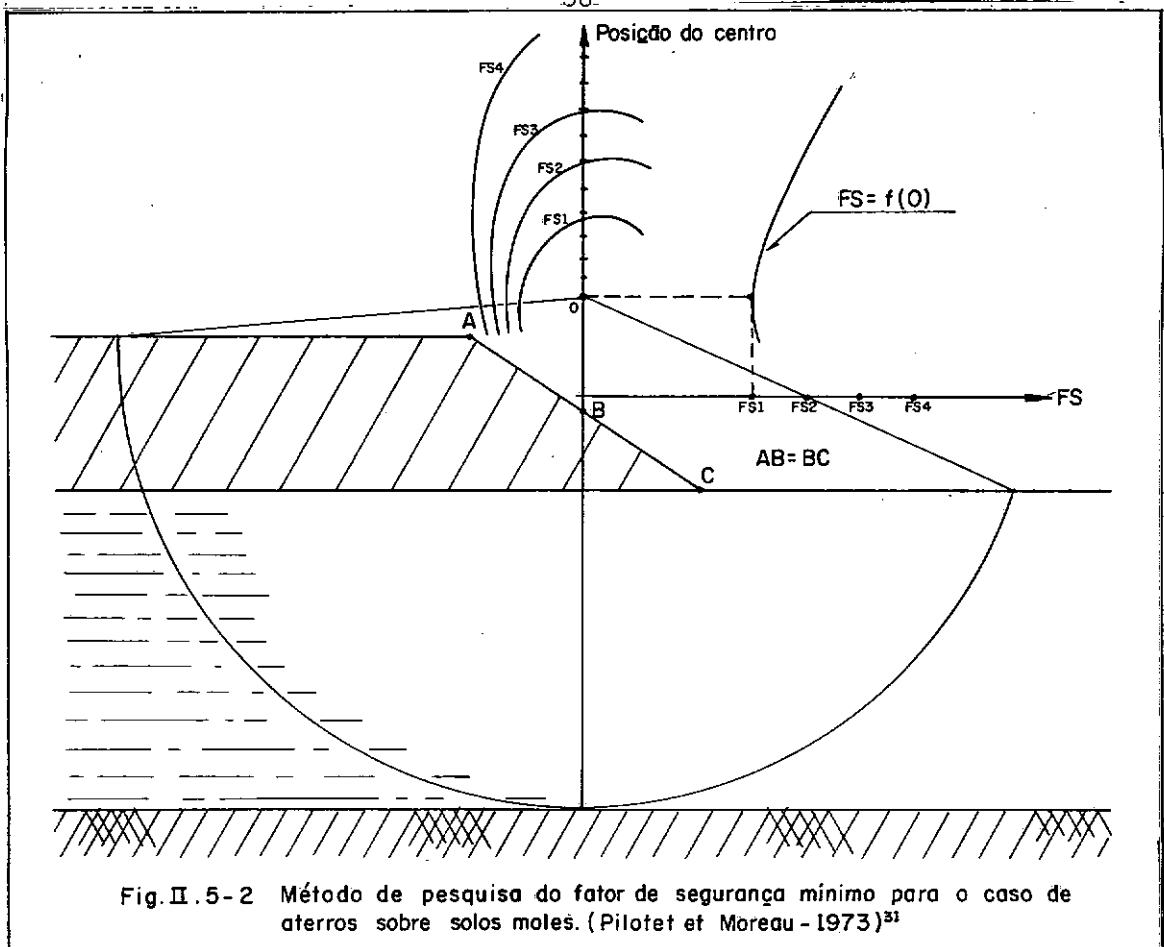
A análise da estabilidade de maciços visa a obtenção do mínimo fator de segurança, o que corresponde a superfície mais provável de deslizamentos. No entanto, as superfícies prováveis de deslizamento são arbitra das inicialmente na análise da estabilidade e a confirmação da superfície mais crítica só poderá ser feita se o seu respectivo fator de segurança for o menor de todos os fatores calculados. Isto obviamente implica na utilização de um método objetivo que conduza o mais rapidamente possível ao mínimo fator de segurança. O método teórico, que possivelmente seria o indicado pelos matemáticos seria o seguinte:

- 1- Derivar a expressão do fator de segurança, em relação as variáveis  $X, Y, C$  e  $R$ .
- 2- Igualar estas derivadas a zero.
- 3- Teríamos então três equações com três incógnitas.
- 4- A solução deste sistema de equações, nos forneceria o centro e o raio do círculo mais crítico de deslizamento.
- 5- A substituição destes valores na equação original nos forneceria o respectivo fator de segurança.

Infelizmente este procedimento é por demais complexo além de envolver o conhecimento de muitas funções que não teríamos meios de obter.

Pilot et Moreau<sup>31</sup>(1973) apresentam um método de obtenção do mínimo fator de segurança que se resume no cálculo de muitos fatores de segurança para superfícies de deslizamento, que passam obrigatoriamente pelo fundo do maciço compressível e cujos centros se encontram em uma única vertical que passa pelo ponto intermediário do talude do aterro. Com isto traçaríamos um gráfico que correlacionaria a posição dos centros dos círculos com o fator de segurança do respectivo círculo. Esta curva passaria por um mínimo, que conseqüentemente caracterizaria a superfície crítica de deslizamento. A figura II.5-2 ilustra melhor este procedimento.

Ainda neste mesmo artigo, Pilot et Moreau<sup>31</sup> citam que no caso de aterros com bermas de equilíbrio, existirá mais de um fator de segurança mínimo, o que então caracterizaria as regiões de mínimo localizado. Eles apresentam que: "Nos casos de aterros com bermas de equilíbrio (ambos não coesivos sobre um maciço puramente coesivo) existirão três regiões de fatores de segurança mínimos, correspondentes ao:



- talude do aterro principal, cujo centro que fornece o mínimo fator de segurança se encontra sobre a vertical que passa pelo ponto intermediário deste talude;

- talude da berma de equilíbrio cujo centro que fornece o mínimo fator de segurança é obtido como acima;

- talude equivalente do conjunto aterro-berma, obtido pela ligação, por uma linha imaginária, do ponto médio do talude da berma, ao ponto intermediário do talude do aterro."

A figura II.5-3 ilustra a localização das três regiões de mínimo localizado.

Como é de se notar pela figura (II.5-3), o problema da pesquisa do coeficiente de segurança mínimo para o caso de aterro com bermas de equilíbrio é sensivelmente mais complexo que para o caso de aterro sem bermás, ou seja, teremos a existência de três zonas, cada uma com um mínimo local. É óbvio que o coeficiente de segurança mínimo será o menor das três zonas existentes.

De todos os métodos de análise da estabilidade vistos anteriormente, foi utilizado no programa automático o método das fatias que se baseia na teoria do equilíbrio limite. O método usado para a avaliação das tensões cisalhantes ao longo do círculo de deslizamento, foi aquele que se

baseia na análise por tensões totais, devido principalmente às vantagens já apresentadas anteriormente. Na utilização do método das fatias, ao invés de substituir o aterro por um número finito de fatias ele é aproximado por um número finito de triângulos. O fator de segurança é obtido pelo quociente do momento resistente pelo momento atuante. O momento resistente total é obtido pela soma dos momentos devido a resistência do aterro, que se resume na coesão (CLOAD); devido a resistência do tapete drenante, que se resume no atrito interno (TGPHI), e devido a resistência não drenada do subsolo compressível. O momento atuante total é obtido a partir do peso do aterro colocado. A procura do mínimo fator de segurança é feita através do processo desenvolvido por Hooke and Jeeves (1962)<sup>32</sup> em que consiste em: "uma sequência de exames das soluções testes, envolvendo a comparação de cada solução com a melhor obtida até agora, e com uma estratégia para determinar como será a próxima solução, a partir do conhecimento dos resultados já obtidos anteriormente."

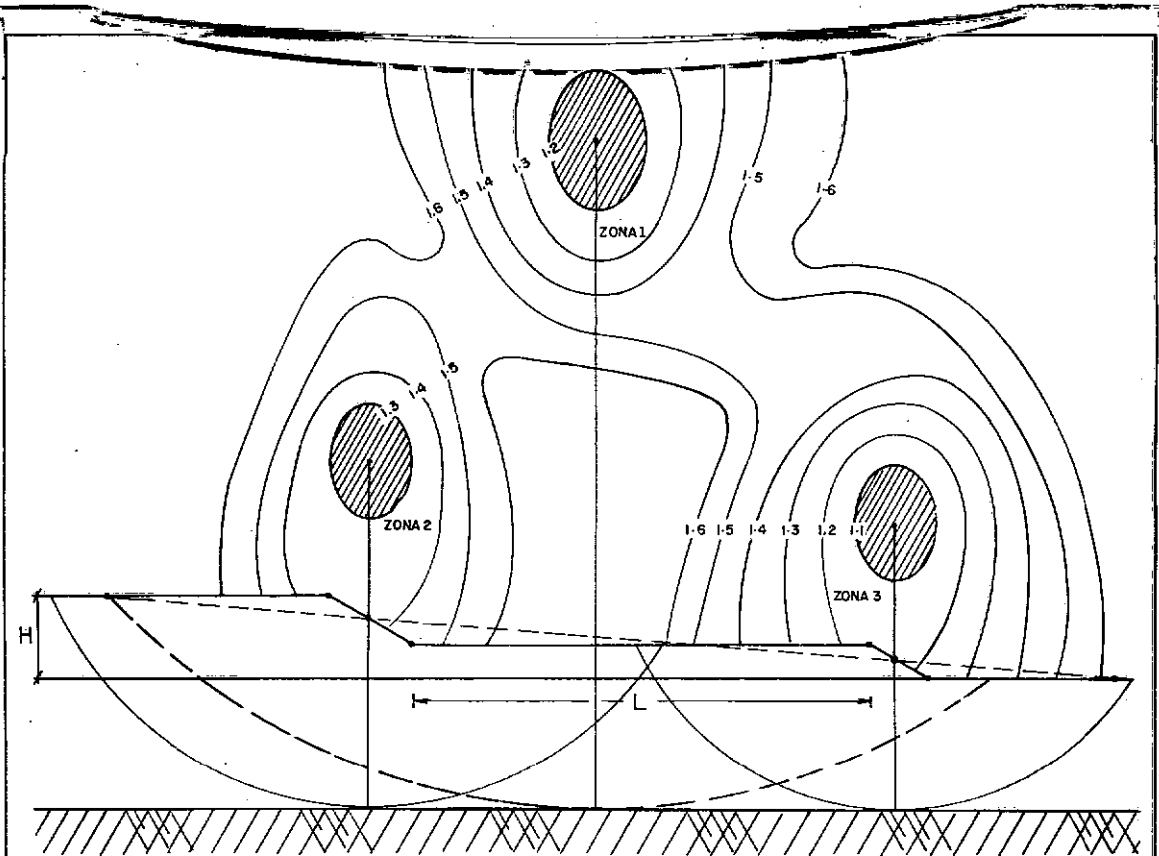


Fig.II.5-3 Aparecimento das zonas de fator de segurança mínimo localizado devido a relação  $L/H$  ser maior que 2.0 (Pilot et Moreau - 1973)<sup>31</sup>

A existência de diferentes processos para analisar a estabilidade de um aterro construído sobre um solo mole, faz com que as soluções obtidas sejam diferentes entre si. As incertezas que daí provêm, estão diretamente ligadas as hipóteses feitas para a aplicação de cada um dos processos. Além da dúvida de que tipo de análise deverá ser aplicada, a análise da estabilidade é fortemente influenciada pelos parâmetros da resistência ao cisalhamento do subsolo, que serão utilizados. O que se poderia concluir, do que foi visto, é que não existem métodos bons ou métodos ruins de análise da estabilidade, e sim métodos que poderão ou não ser aplicados, dependendo se suas hipóteses são aceitáveis para cada caso específico de comportamento no campo e os parâmetros do solo utilizados representam as condições de carregamento no campo.

## CAPÍTULO III

PROGRAMA AUTOMÁTICO PARA PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DE ATERROS CONSTRUÍDOS  
SÔBRE SOLOS MOLES.

## III.1- Introdução.

A previsão do comportamento de aterros construídos sôbre solos compressíveis, envolve a aplicação de todo o estudo teórico apresentado no capítulo anterior. Para cobrir esta ampla teoria, Krizek and Krugmann (1972)<sup>1</sup> elaboraram um sistema computacional constituído de 02 programas principais e 24 subrotinas de apoio, que são utilizadas na resolução dos cálculos matemáticos. Os programas principais foram denominados de SAND e DETR e as subrotinas receberam os seguintes nomes: APROX, COEF, DETFS, DISP, EFGEN, FUNCT, GAIN, GENER, GENS, GRAMP, INIT, INTEG, LAGR, MAMUL, MATR, MINV, MODAL, MPRD, PORE, RESTO, ROOT, SETL, STAB e VARYR.

De uma maneira geral podemos dizer que a principal diferença entre os dois programas principais, SAND e DETR, reside no fato de que o programa DETR determina a razão do dreno a ser utilizada, sem considerar as etapas de carregamento do aterro, e o programa SAND utiliza a razão do dreno determinada e leva em consideração a colocação do aterro em etapas de carga. A utilização destes programas é relativamente simples. Pela definição das características geométricas do aterro, das etapas de carregamento e dos parâmetros do maciço compressível que governam o seu adensamento, poderemos em alguns segundos, verificar as condições de estabilidade e então obter os tempos nos quais as várias etapas de carga poderão ser aplicadas para garantir um fator de segurança ou um recalque especificado.

Uma análise da sensibilidade da solução encontrada, em relação a parâmetros-chaves, ou a parâmetros cujos valores são duvidosos, pode ser efetuada sem muito esforço para cada caso específico.

A seguir serão apresentadas as atividades e a metodologia de cálculo, desenvolvida nos programas automáticos.

## III.2- Metodologia de cálculo e atividades desenvolvidas pelos programas SAND e DETR.

Tôdas as atividades que poderão ser consideradas estanques dentro da execução dos programas SAND e DETR serão aqui detalhadas. Isto fará com que a execução global, destes programas, seja entendida como um conjun-



to de pequenas atividades, facilitando assim a sua compreensão global.

### Programa principal SAND .

1- Considerações sobre a malha de pontos no maciço compressível.

A malha de pontos nodais existente no maciço compressível é constituída de abcissas e ordenadas, dentro de um sistema cartesiano. Os eixos coordenados que compõe este sistema são: o eixo de simetria vertical do aterro (ordenadas) e a linha de separação do aterro e o subsolo (abcissas).

A figura (III.2-1) ilustra a localização destes eixos, mostrando também as variáveis que neles são utilizadas.

As coordenadas que definem os pontos nodais no maciço compressível são:  $(XT, YE)$  e  $(XE, YE)$ . As ordenadas  $YE$  e as abcissas  $XE$  são sempre geradas no próprio programas e as abcissas  $XT$  podem ser geradas ou então serem especificadas pelo usuário.

No caso da ordenada  $YE$ , o método utilizado para gerar os seus valores se baseiam no conhecimento do nº de pontos nodais ( $MYE$ ), incluindo as fronteiras, que devera possuir cada vertical, e no valor da espessura do maciço compressível ( $H$ ).

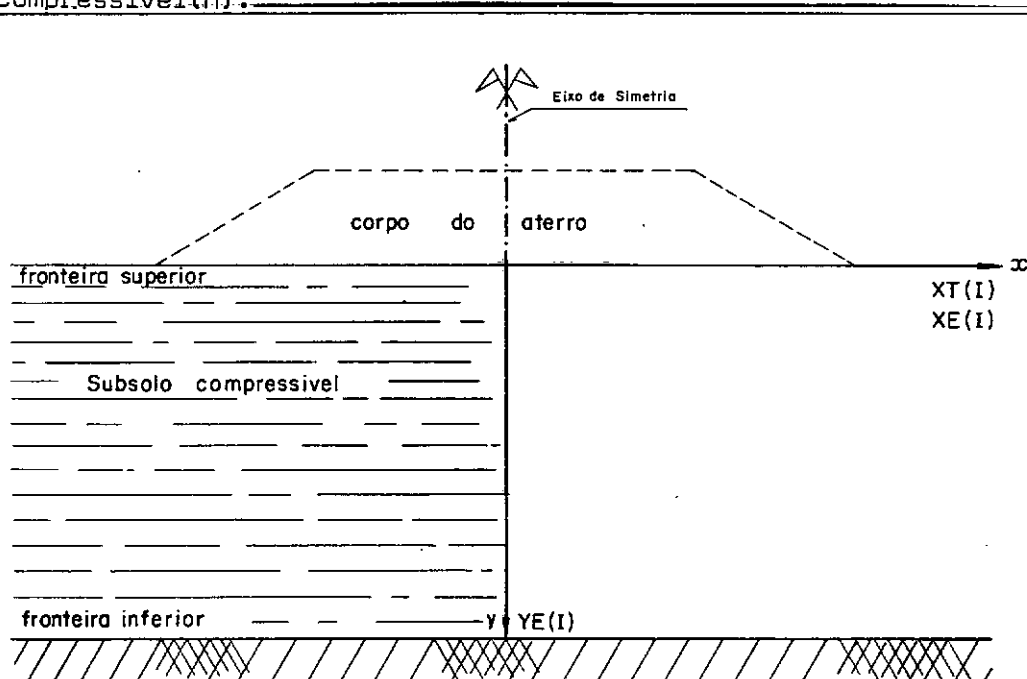


Fig. III. 2-1 Eixos coordenados da malha de pontos nodais no maciço compressível.

Operando-se  $H/(MYE-1)$  obtém-se a razão de uma progressão aritmética, cujo primeiro termo é zero e o último é  $H$ . Os termos desta progressão são as profundidades dos pontos nodais. As ordenadas  $YE$  podem então ser obtidas dividindo-se a profundidade de cada ponto nodal pela espessura  $H$ , do solo mole. Então, estas ordenadas são números adimensionais cujo valor para a fronteira superior é zero e para a fronteira inferior é 1,0. Isto significa que as ordenadas  $YE$  representam uma fração da espessura  $H$ , que foi dividida em  $(MYE-1)$  partes. Para se obter os valores de  $YE$  em metros basta multiplicá-los por  $H$ . O valor máximo previsto no programa para  $MYE$  é 11.

No caso das abcissas  $XE$ , que são também geradas no programa, os seus valores só serão determinados se a variável indicadora  $ISP$ , especificada pelo usuário, assumir o valor zero.

Existem duas abcissas diferentes;  $XE$  e  $XT$ , porque serão duas as malhas consideradas no maciço compressível. Uma delas utiliza as abcissas  $XE$ , o que corresponde a abcissas igualmente espaçadas. A outra malha usa as abcissas  $XT$ , o que corresponde a abcissas não igualmente espaçadas.

O motivo da utilização destas duas malhas, será visto nos parágrafos seguintes. Voltando ao método de determinação de  $XE$ , pode-se dizer que ele é semelhante ao já usado para  $YE$ .

O usuário especificará o  $n^\circ$  total de verticais igualmente espaçadas ( $MX$ ) e os limites  $AX$ , entre os quais ficarão as abcissas  $XE$ . Estes limites são os valores  $AX(1)$  e  $AX(NI)$ , onde  $NI$  representa o  $n^\circ$  total de limites  $AX$  que definem os  $(NI-1)$  intervalos a serem considerados na geração das abcissas  $XT$ . O valor de  $AX(1)$  representa a abscissa da vertical mais a esquerda e o valor de  $AX(NI)$  representa a abscissa mais a direita.

Estes valores de  $AX$  fixados pelo usuário, serão valores adimensionais, pois eles deverão entrar no programa divididos pelo comprimento de referência na direção  $X$ , representado por  $W$  e que o usuário geralmente o faz igual a 100 metros. Dividindo-se este intervalo total por  $(MX-1)$  obtemos a razão de uma progressão aritmética cujo primeiro termo é  $AX(1)$  e o último termo é  $AX(NI)$ . Os elementos desta progressão representarão os valores das abcissas igualmente espaçadas  $XE$ .

O  $n^\circ$  máximo de abcissas  $XE$  para o qual o programa foi dimensionado é 51. Para que as abcissas  $XT$  sejam geradas no programa, o usuário dará o valor zero para a variável indicadora  $ISP$ , como no caso da variável  $XE$ . Sempre que o programa de gerar  $XE$  ele gerará também  $XT$ . O processo de obtenção de  $XT$  se baseia na subdivisão do intervalo total, na direção  $X$ , em

(NI-1) sub-intervalos, sendo que o usuário fixará os NI limites dos (NI-1) sub-intervalos. Como já foi dito anteriormente, estes valores de AX deverão entrar no programa como valores adimensionais. Além disso precisa ser definido pelo usuário, a quantidade de abcissas XT que cada sub-intervalo conterá (MXT). A lei de formação destas abcissas segue em cada sub-intervalo um modelo cossenoidal, representado pela seguinte equação:

$$XT(I) = 1/2 \cdot \left\{ [AX(J+1) + AX(J)] + [AX(J+1) - AX(J)] \cdot \cos\left(\pi \cdot \left(2 \cdot \sum_{K=1}^{MXT} MXT(K) - (2I-1)\right) / (2 \cdot MXT(J))\right) \right\} \quad (III.2-1)$$

onde o índice I assumirá os seguintes valores em cada sub-intervalo:

$$I = \left\{ \sum_{K=1}^{J-1} MXT(J) \right\} + 1 \text{ a } \sum_{K=1}^{J-1} MXT(J) \quad (III.2-2)$$

sendo J o intervalo dentro do qual se está determinando as abcissas XT.

Os valores de XT assim gerados, representam as raízes do polinômio de Tschebyscheff, transformado para um intervalo arbitrário, J, limitado a direita pelo limite inferior do intervalo (J+1) e limitado a esquerda pelo limite inferior do intervalo J. O motivo da adoção deste polinômio, se resume na diminuição do erro, quando da obtenção dos valores do ganho de resistência, na malha com abcissas igualmente espaçadas, já que inicialmente eles foram calculados para a malha com abcissas não igualmente espaçadas, devido aos valores dos acréscimos de pressão efetiva terem sido neste tipo de malha, determinados. Como foi dito acima, a determinação dos acréscimos de pressão neutra, é feita para uma malha de pontos com abcissas não igualmente espaçadas. A adoção desta malha se justifica, porque nós poderemos concentrar abcissas XT onde bem quisermos, como por exemplo, sob a área carregada, ou mais precisamente, próximo ao eixo de simetria onde estarão as regiões do maciço compressível mais sobrecarregadas. Ora, é justamente aí que precisamos ter um maior conhecimento do comportamento do solo, então precisamos concentrar muitas abcissas XT, nestas regiões.

A utilização da malha de pontos, com abcissas igualmente espaçadas, é feita na análise da estabilidade. O motivo desta adoção, se refere ao fato de que teremos que calcular a resistência ao cisalhamento ao longo da superfície de ruptura que passa pelo solo mole. Este cálculo é efetuado dividindo-se o arco total em (2.NARC) sub-arcos, parâmetro este definido pelo

usuário. A resistência ao cisalhamento será então determinada na parte intermediária de cada sub-arco, através de duas interpolações lineares na horizontal e uma na vertical. Ora, é muito mais fácil determinar a metade do sub-arco que passa através de uma malha regular do que se a malha for irregular; e também a importância dos erros desenvolvidos nas interpolações, será menor se a malha for regular. Resta-nos agora determinar o meio mais fácil de transferir os acréscimos de pressão efetiva dos pontos nodais da malha irregular para os pontos da malha regular. Isto é conseguido devido a característica de que os pontos XT são raízes do polinômio de Tschebyscheff, como dito anteriormente, e que será visto adiante no sub-ítem 3 do ítem III.

2. No caso das abscissas XT serem fixadas pelo usuário, é necessário que a variável indicadora, ISP, seja igual a 1.

Sendo assim, fixa-se o valor de IEND (menor ou igual a 20), que representará o nº de abscissas XT a serem lidas. Os valores de XT a serem lidos, já deverão estar divididos pelo comprimento de referência na direção horizontal, W, que geralmente é feito igual a 100 metros. Estes valores portanto serão adimensionais.

As figuras (III.2-2) e (III.2-3) apresentam os dois tipos de malhas. Elas foram montadas a partir de dados pré-estabelecidos, apenas para ilustração.

2- Considerações sobre a numeração dos pontos nodais da malha existente no maciço compressível.

A identificação das características de qualquer ponto nodal é feito pelo nº do respectivo ponto. São dois os sistemas de numeração utilizados durante a programação:

- a) Sistema de numeração do usuário; e
- b) Sistema de numeração do programa.

As figuras (III.2-4) e (III.2-5) ilustram os dois sistemas de numeração, tanto para o caso de fluxo vertical como para o caso de fluxo radial. Além disso, para ambos os casos são apresentadas variações:

- fluxo radial com e sem "smear".
- fluxo vertical com drenagem nula no fundo.
- fluxo vertical com drenagem livre no fundo.
- fluxo vertical com drenagem impedida no fundo.

A drenagem impedida se diferencia da drenagem nula, devido a suas características de representar uma região com um coeficiente de permeabilidade infe-

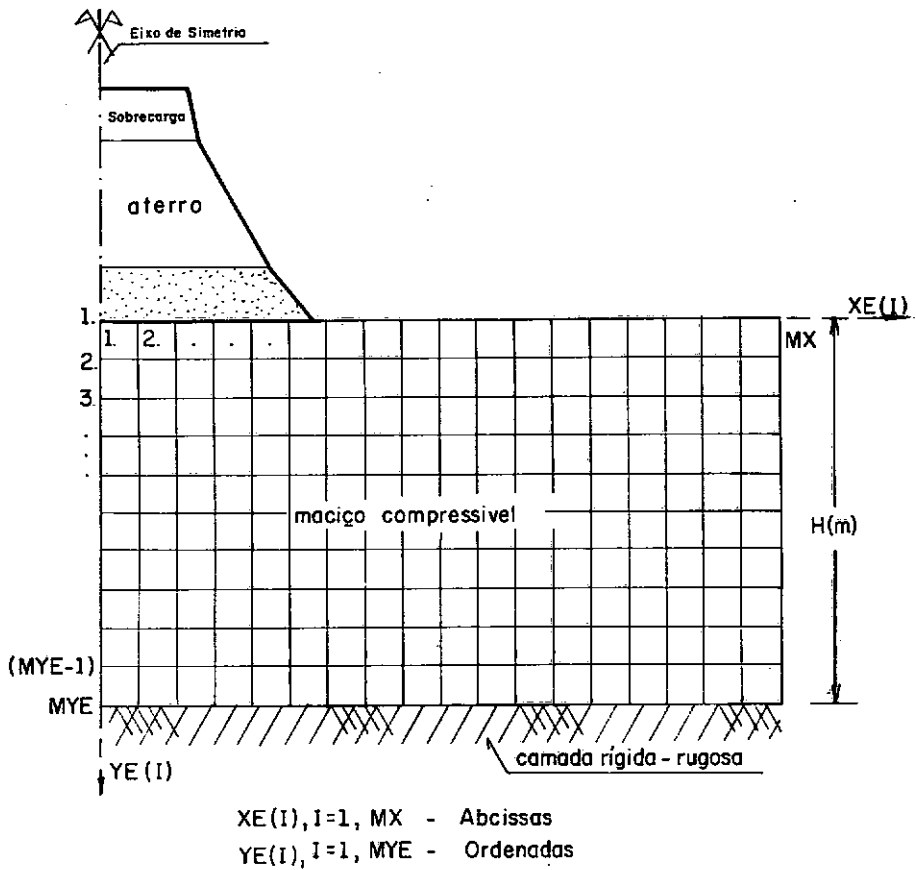


Fig. III. 2-2 Malha de pontos com abcissas igualmente espaçadas.

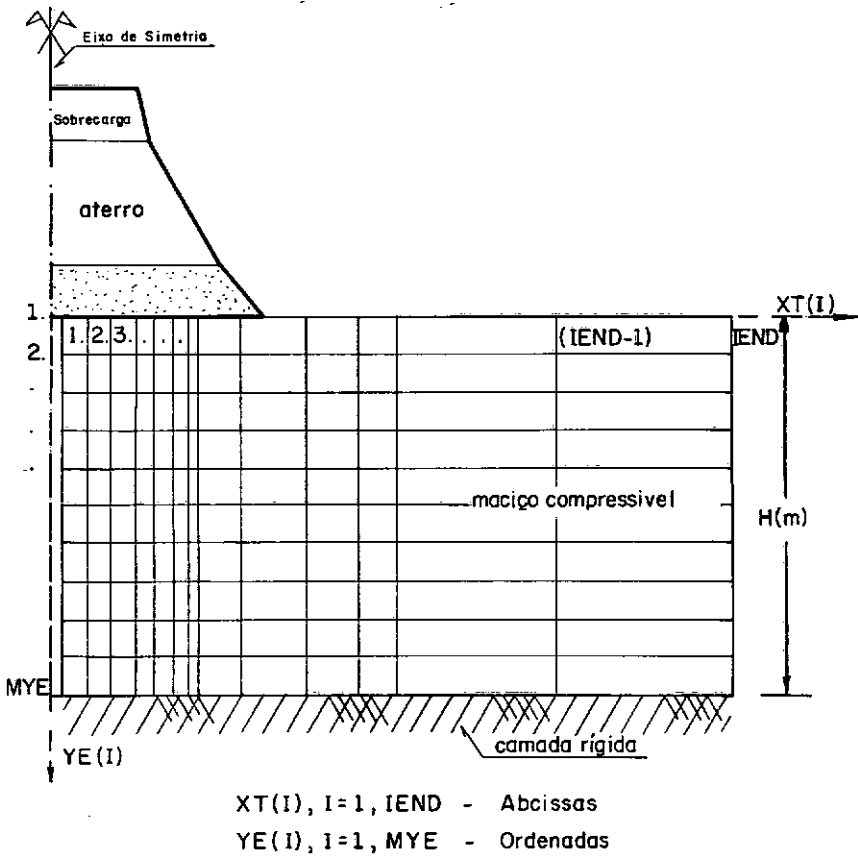


Fig. III. 2-3 Malha de pontos com abcissas não igualmente espaçadas.

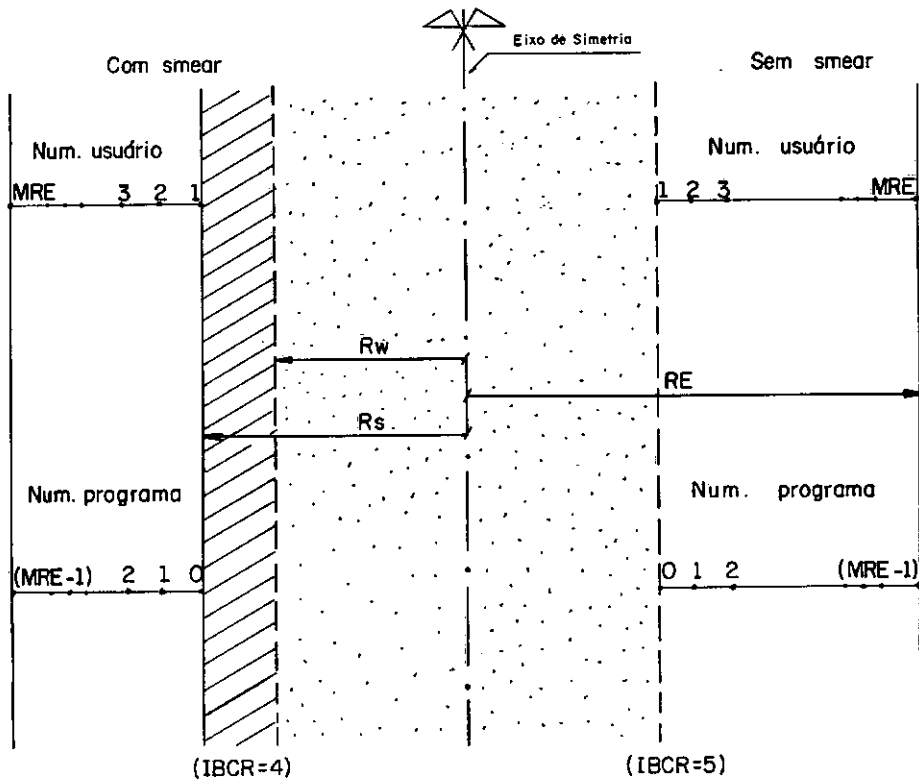


Fig. III. 2-4 Abcissas existentes na região de influência do dreno (Krizek and Krugmann-1972)<sup>1</sup>

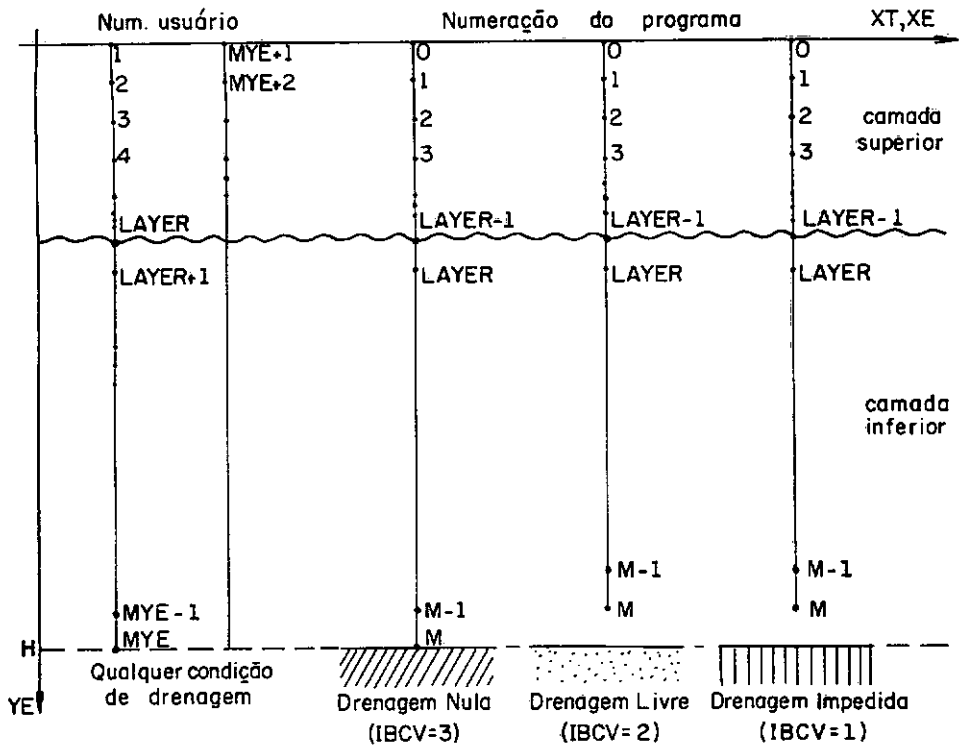


Fig. III. 2-5 Numeração dos pontos nodais da malha nas diversas condições de drenagem. (Krizek and Krugmann-1972)<sup>1</sup>

rior ao do solo.É análogo ao "smear" da drenagem radial.

A numeração apresentada na figura(III.2-4)se refere a posição das abcissas dentro da região de influência do dreno.A numeração dos pontos nodais,propriamente dita,válida tanto para as abcissas com drenagem vertical ou radial,está mostrada na figura(III.2-5).

Uma consideração a mais pode ser feita em relação a numeração do usuário.No que se refere a obtenção do n° que caracteriza qualquer ponto da malha existente no maciço compressível,só é necessário identificar os seguintes elementos:

I- N° de ordem da abcissa XT,na qual o ponto se encontra.

J- N° de ordem da ordenada YE,na qual o ponto se encontra.

MYE- N° de ordenadas YE existentes,incluindo as fronteiras.

O n° do ponto nodal pode então ser obtido:

$$N = MYE.(I-1)+J \quad (III.2-3)$$

Por exemplo,o n° que caracteriza o ponto nodal que se encontra na 3° abcissa XT e na 4° profundidade de uma malha com 11 pontos por abcissa será:

$$N = 11(3-1)+4 = 26$$

O interesse em se conhecer o n° do ponto nodal,vem da necessidade de se detectar algum erro no cálculo das tensões cartesianas no maciço,já que elas são calculadas internamente no programa com índices que caracterizam o seu respectivo ponto nodal.O conhecimento da numeração,facilitaria então,a localização do respectivo ponto.

3- Considerações sobre as matrizes XMT,XME e R.

A matriz R,gerada a partir das matrizes XMT e XME,será usada como um fator de transformação dos parâmetros calculados nos pontos nodais da malha regular(XE).É exatamente usando-se esta matriz que conseguimos transferir os acréscimos de pressão efetiva,calculados nos pontos da malha irregular,para os pontos da malha regular.Estes acréscimos serão usados no cálculo do ganho de residência,durante a análise da estabilidade.

Os elementos das matrizes XMT e XME,são obtidos a partir das abcissas XT e XE,respectivamente.

As equações(III.2-4) e (III.2-5),apresentadas abaixo,representam a fórmula geral de obtenção dos elementos das matrizes citadas.

Para a matriz XMT, temos:

$$XMT(MXT(J).(IE-IS+1)) = XT(IE)-A(J)^{MXT(J)-1} \quad (III.2-4)$$

Da mesma forma, uma equação semelhante é expressa para os elementos da matriz XME:

$$XME(MXE(J).(IE-IS+1)) = XE(IE)-A(J)^{MXE(J)-1} \quad (III.2-5)$$

Onde:

IE e IS-contadores do nº de abcissas XE ou XT.

J-sub-intervalo considerado.

A(J)-limite inferior deste sub-intervalo.

MXE(J)-nº de abcissas XE existentes neste sub-intervalo.

MXT(J)-nº de abcissas XT existentes neste sub-intervalo.

XT e XE-abcissa considerada.

Pode-se observar a partir das duas equações, que os elementos das matrizes XMT e XME correspondem a potências inteiras das diferenças entre a abcissa considerada e o limite inferior do intervalo que esta abcissa pertence.

A matriz R, resultante, é obtida a partir do produto da matriz inversa XMT pela própria matriz XME.

$$R = XMT^{-1}.XME \quad (III.2-6)$$

Para exemplificar a utilização da matriz R, consideremos o seguinte exemplo: Seja UA um vetor constituído pelo valor das pressões neutras dissipadas nos pontos que compõem a malha irregular.

Seja R, a matriz calculada como exposto anteriormente.

Podemos então determinar os valores de UA' que corresponderão aos valores das pressões neutras dissipadas nos pontos que compõem a malha regular.

$$UA' = UA.R \quad (III.2-7)$$

Todo o procedimento descrito neste item, só será executado quando o valor da variável indicadora ISP for zero. No caso de ISP=1 todos os cálculos serão executados nos pontos da malha especificada pelo usuário.

c4- Considerações sobre a determinação das pressões geostáticas efetivas.



Entende-se por pressões geostáticas, as pressões resultantes do peso próprio do solo. As pressões efetivas iniciais e as pressões de pré-adensamento, poderão ser especificadas pelo usuário, ou geradas no próprio programa. A variável indicadora que faz esta seleção é a variável GAMMA. Se GAMMA for igual a zero, significa que o usuário especificará as pressões efetivas e as pressões de pré-adensamento nos (MYE) pontos caracterizados pelas ordenadas YE. Neste caso poderá ser considerado o caso de pré-adensamento. Se GAMMA for diferente de zero, estas pressões serão geradas no programa e só será possível considerar o caso de maciço normalmente adensado. Este cálculo será feito a partir da variável GAMMA que neste caso terá como valor, o peso específico submerso do solo mole.

Para ambos os casos, são calculados os valores médios das pressões, efetivas iniciais e de pré-adensamento, que serão os valores utilizados na determinação dos parâmetros envolvidos no cálculo dos recalques do subsolo compressível.

5- Considerações sobre a saturação do maciço compressível. O maciço compressível, sob o ponto de vista de saturação, pode ser encarado sob dois aspectos diferentes. Para o caso de subsolo saturado, o parâmetro B de Skempton será feito dentro do próprio programa igual a 1. Se o solo for não saturado outras considerações serão feitas.

A variável indicadora que caracteriza a saturação é a variável ISAT, que assumirá valor zero para o caso de solo saturado e valor 1 no caso de não saturação. No caso da presença de gases nos vazios do solo, haverá pressões neutras na água e nos gases.

O usuário especificará no programa, o valor das pressões neutras nos gases (PU). Se o valor especificado for zero, internamente no próprio programa, o valor correto será calculado segundo a equação:

$$PU = PATM + GAMAGUA \cdot H/2 \quad (III.2-8)$$

onde  $PATM = 10.333 \text{ ton/m}^2$ .

$GAMAGUA = 1.0 \text{ ton/m}^3$ .

H - espessura do maciço compressível.

Caso contrário ( $PU \neq 0$ ), o valor do usuário será o utilizado nos cálculos restantes. O valor desta pressão neutra influirá no parâmetro ALPHA que é calculado pela subrotina COEF no caso de saturação parcial.

6- Considerações gerais sobre o carregamento do maciço compressível.

A aplicação de cargas no solo mole, pode ser efetuada de duas maneiras diferentes. A primeira, utilizada no programa principal DETR, considera a evolução do carregamento com o tempo; crescendo linearmente de um valor especificado no tempo zero até o valor máximo atingido no tempo  $T_A$ , permanecendo constante daí em diante. A segunda maneira é a de colocar etapas de carga e verificar a estabilidade, sendo que cada nova etapa de carga só seria aplicada se houvesse um fator de segurança satisfatório. Este procedimento é o executado pelo programa principal SAND, que procura atingir a cota final do aterro, através da colocação de sucessivas etapas de carga, especificadas pelo usuário. Em ambos os programas a carga final a ser atingida é denominada de carga de referência.

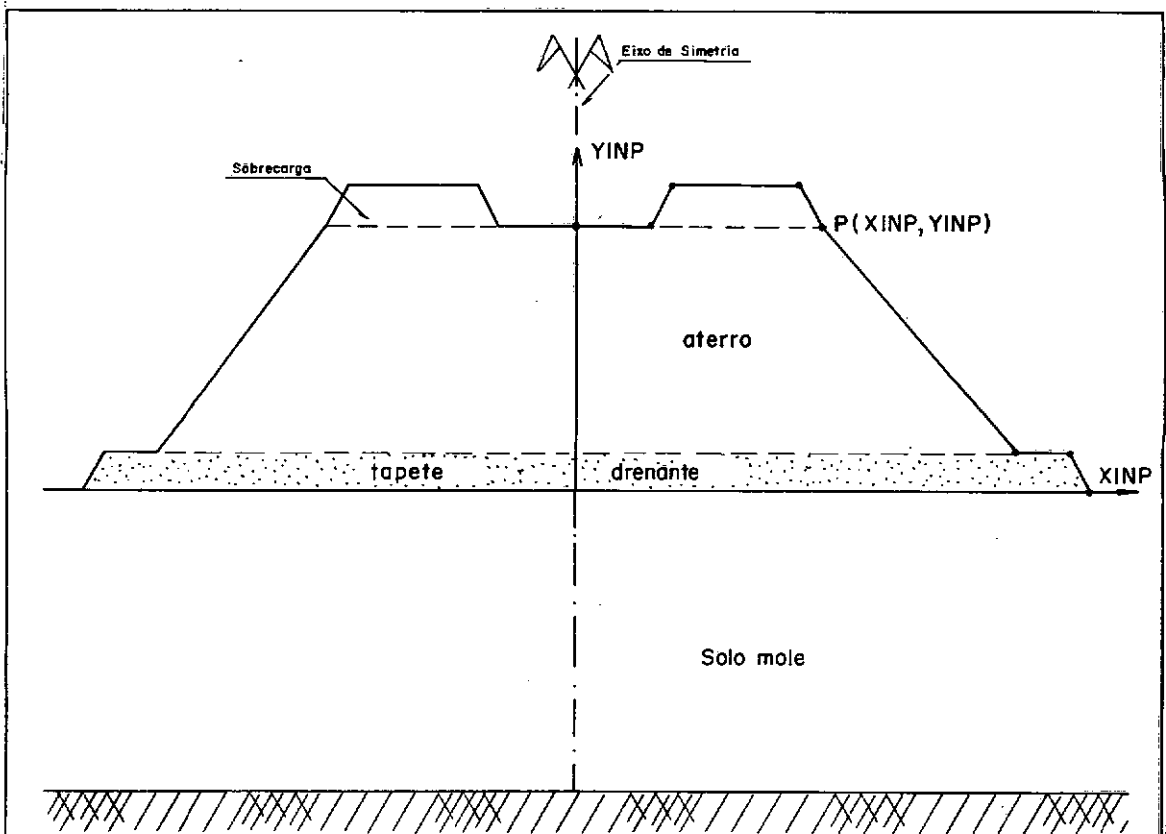


Fig. III.2-6 Forma mais geral do aterro sobre o solo compressível.

A figura(III.2-6)ilustra a forma mais geral que o aterro pode ser considerado,inclusive com uma possível colocação de sobrecarga.O programa só analisa aterros simétricos.

7- Considerações sobre o cálculo dos excessos de pressões neutras,instalados no maciço.

A determinação dos acréscimos de pressão neutra na malha de pontos nodais do maciço compressível só é possível,a partir do conhecimento dos parâmetros de pressão neutra de Skempton,A e B e do estado de tensão nos respectivos pontos nodais.A equação(II".2-7)citada anteriormente,foi a programada para fornecer os citados acréscimos de pressão.Os parâmetros de Skempton são especificados pelo usuário e as equações(II.1-25) a (II.1-27)fornecem os acréscimos de tensões cartesianas em cada ponto nodal.Estes acréscimos,possibilitarão,através da equação(II.2-8),a determinação dos acréscimos de ~~tensões~~ principais.Com isto,pode ser facilmente determinado no programa o valor dos acréscimos de pressão neutra em cada ponto nodal.

Nas equações de cálculo dos acréscimos das tensões cartesianas,as integrais com limite "a" e infinito,foram resolvidas diretamente através das fórmulas de integrais definidas,enquanto que as integrais com limites 0(zero) e "a" foram avaliadas numericamente pela utilização da regra de Simpson ou da fórmula de Filon,conforme a abcissa do ponto nodal fosse menor ou maior que duas vezes a espessura do maciço compressível. Este parâmetro de seleção se acha incluído na subrotina PORE,sob o nome de BRAN=2.O limite "a" das integrais das tensões foi estipulado ser "a"=12 de pois de um estudo,sobre os erros máximos relativos devido as seguintes aproximações:

$$\cosh\theta \approx \sinh\theta \approx 1/2.e^{\theta} \quad (\text{III.2-9})$$

$$e \quad \cosh 2\theta + \theta^2 \approx 1/4.e^{2\theta} \quad (\text{III.2-10}).$$

feitas durante a integração numérica.

8- Considerações sobre a dissipação dos acréscimos de pressões neutras no maciço.

O adensamento da camada compressível será considerado unidimensional,produzido por um fluxo de água tridimensional.A equação diferencial que governará a dissipação dos acréscimos de pressão neutra,leva em consideração a saturação parcial do solo compressível e parâmetros do adensamento variáveis com o tempo.

$$\alpha(u) \cdot \frac{k_v(1+e_0)}{\gamma_a \cdot a_v} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{k_r(1+e_0)}{\gamma_a \cdot a_v} \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (\text{III.2-11})$$

onde  $\alpha(u)$  é o fator de gás, que caracteriza a saturação parcial.

$$\frac{1}{\alpha(u)} = \frac{e_0}{a_v} \cdot \frac{p_u}{(p_u + u)^2} \cdot (1 - S_0 + H_e \cdot S_0) + 1 \quad (\text{III.2-12})$$

Tendo em vista a não linearidade da equação diferencial de 2ª ordem, imposta pela consideração de saturação parcial, um maior e mais complexo trabalho computacional deverá ser dispendido na sua solução.

Para evitar este aumento de trabalho e fugir da complexidade do problema, foi admitido que tanto o parâmetro de saturação parcial,  $\alpha(u)$  como os parâmetros de adensamento, serão considerados constantes dentro de intervalos discretos de tempo  $\Delta t$  e somente variarão de um tempo para outro. Observe na equação (III.2-12) que no caso de saturação total o valor de  $\alpha(u)$  será 1, e conseqüentemente a equação (III.2-11) se reduzirá a sua forma linear tradicional. Devido a consideração de que os parâmetros do solo serão constantes em intervalos discretos de tempo, a equação diferencial do adensamento, que foi programada, tem a forma:

$$\alpha(T) \left\{ c_v(T) \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + c_r(T) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) \right\} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (\text{III.2-13})$$

onde  $\alpha(T)$ ,  $c_v(T)$  e  $c_r(T)$  são constantes num intervalo de tempo  $\Delta t$  e são utilizados no cálculo de acréscimo de pressão neutra no tempo  $(T + \Delta t)$ .

A solução da equação diferencial (III.2-13) foi obtida considerando-se separadamente o adensamento devido ao fluxo de água radial e vertical.

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \alpha(T) \cdot c_r(T) \cdot \left( \frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial R}{\partial r} \right) \quad (\text{III.2-14})$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \alpha(T) \cdot c_v(T) \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \quad (\text{III.2-15})$$

onde  $\alpha(T)$ , está definido na equação (III.2-12) e os coeficientes de adensamento são representados pelas seguintes equações:

$$c_v(T) = \frac{k_v(T) \cdot (1+e_0)}{a_v(T) \cdot \gamma_a} \quad (\text{III.2-16})$$

$$c_r(T) = \frac{k_r(T) \cdot (1+e_0)}{a_v(T) \cdot \gamma_a} \quad (\text{III.2-17})$$

Ao invés de se resolver a equação(III.2-14)na forma apresentada,foi feita uma transformação da coordenada "r" pelo seu valor equivalente de " $\sqrt{r}$  ",com o único objetivo de facilitar a obtenção da solução.

Na equação diferencial(III.2-15),nenhuma mudança das coordenadas foi necessária.

As soluções,para uma malha de pontos nodais no maciço compressível,foram obtidas tratando-se ambas as equações do adensamento,como um problema de auto valor.Esta técnica descrita a seguir,consiste no seguinte:partindo-se da expansão de Taylor da solução para cada ponto da malha existente no maciço compressível,em função da solução num ponto "i"genérico poderemos exprimir as derivadas parciais de primeira e segunda ordem da solução neste ponto "i",através de aproximações por diferenças finitas,tanto na direção vertical como na direção radial,Estas aproximações exprimem as derivadas parciais da solução num ponto "i"genérico,em função dos próprios valores da função solução,no ponto anterior e posterior na direção considerada.A substituição destas aproximações nas equações diferenciais nos permite escrever,para cada ponto da malha,uma equação que fornecerá a solução para este ponto,em função das soluções nos pontos que o rodeiam,na direção radial e vertical.

Teremos então um n° de equações igual ao n° total de pontos nodais,e conseqüentemente igual ao n° de incógnitas.Estas incógnitas são exatamente os valores dos acréscimos das pressões neutras,ainda existentes neste tempo,em cada ponto da malha.Aí então é que entra o método de solução deste sistema de equações.Tratando-se este sistema como um problema de autovalor,consequimos através do cálculo matricial obter as soluções desejadas.O sistema de equações é reescrito sob forma de um produto da matriz das incógnitas pela matriz dos coeficientes.Assumindo-se que a solução tem uma forma exponencial,a sua substituição no sistema de equações deve satisfazer a igualdade.Aplicando-se agora a condição para que o sistema tenha solução não-trivial(valores não nulos das incógnitas),que significa que o determinante dos coeficientes das incógnitas deverá ser nulo,teremos caracterizado o problema de auto-valor da matriz destes coeficientes.A solução deste problema,consiste na obtenção da equação característica desta matriz e no cálculo das respectivas raízes desta equação,que serão denominadas de

auto-valores da matriz. Partindo-se destes auto-valores, são determinados os seus respectivos auto-vetores que serão utilizados para exprimir as soluções individuais do sistema de equações. Finalmente a matriz das incógnitas é então determinada pela superposição destas soluções individuais, que possuem uma forma exponencial. Os coeficientes desta equação exponencial são exatamente os auto-valores e os auto-vetores já obtidos anteriormente.

Todo este procedimento, se aplica na obtenção das soluções das equações diferenciais para somente fluxo radial e somente fluxo vertical. A solução final, para fluxo de água tridimensional é obtida pelo produto das soluções parciais, como já foi indicado na equação (II.3-16).

Já que os acréscimos de pressões neutras ainda existentes, são calculados em pontos discretos quando a solução da equação diferencial é obtida pelo método do auto-valor, é necessário determinar a pressão neutra média com a profundidade, a partir de uma avaliação numérica das integrais que definem esta variação. Para o caso de drenagem radial a equação que define a pressão neutra média é a seguinte:

$$R_{\text{médio}} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_{r_0}^{r_e} R \cdot r \cdot dr \cdot d\beta}{\int_0^{2\pi} \int_{r_0}^{r_e} r \cdot dr \cdot d\beta} = \frac{2}{(r_e^2 - r_0^2)} \cdot r_0 \int_{r_0}^{r_e} R \cdot r \cdot dr \quad (\text{III.2-18})$$

Para o caso de drenagem vertical, a equação do excesso de pressão neutra média, pode assim ser escrita:

$$V_{\text{médio}} = \frac{\int_0^H V \cdot dy}{\int_0^H dy} = \frac{1}{H} \cdot \int_0^H V \cdot dy \quad (\text{III.2-19})$$

A avaliação numérica das integrais é feita pela regra do trapézio e pela regra de Simpson, conforme o nº de pontos na direção radial (MRE) ou na direção vertical (MYE) seja par ou ímpar.

Com o objetivo de facilitar a compreensão do método de consideração da carga e dos parâmetros do solo variáveis, foram especificados no processo de adensamento, três tempos com referências distintas.

a)  $T_{LK}$ . É definido como sendo o tempo de aplicação da K-ésima etapa de carregamento. O referencial deste tempo é o início de construção do aterro. b)  $T_{B1}$ . É definido como sendo o tempo contado a partir da aplicação da K-ésima carga, até a (K+1)-ésima carga. O referencial deste tempo é  $T_{LK}$ .

São exatamente nestes tempos que a dissipação dos acréscimos de pressões neutras serão determinados .

Os valores assumidos no programa para os tempos  $T_{B1}$  se encontram na declaração DATA no início dos programas principais SAND e DETR.

c)  $T_i$ . É definido como sendo os tempos nos quais os parâmetros do solo variáveis são recalculados .O referencial deste tempo é o início da construção do aterro.O que caracteriza este tempo é que ele em qual quer etapa de carregamento,nos fornece o tempo total já passado desde o início da construção do aterro até este exato momento.

$$T_i = T_{LK} + T_{B1} \quad (III.2-20)$$

A partir das definições dos diversos tempos a equação (III.2-20)apresenta a correlação entre eles.

Além destes tempos,também foi definido o tempo  $T_A$ ,que se diferencia dos outros por ser constante durante t $\hat{o}$ da a execução do programa. Ele nos fornece o tempo decorrido desde o início da construção até o momento em que o aterro está pronto.Uma outra denominação auto-explicativa para este tempo seria "tempo avaliado de construção do aterro".

O processo de adensamento depende das condições de drenagem nas fronteiras do domínio de solução.

As condições de drenagem foram levadas em consideração no programa,através da variável indicadora IBC,que passa a ser denominada de IBCV para o caso de drenagem vertical e de IBCR para o caso de drenagem radial,

Quando da consideração da drenagem vertical,existem três opções,relacionadas à drenagem na fronteira inferior do maciço,que poderão ser utilizadas no dimensionamento de aterros s $\hat{o}$ bre solos compressíveis(ver figura III.2-5).

-Drenagem impedida na fronteira inferior do maciço compressível.Este caso é caracterizado por  $IBCV=1$ .A denominação "impedida",significa que existe,entre o solo mole e a camada rígida e rugosa de apoio,uma camada do mesmo solo mole por $\acute{e}$ m com um coeficiente de permeabilidade inferior.Esta diminuição da permeabilidade caracteriza uma espécie de "smear" na direção vertical.

-Drenagem livre na fronteira inferior da camada compressível. Este caso é caracterizado por  $IBCV=2$ .É o caso de solo compressível com duas faces de drenagem na direção vertical.

-Drenagem nula na fronteira inferior do maciço compressível. Este caso é caracterizado por  $IBCV=3$  e corresponde a existência de apenas uma face de drenagem na direção vertical. Ainda com respeito a drenagem vertical, podemos dizer que, devido ao aterro ser construído sobre um tapete drenante, a drenagem na fronteira superior da camada mole é sempre assegurada.

Quando da consideração da drenagem radial, existem duas opções, relacionadas à drenagem na fronteira anterior (periferia do poço drenante), que poderão ser utilizadas no tratamento de um maciço compressível (ver figura III.2-4).

-Drenagem impedida na periferia do poço drenante.

Este caso é caracterizado por  $IBCR=4$ . Isto nada mais é, do que a consideração da existência de "smear" na fronteira do dreno. Esta região teve como origem o amolgamento do solo mole, devido ao método de instalação dos drenos verticais de areia. A região com "smear" possui um coeficiente de permeabilidade inferior ao do solo mole, o que dificulta a drenagem nesta fronteira.

-Drenagem livre na periferia do poço drenante.

Este caso é caracterizado por  $IBCR=5$ .

Ainda com respeito a drenagem radial, pode-se dizer que, devido a consideração de uma região de influência para cada dreno, a fronteira posterior (periferia da região de influência) será considerada sempre com drenagem nula. A instalação da rede de drenos sob o aterro, considerada no programa, segue um modelo triangular regular, na qual a área de influência no plano horizontal de cada dreno é limitada por um hexágono regular. Devido a dificuldade de estipular as condições de contorno para este tipo de área de influência, foi adotado para substituí-la, uma fronteira circular cuja área por ela limitada é equivalente a área do hexágono.

O processo de adensamento nos fornece a cada tempo o grau de adensamento do solo. Como a aplicação da carga total não é feita de uma só vez e sim em etapas de carga, é necessário que se apresente como o grau de adensamento é calculado a cada tempo. Denominando-se de  $u_0$  a média dos acréscimos de pressões neutras devido a carga final do aterro, e de "f" a fração desta carga final que neste momento está aplicada, a percentagem de adensamento atual é obtida através do conhecimento do acréscimo médio das pressões neutras existentes neste tempo (u), segundo a equação abaixo:

$$U\% = f - \frac{u}{u_0} \quad (III.2-21)$$



Observe que a equação (III.2-21) não corresponde a definição precisa de percentagem de adensamento, já que correlaciona pressões neutras devido a dois carregamentos diferentes. Isto significa que a percentagem de adensamento em uma determinada etapa de carga, nunca ultrapassará o valor "f" expresso em percentagem. Um esclarecimento deve aqui ser feito. Uma etapa de carga intermediária, é considerada ser formada pela carga da etapa anterior, mais o acréscimo de carga colocado, e não como se poderia pensar, que cada etapa de carga seria somente o acréscimo de carga colocado.

#### 9- Considerações sobre o cálculo dos recalques.

A equação programada na subrotina SETL, nos fornecerá os recalques, somente levando em consideração o conhecimento das curvas de compressibilidade do solo, que são  $\exp(\log)$  e  $\exp(\text{aritm})$ . Isto significa que nem recalques imediatos, nem recalques secundários, foram considerados separadamente. O cálculo dos recalques por adensamento leva em consideração a variabilidade do coeficiente de compressibilidade ( $a_v$ ) durante o adensamento e a existência de no máximo duas camadas de estratificação compondo o subsolo compressível. Além disto, a consideração do estado de adensamento do solo também é feita no cálculo dos parâmetros envolvidos na equação do recalque. A equação estudada foi a seguinte:

$$\rho(t) = \int_0^H \frac{a_v(t)}{(1+e_0)} \cdot u_d(y,t) \cdot dy \quad (\text{III.2-22})$$

onde  $u_d(y,t)$  é a pressão neutra já dissipada neste tempo, que é considerada igual ao acréscimo de pressão efetiva, responsável pelos recalques.

No caso de estratificação do maciço compressível, onde as duas camadas possuem diferentes coeficientes de compressibilidade, e diferentes índices de vazios iniciais, a equação dos recalques passa a ser:

$$\rho(t) = \int_0^{H_s} \frac{a_{vs}(t)}{(1+e_{0s})} \cdot u_d(y,t) \cdot dy + \int_{H_s}^{H_i} \frac{a_{vi}(t)}{(1+e_{0i})} \cdot u_d(y,t) \cdot dy \quad (\text{III.2-23})$$

onde os subscritos "s" e "i" se referem aos parâmetros da camada superior e inferior, respectivamente.

As integrais da equação (III.2-23) são avaliadas numericamente pela regra do trapézio ou de Simpson, conforme seja ímpar ou par o nº de pontos nodais existentes em cada camada de estratificação. Esta equação é que foi programa-

da, por ser a mais geral.

A forma de programação desta equação foi a seguinte:

$$p(t) = FUP \cdot \sum_{I=1}^K \{SVM(I) \cdot G(I)\} + FLO \cdot \sum_{J=K}^{MYE} \{SVM(J) \cdot G(J)\} \quad (III.2-24)$$

- onde
- FUP - fator que contém os parâmetros do solo envolvidos no cálculo dos recalques, para a camada superior.
  - FLO - semelhante ao fator anterior, para a camada inferior.
  - SVM - constantes matemáticas usadas nas fórmulas de integração numérica, de Simpson e do trapézio.
  - K - nº de pontos nodais existentes na camada superior, para cada vertical XT.
  - MYE - nº total de pontos nodais em cada vertical XT da malha existente no maciço compressível.
  - G - parâmetro que contém as pressões neutras dissipadas.

O quadro(III.2-1), explica de maneira sucinta, os possíveis valores dos parâmetros FUP, FLO e G, utilizados na equação do recalque.

O parâmetro F, existente neste quadro é definido como sendo o inverso do parâmetro "B" de Skempton.

A notação utilizada no programa e que está incluída no quadro(III.2-1) é a seguinte:

- H.YE(K) - espessura da camada superior de estratificação.
- UD(I) - pressão neutra dissipada no I-ésimo ponto nodal.
- P(I) - pressão geostática efetiva, devido ao peso próprio do solo.
- PC(I) - pressão de pré-adensamento.
- RAV - razão entre os coeficientes de compressibilidade da camada inferior e superior.
- REO - razão entre os índices de vazios da camada inferior e superior.
- RCC - razão entre os índices de compressão da camada inferior e superior.
- ROCL - razão entre o índice de recompressão da camada inferior e o índice de compressão da camada superior.
- ROC - razão entre o índice de recompressão da camada superior e o índice de compressão da própria camada superior.

Relação	Camada Única FUP	Dupla Camada		Parâmetro G
		FUP	FLO	
$q \times q'_v$ (aritm)  Linear  (Coeficiente de Compressibilidade Constante)	$H \cdot \frac{q_v}{1 + q_o}$	$H \cdot YE(K) \cdot \frac{q_v}{1 + q_o}$	$H \cdot [1 - YE(K)] \cdot \frac{RAV \cdot q_v}{1 + REO \cdot q_o}$	$F \cdot UD(I)$
$q \times q'_v$ (log)  Linear ou Bilinear  (Coeficiente de Compressibilidade Variável)	$H \cdot \frac{0,4343 \cdot Cc}{1 + q_o}$	$H \cdot YE(K) \cdot \frac{0,4343 \cdot Cc}{1 + q_o}$	$H \cdot [1 - YE(K)] \cdot \frac{0,4343 \cdot RCC \cdot Cc}{1 + REO \cdot q_o}$	Se $P(I) + F \cdot UD(I) > PC(I)$ $\rho_n \frac{P(I) + F \cdot UD(I)}{P(I)} +$ $+ R \cdot \rho_n \frac{PC(I)}{P(I)}$ Se $P(I) + F \cdot UD(I) \leq PC(I)$ $\rho_n \frac{P(I) + F \cdot UD(I)}{P(I)}$

OBS: 1 - No caso de uma única camada o valor de FLO é zero.

2 - Para solos normalmente adensados  $PC(I) = P(I)$ .

3 - Valores de R: a)  $R = 0$  - para o caso de solos normalmente adensados.

b)  $R = ROC$  - para a camada superior no caso de dupla camada.

c)  $R = ROCL/RCC$  - para a camada inferior no caso de dupla camada.

No caso de saturação parcial do subsolo, devido a compressibilidade dos gases existentes na massa, existirá um recalque denominado de SETI, que será calculado pelo programa. Utilizando-se o parâmetro "F" encontrado no quadro (III.2-1), conseguimos determinar o valor deste recalque. A partir do conhecimento das pressões neutras dissipadas, acionamos a subrotina SETL e determinamos os recalques utilizando o parâmetro "F" no lugar do parâmetro "B". A seguir acionamos novamente a mesma subrotina, só que agora utilizaremos o parâmetro  $B=1$ . A diferença entre os valores dos recalques determinados no primeiro e no segundo acionamento da subrotina SETL, nos fornecerá o valor dos recalques devidos a compressibilidade dos gases nos vazios dos solos.

10- Considerações sobre a análise da estabilidade do conjunto aterro-subsolo.

A construção de um aterro sobre um solo compressível e de baixa capacidade de carga, faz com que seja necessário a verificação da sua estabilidade no início, durante e após ao processo de adensamento. Como foi citado no item (II.5), usualmente a condição de segurança mais desfavorável é aquela correspondente ao tempo do final de construção do aterro.

A análise da estabilidade que foi programada, é do tipo  $\phi=0$  que utiliza resistências ao cisalhamento não drenadas. Foi utilizado o método de Bishop, na sua versão modificada, para avaliar o fator de segurança.

Assim sendo, o cálculo do coeficiente de segurança envolverá o conhecimento das seguintes características do carregamento:

GLOAD - peso específico natural do aterro, considerado o mesmo para o tapete drenante.

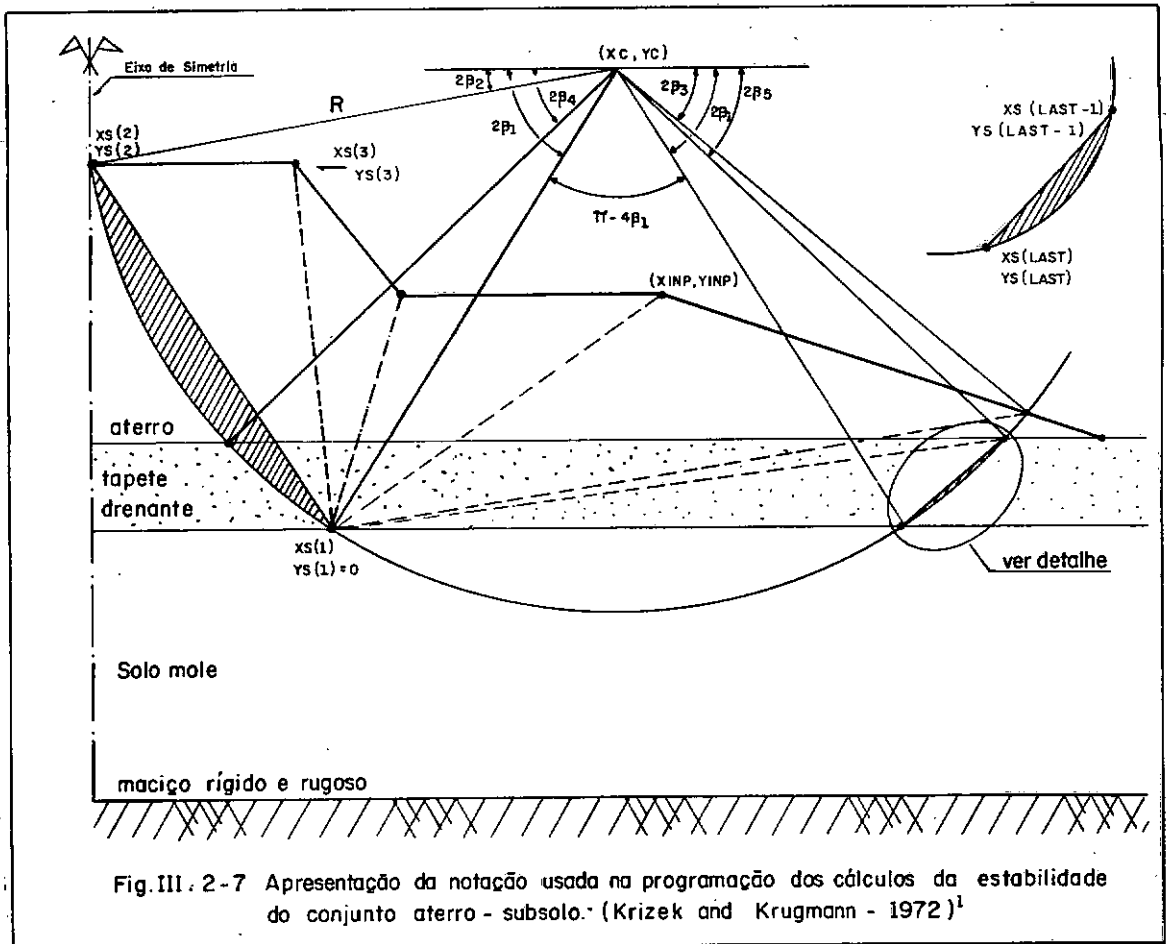
MINP - nº de pontos que definem o contorno geométrico do aterro.

XINP, YINP - coordenadas dos pontos do contorno.

YWM - espessura do tapete drenante.

A figura (III.2-7) esclarece de maneira abreviada, a notação utilizada na análise da estabilidade.

O círculo provável de ruptura a ser investigado, será caracterizado pelas coordenadas de seu centro (XC, YC) e por seu raio (R). O fator de segurança à ruptura ao longo deste círculo será obtido pelo quociente entre o momento das forças que tendem a impedir o deslizamento, em relação ao centro do círculo, pelo momento das forças que tendem a produzir o citado deslizamento.



As parcelas que comporão os momentos atuantes que foram programadas são as seguintes:

$$MD1 = (GLOAD/6) \cdot \sum_{I=2}^{LAST-1} \{ (3XC - XS(1) - XS(I) - XS(I+1)) \cdot (XS(1) \cdot (YS(I+1) - YS(I)) - XS(I) \cdot YS(I+1) + XS(I+1) \cdot YS(I)) \} \quad (III.2-25)$$

onde MD1-é o momento atuante, devido peso próprio dos triângulos de solo com vértice no ponto  $(XS(1), YS(1)=0)$ .

$$MD2 = (GLOAD/12) \cdot \{ [(XS(1) - XS(2))^2 + (YS(1) - YS(2))^2]^{3/2} \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2) - [(XS(LAST-1) - XS(LAST))^2 + (YS(LAST-1) - YS(LAST))^2]^{3/2} \cdot \cos(\beta_1 + \beta_3) \} \quad (III.2-26)$$

onde MD2-é o momento atuante, devido ao peso próprio das áreas de solo, limitadas por um dos lados do triângulo e pelo círculo de escorregamento.

O momento atuante total, que tenderá provocar o deslizamento pode então ser obtido:

$$MD = MD1 + MD2 \quad (III.2-27)$$

As parcelas que comporão o momento resistente são as seguintes:

$$MR1 = CLOAD.R^2.2\{(\beta_1-\beta_2) + (\beta_1-\beta_3)\} \quad (III.2-28)$$

onde  $MR1$  - é o momento resistente, devido a parte do círculo que atravessa o aterro. O aterro é aqui considerado como sendo constituído de um único material, puramente coesivo, sem tapete drenante.

$$MR2 = R^2(\pi-4\beta_1) \cdot \left[ \sum_{I=1}^{2.NARC} S(I) \right] / (2.NARC) \quad (III.2-29)$$

onde  $MR2$  - é o momento resistente devido a parte do círculo de deslizamento que passa pelo maciço compressível. Este arco de círculo é subdividido em  $(2.NARC)$  sub-arcos e as resistências não drenadas  $S(I)$  serão determinadas no ponto médio de cada sub-arco.

$$MR3 = (R.W(I).TGPHI/FS) / (\cos(\alpha(I)) + \sin(\alpha(I)).TGPHI/FS) \quad (III.2-30)$$

onde  $MR3$  - é o momento resistente devido a parte do círculo de deslizamento que passa pelo tapete drenante existente sob o aterro. É esta a equação que introduz o fator de segurança no lado direito da equação geral, e que torna o processo iterativo.

O momento resistente total será obtido pela soma dos três momentos resistentes parciais e pela subtração da parcela do momento  $MR1$  que passou a ser ocupada pelo tapete drenante, cujo momento resistente é o  $MR3$ .

A equação final programada para o fator de segurança será:

$$FS = (1/MD) \cdot \{ CLOAD.R^2.2\{(\beta_4-\beta_2) + (\beta_5-\beta_3) + R^2(\pi-4\beta_1) \cdot \left[ \sum_{I=1}^{2.NARC} S(I) \right] / (2.NARC) + R \cdot \sum_{J=1}^2 (W(J).TGPHI/FS) / (\cos(\alpha(J)) + \sin(\alpha(J)).TGPHI/FS) \} \} \quad (III.2-31)$$

onde  $CLOAD$  - coesão do material do aterro.

$TGPHI$  - tangente do ângulo de atrito interno do material que

constitui o tapete drenante.

$W(I)$  - peso da coluna de solo do aterro, sobre o tapete drenante.

$\alpha(J)$  - ângulo da força normal que produz o atrito no tapete drenante, com a vertical.

Se o círculo de ruptura desponta além do pé do aterro, teremos  $\beta_5 \neq \beta_3$  e consequentemente a parcela do momento resistente devido ao atrito do tapete drenante, para  $J=2$  na equação (III.2-31), será nulo.

Ainda, neste caso, se anulará a parcela do momento  $MD_2$ , correspondente a segunda área limitada por um dos lados do triângulo e pelo círculo de escorregamento. Uma vez definida a equação do fator de segurança, teremos agora que definir o procedimento a ser adotado na procura do mínimo fator de segurança que governará a existência ou não da ruptura.

Conforme já foi citado no item (II.5), a procura do mínimo fator de segurança que foi programada, utiliza o processo de procura direta com movimentos exploratórios e movimentos modelo. A figura (III.2-8), apresenta uma sequência destes dois movimentos, determinando o mínimo fator de segurança.

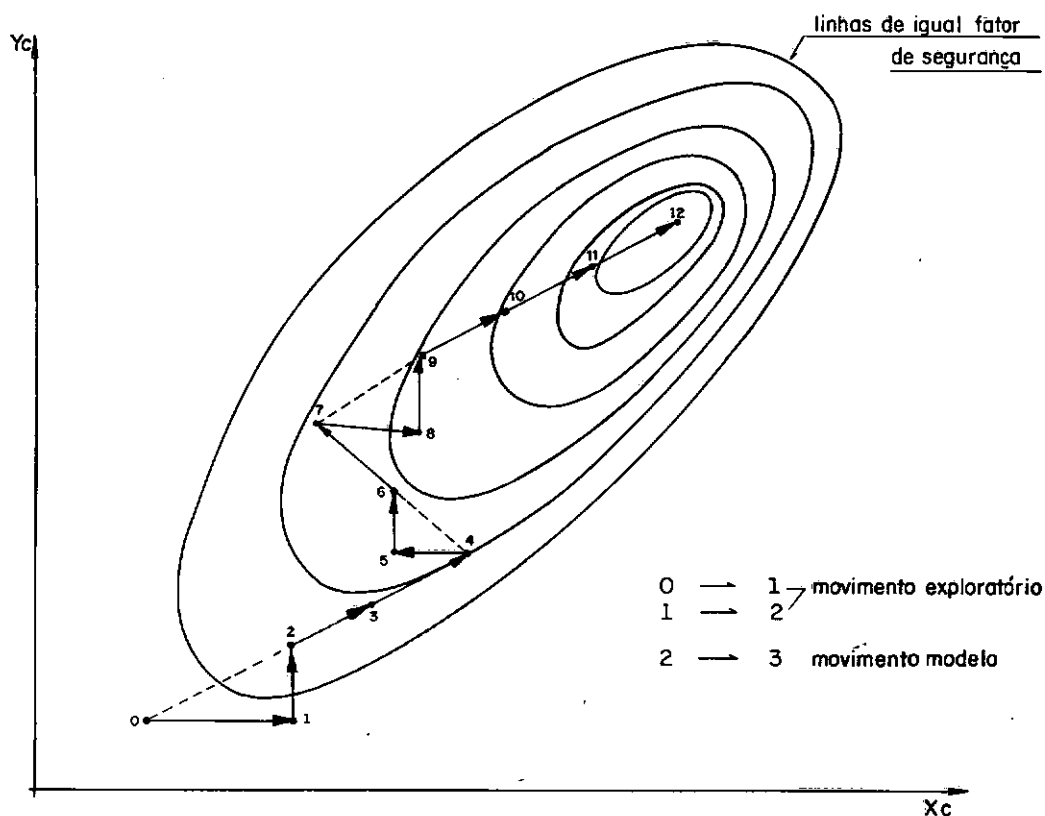


Fig. III. 2 - 8 Procura do mínimo fator de segurança pelo processo da procura direta.

O movimento exploratório, visa basicamente a determinação do caminho que de verá ser tomado pelo movimento modelo, para a obtenção do mínimo fator de segurança. Uma vez definido este caminho vamos executando continuamente movimentos modelos, enquanto estivermos obtendo fatores de segurança cada vez menores. Quando obtivermos um fator de segurança superior ao obtido no movimento anterior, outro movimento exploratório deverá ser feito, para a indica ção de um novo caminho a ser seguido. O processo termina quando qualquer ca minho, definido pelo movimento exploratório, conduzir a fatores de segurança sempre maiores que o menor obtido até este momento. Entretanto um n° arbitrário de parâmetros podem ser variados neste processo de procura.

Foram encontrados experimentalmente, muitas vantagens em variar XC e YC e calcular os fatores de segurança para um n° definido de raios diferentes. Este n° é especificado pelo usuário, pelo parâmetro NRAD. Isto quer dizer que para cada centro do círculo de deslizamento, serão calculados NRAD fatores de segurança, e deles será escolhido o menor.

Quando dos movimentos exploratórios, o valor de XC é alterado inicialmente e se para este novo centro o menor fator de segurança for inferior ao menor do centro anterior, é definido então uma variação da ordenada YC, caracterizando assim o caminho a ser seguido.

Devido ao adensamento do solo, ocorrerá um ganho de resistência do solo compressível, ganho este que possibilitará a colocação de novas etapas de carga com o transcorrer do tempo. O conhecimento da relação entre a resistência do solo e a pressão efetiva (c/p) nos permitirá determinar as novas resistências para os novos acréscimos de pressão efetiva.

A equação programada para esta nova resistência foi:

$$SU(XE(J), YE(I)) = CO(I) + UD(XE(J), YE(I)) \cdot CP(I) \quad (III.2-32)$$

onde SU - nova resistência ao cisalhamento.

CO - resistência ao cisalhamento inicial.

UD - pressão neutra dissipada.

CP - relação entre a resistência e a pressão efetiva.

Uma boa relação CP foi apresentada por Skempton (1957)<sup>30</sup>, em função do índice de plasticidade do solo. Esta relação está descrita na equação (II.5-5), já a presentada no capítulo II.

Como já foi citado anteriormente, as pressões neutras dissipadas são calcu-



ladas para os pontos nodais da malha com abcissas não igualmente espaçadas. É no cálculo do ganho de resistência que se torna necessário, transformar estes valores para a malha com abcissas igualmente espaçadas, já que a análise da estabilidade é realizada utilizando-se esta malha regular.

### Programa principal DETR.

Tôdas as considerações feitas para o programa principal SAND são também válidas para o programa principal DETR. A diferença básica existente entre estes dois programas, já mencionada no início do capítulo III, é que o programa DETR determina o espaçamento dos drenos (RWE), necessário para garantir que um especificado fator de segurança e/ou um recalque pré-determinado, ocorram no final da construção do aterro.

Esta construção prevê uma evolução do carregamento, linear com o tempo, de modo que no tempo zero pode ou não existir alguma carga aplicada e no tempo de construção, toda a carga do aterro já foi aplicada. A partir deste tempo a carga permanecerá constante indefinidamente. No caso do programa SAND, ele utilizará o valor RWE já calculado e estudará os tempos de aplicação de cada etapa de carga, garantindo que seja mantido o valor pré-fixado do fator de segurança.

O quadro (III.2-2) apresenta as diferenças básicas entre os dois programas principais.

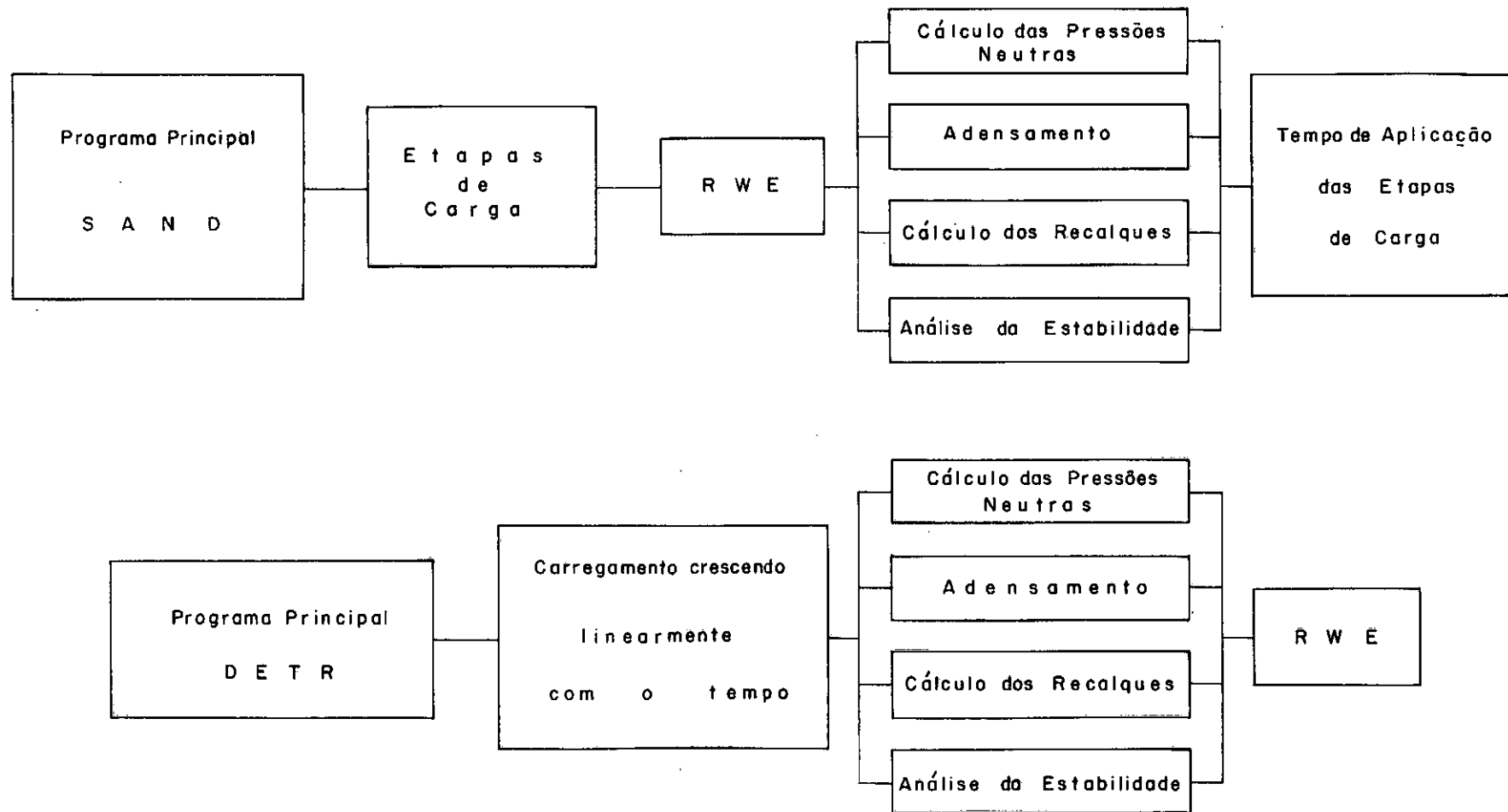
O dimensionamento do sistema de drenagem radial, executado pelo programa DETR, determina o valor de RWE, partindo de pelo menos uma das seguintes condições a serem especificadas no tempo correspondente ao final da construção:

- Valor do fator de segurança; e
- Valor do recalque na vertical que passa no eixo de simetria do aterro.

A representação de carregamento evoluindo linearmente com o tempo é mostrada na figura (III.2-9), onde "C" representa a percentagem da carga final aplicada no tempo zero.

### III.3- Descrição do programa principal SAND.

Até o momento, muitas considerações deste programa principal foram apresentadas. A reunião de todas estas informações nos permite formar uma idéia geral do modo de utilização do programa, e de como ele poderá prever o comportamento de um aterro construído sobre solos moles. Baseando-se nisto, pode-



Quadro III.2-2 Sequência resumida das atividades desenvolvidas no programa principal SAND e DETR.

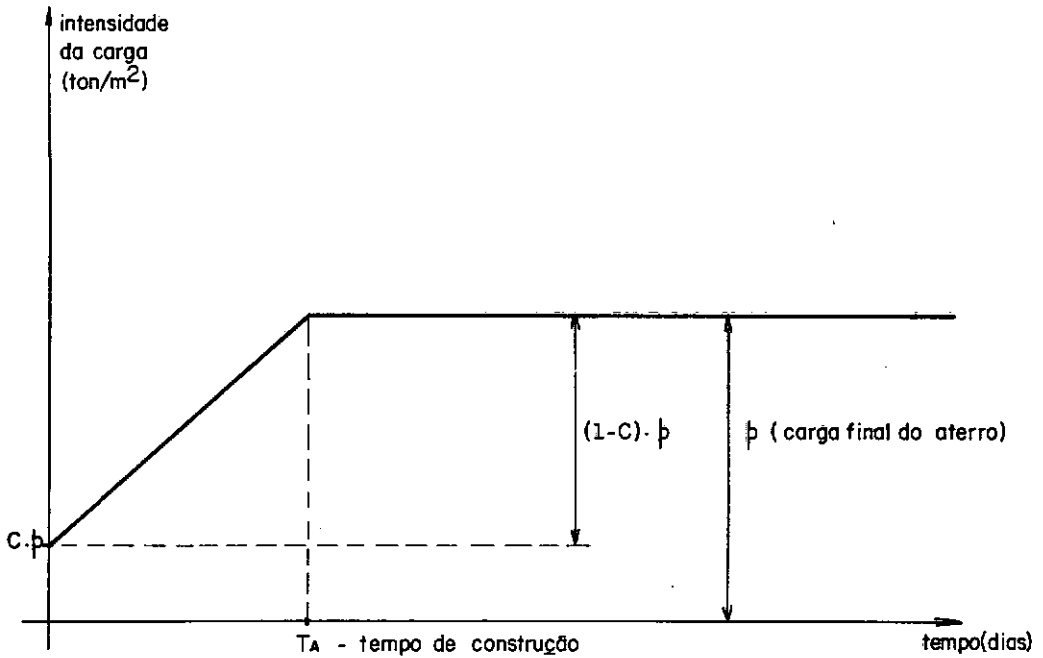


Fig.III.2-9 Evolução linear da carga com o tempo considerado no programa DETR.  
(Krizek and Krugmann - 1972)<sup>1</sup>

ríamos dizer que este programa otimiza a velocidade de construção de um aterro rodoviário sobre uma camada de solo mole muito compressível.

O programa envolve:

- 1) O cálculo das tensões e pressões neutras no subsolo;
- 2) A dissipação destas pressões neutras a medida que a carga aumenta devido a aplicação das diversas etapas de carga;
- 3) O conseqüente aumento na resistência ao cisalhamento do solo;
- 4) O cálculo dos recalques devido ao adensamento do solo; e
- 5) A análise da estabilidade do aterro.

A carga do aterro atuará somente na vertical, e as pressões neutras induzidas no subsolo, serão calculadas usando-se a teoria da elasticidade e os parâmetros A e B de pressão neutra de Skempton.

A dissipação da pressão neutra segue um modelo de fluxo tridimensional; leva em consideração o efeito da presença de gases nos vazios

do solo; considera também, a variabilidade dos parâmetros de adensamento do solo. Devido a dissipação da pressão neutra, a pressão efetiva aumentará, causando uma conseqüente elevação na resistência ao cisalhamento do subsolo.

Os recalques provenientes do adensamento do solo são avaliados a partir do conhecimento das características de compressibilidade do maciço. O programa poderá ser tratado sob dois aspectos diferentes:

Opção 1 :  $ISP=0$  - Para este caso serão determinados os tempos para a construção das NL etapas de carga, com suas formas características. Estes tempos assegurarão que a capacidade de carga do subsolo não será excedida e, que uma fração especificada do recalque final já terá ocorrido. Finalizando a execução, curvas de recalque e do grau de adensamento em função do tempo, serão traçadas, para verticais especificadas.

Opção 2 :  $ISP=1$  - As etapas de carga e os respectivos tempos para as suas aplicações são especificados pelo usuário, e o programa determina a dissipação das pressões neutras para as verticais pré-estabelecidas sem fazer a análise da estabilidade. Neste caso, curvas de recalques e de grau de adensamento também são traçadas em função do tempo.

#### III.4- Descrição do programa principal DETR.

Da mesma maneira do ítem anterior será feita aqui, uma apreciação geral do programa principal DETR.

Este programa determina a razão do dreno (raio do dreno dividido pelo raio de influência). Esta razão é necessária para assegurar que um recalque especificado e/ou um fator de segurança contra a ruptura são obtidos no tempo de construção do aterro.

O programa envolve:

- 1) O cálculo das tensões e pressões neutras no subsolo;
- 2) A dissipação destas pressões neutras, a medida que a carga aumenta linearmente com o tempo até um valor de referência representado pela carga final do aterro. Tal dissipação ainda prossegue após a aplicação da referida carga.
- 3) O conseqüente aumento da resistência ao cisalhamento do solo;
- 4) O cálculo dos recalques devido ao adensamento do solo; e
- 5) A análise da estabilidade do aterro.

O programa poderá ser tratado sob dois aspectos diferentes:

Opção 1 :  $ISP=0$  - A análise da estabilidade será feita em pri

meiro lugar a longo prazo e;posteriormente,no tempo de construção do aterro para várias razões do dreno.A razão do dreno requerida é a primeira encontrada que assegura que o recalque especificado e o fator de segurança ocorrerão no tempo TA,devido o aumento linear da carga,que permanece constante após o tempo de construção.A aplicação da carga total no tempo zero pode ser considerada pela colocação de  $C=1,0$ .Curvas de recalque e de grau de adensamento médio serão impressas em verticais previamente escolhidas pelo usuário.

Opção 2: ISP=1 - A análise da estabilidade é omitida.

O programa determinará a razão do dreno necessária para assegurar o recalque especificado no tempo TA.Além do estudo da dissipação das pressões neutras e cálculo dos recalques,adivirão também as curvas de recalques e de grau de adensamento médio.

### III.5- Descrição das subrotinas utilizadas.

Todos os cálculos matemáticos que aparecem nos programas principais,são resolvidos por 24 subrotinas de apoio.O quadro(III.5-1)apresenta de uma maneira sucinta,o sistema global de utilização das subrotinas,pelos dois programas principais.

Serão a seguir descritas tôdas as subrotinas informando-se para cada uma delas,a sua função e quais os parâmetros necessários para a sua utilização,bem como os parâmetros por ela determinados.

#### 1. Subrotina APROX(X,Y,MN,N,D).

Esta subrotina faz a transformação da geometria trapezoidal da carga real,para uma forma escalonada composta de N cargas uniformemente distribuidas.

Descrição dos parâmetros de entrada:

X,Y - Coordenadas dos pontos que definem a forma trapezoidal do aterro,agrupadas em ordem crescente das abcissasX.

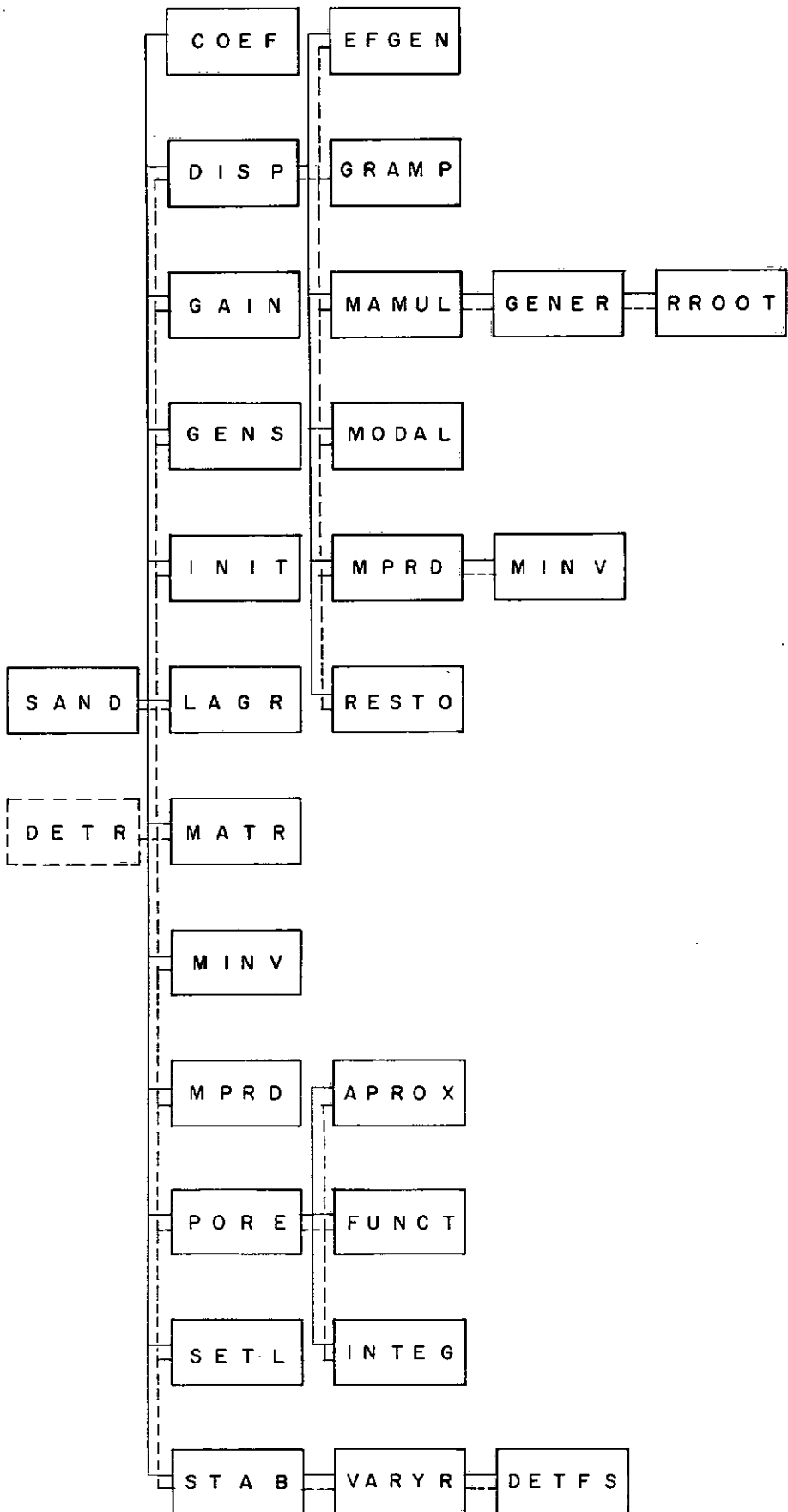
MN - N° de coordenadas(X,Y).MN deve ser inferior ou igual a 20.

N - N° de degraus da forma escalonada definido pelo usuário.N deve ser inferior ou igual a 30.

Descrição do parâmetro de saída:

D - Altura das faixas de carga uniformemente distribuidas que compõe a forma aproximada do aterro trapezoidal.

#### 2. Subrotina COEF(UAVD,UAVE,OMEGA,PHI,LI,OMED,PHID,IEND).



Quadro III.5-1 Utilização das subrotinas pelos programas principais SAND e DETR(Krizek and Krugmann)<sup>1</sup>

Esta subrotina determina os parâmetros do solo para o caso em que eles são variáveis. O parâmetro LI é uma variável indicadora e somente se o seu valor for 3 é que os parâmetros OMED e PHID, que representam as diferenças entre os seus valores atual e anterior, serão calculados.

Descrição dos parâmetros de entrada:

UAVD - Pressão neutra média existente antes do início do adensamento.

UAVE - Pressão neutra média existente no tempo t, em que serão calculados os parâmetros do solo.

LI - Variável indicadora usada para definir se os parâmetros PHID e OMED serão calculados.

IEND - N° de elementos dos vetores UAVD, UAVE, OMEGA, PHI, OMED e PHID. Ele representa o n° de abscissas que compõem a malha de pontos existente no maciço compressível.

Descrição dos parâmetros de saída:

OMEGA - Parâmetro que agrupa as variáveis que influem diretamente no fenômeno do adensamento, devido ao fluxo de água radial.

PHI - Parâmetro semelhante, somente que para o caso de fluxo de água vertical.

PHID - Diferença entre o PHI anterior e o atual.

OMED - Diferença entre o OMEGA anterior e o atual.

3. Subrotina DETFS(XC, YC, R, XINP, YINP, MINP, MX, MYE, SU, FS).

Esta subrotina determina o fator de segurança de um aterro construído sobre um solo mole muito compressível. O fator de segurança será calculado pela razão entre os momentos das forças resistentes e atuantes em relação ao centro da provável superfície circular de ruptura. A ruptura, por hipótese, ocorrerá ao longo de um arco circular. As resistências ao cisalhamento, em cada ordenada da malha, serão obtidas por interpolação de Lagrange, a partir de valores lidos em pontos arbitrários. A avaliação dos momentos resistentes é feita pela subdivisão do arco circular em  $(2 \cdot NARC)$  sub-arcos, cuja resistência ao cisalhamento no ponto médio de cada sub-arco é obtida por interpolação linear entre os valores das resistências nodais adjacentes. Serão feitas duas interpolações lineares na horizontal e uma na vertical. A análise da estabilidade será feita em termos de tensões totais.

Descrição dos parâmetros de entrada:

XC,YC - Coordenadas do centro da provável superfície de deslizamento .

R - Raio desta superfície circular.

XINP,YINP-Coordenadas dos pontos que definem o contorno geométrico do aterro.

MX - Nº de abcissas da malha de pontos nodais com abcissas igualmente espaçadas.

MYE - Nº de ordenadas da malha de pontos nodais existente no maciço compressível.É o mesmo para a malha regular ou irregular.

SU - Resistência não drenada nos pontos nodais da malha regular.

Descrição do parâmetro de saída:

FS - Fator de segurança calculado.

4. Subrotina DISP(U,LI,OMEGA,PHI,T,UAVE,LIFT,MYE,IEND,XT,SV,SR).

Esta subrotina calcula o excesso de pressão neutra no tempo T,tratando a equação diferencial do adensamento como um problema de auto-valor.

Descrição dos parâmetros de entrada:

LI - Variável indicadora que caracteriza a primeira utilização desta subrotina para uma nova carga.Os valores de LI variam de 1 a 6.

OMEGA - Parâmetro já determinado na subrotina COEF.

PHI - Parâmetro já determinado na subrotina COEF.

T - Tempo para o qual a pressão neutra será determinada.

LIFT - Nº de etapas de carga já aplicadas até neste tempoT.

MYE - Nº de ordenadas da malha de pontos nodais.

IEND - Nº de abcissas existentes na malha irregular.

XT - Valor das abcissas na malha irregular,nas quais os parâmetros OMEGA e PHI foram calculados e o valor de UAVE será calculado.

SV - Constantes matemáticas existentes na regra trapezoidal e de Simpson,usadas no processo de integração numérica,na direção vertical.

SR - Semelhante ao SV,somente que na direção radial.

Descrição dos parâmetros de saída:



U - Excesso de pressão neutra ainda existente no tempo T.  
Para os valores de LI 1,5 ou 6 este parâmetro, será de entrada, e conterá o valor do excesso de pressão neutra residual da carga anterior a ser considerado na nova adição de carga.

UAVE-Valor médio, para cada abcissa XT da malha de pontos no dais, do excesso de pressão neutra existente.

5- Subrotina EFGEN(PSI,T,EIG,IVAR,MM,D,LI).

Esta subrotina gera uma matriz diagonal, dependente do tempo, que será usada no processo de adensamento.

Descrição dos parâmetros de entrada:

PSI -Vetor que contem os fatores de adensamento para o caso de fluxo de água radial e vertical. Estes fatores são calculados a partir dos parâmetros PHI e OMEGA.

T -Tempo no qual a matriz diagonal será determinada.

EIG -Vetor que contem os auto-valores da matriz dos coeficientes do sistema de equações diferenciais do adensamento.

IVAR-Variável indicadora que caracteriza a variabilidade, ou não, dos parâmetros de adensamento do solo.

MM -Outro nome dado ao parâmetro IEND. Corresponde ao nº de elementos do vetor PSI.

LI -Variável indicadora já citada na subrotina DISP. Se LI=4 ou 6, isto implicará em um constante fator de adensamento.

Descrição do parâmetro de saída:

D -Matriz diagonal gerada.

6- Subrotina FUNCT(THETA,ETA,K,SIGX,SIGY,TAU).

Esta subrotina calcula o valor dos integrandos com o argumento THETA, das equações das tensões cartesianas SIGMA X, SIGMA Y e TAU XY, atuantes no maciço compressível devido a construção do aterro.

Descrição dos parâmetros de entrada:

THETA-Argumento para o qual os integrantes são calculados.

ETA -Coordenada vertical adimensional, contada a partir do fundo do maciço compressível, cujos valores estão compreendidos entre zero e 1 .(Ver figura II.1-2).

K -Índice selecionador das correspondentes quantidades de Q e ETH,que foram pré-calculados para os mesmos argumentos THETA.

Descrição dos parâmetros de saída:

SIGX-Valor do integrando da equação da tensão normal horizontal.

SIGY-Semelhante a SIGX,só que para a tensão normal vertical.

TAU -Valor do integrando da equação da tensão cisalhante.

7- Subrotina GAIN(UA,R,SU,MYE,MXT,MXE,MX,NIM,CO,CP,III).

Esta subrotina calcula o ganho de resistência do maciço compressível,durante o processo de adensamento,pelo aumento da tensão efetiva no subsolo.Este cálculo se baseia no conhecimento da resistência inicial,e no valor da razão CP do solo compressível,em todos os pontos nodais da malha regular gerada pelo programa principal.

Descrição dos parâmetros de entrada:

UA -Vetor que contem as pressões neutras dissipadas,nos pontos nodais da malha irregular.

R -Matriz auxiliar,gerada no programa principal,usada para transformar os valores de UA dos pontos nodais da malha irregular para os da malha regular.

MYE -Nº de pontos nodais em cada vertical da malha.

MXT -Nº de abcissas XT existentes no intervalo definido pelos limites AX(I) e AX(I+1).

MXE(I)-Nº de abcissas XE existentes no intervalo definido pelos limites AX(I) e AX(I+1).

MX -Nº total de abcissas existentes na malha regular.

NIM -Nº de sub-intervalos existentes na direção horizontal da malha irregular.

CO -Vetor que contem as resistências não drenadas iniciais, para as várias profundidades do solo compressível.

CP -Vetor que contem as razões entre a resistência não drenada e a pressão efetiva existente,para as várias profundidades do solo compressível.

III -Índice selecionador dos valores de UA.

Descrição do parâmetro de saída:

SU -Resistência ao cisalhamento não drenado,acrescido do

ganho de resistência devido ao adensamento, nos pontos no  
dais da malha regular.

8- Subrotina GENER(P,F,X,N).

Esta subrotina gera os coeficientes da equação caracterís-  
tica da matriz diagonal P, usada no processo de adensamento. Estes coefici-  
entes são armazenados no vetor "A". Montando-se a equação característica, a  
subrotina RROOT é chamada para determinar as raízes desta equação.

Descrição dos parâmetros de entrada:

P -Matriz diagonal tridimensional cujos elementos da dia-  
gonal lateral são iguais a  $-1,0$  .

F -Matriz auxiliar usada nos cálculos .

N -Grau da equação característica, que corresponde ao seu  
nº de raízes .

Descrição do parâmetro de saída:

X -Vetor que contem as raízes da equação característica da  
matriz diagonal P.

9- Subrotina GENS(S,M,KEN,WO,DEL).

Esta subrotina gera as constantes da regra de Simpson e do  
trapézio, usadas no processo de integração numérica. Cada constante gerada  
será considerada dependente apenas do nº de sub-intervalos existente na di-  
reção onde está sendo efetuada a integração.

Descrição dos parâmetros de entrada:

M -Nº de pontos pivotais existentes na direção da integra-  
ção.

KEN-Índice selecionador da direção onde será feita a inte-  
gração.

WO -Raiz quadrada do limite inferior da integral definida,  
dividido pela raiz quadrada do limite superior.

DEL-A diferença  $(1,0 - WO)$ .

Descrição do parâmetro de saída:

S -Constante matemática gerada.

10- Subrotina GRAMP(G,KEN,E,F,T,TA,EIGV,EIGR,PHI,OMEGA,C,  
M,N).

Esta subrotina gera a matriz "G" usada no processo de aden-  
samento, quando o carregamento cresce linearmente com o tempo, durante o pe-  
ríodo de construção, permanecendo constante daí em diante.

Observe que:

Se KEN=1,fluxo vertical somente será considerado.

Se KEN=2,fluxos radial e vertical serão considerados.

Descrição dos parâmetros de entrada:

KEN -Índice selecionador da direção do fluxo de água.

E -Matriz diagonal para a condição de fluxo radial.

F -Matriz diagonal para a condição de fluxo vertical.

T -Tempo para o qual a matriz"G" é calculada.

TA -Tempo de construção do aterro.

EIGV -Auto-valores para a condição de fluxo vertical.

EIGR -Auto-valores para a condição de fluxo radial.

PHI -Fator de adensamento para fluxo na direção vertical.

OMEGA-Fator de adensamento para fluxo na direção radial.

C -Fração da carga total,que está aplicada neste tempoT.

M -Nº de auto-valores EIGV.

N -Nº de auto-valores EIGR.

Descrição do parâmetro de saída:

G -Matriz gerada,a partir da qual as pressões neutras serão calculadas,levando em consideração o crescimento linear da carga com o tempo.

11- Subrotina INIT(XINP,YINP,MINP,XC,YC,ZZ,DMIN).

Esta subrotina calcula as coordenadas de partida do centro do círculo de ruptura,caso o valor de XC especificado pelo usuário seja zero.

Descrição dos parâmetros de entrada:

XINP,YINP -Coordenadas dos pontos que definem a geometria trapezoidal do aterro.

MINP -Nº de pontos(XINP,YINP).

YY -Valor mínimo permissível para YC.

ZZ -Diferença entre o maior valor de YINP e YY.

DMIN -Valor do mínimo incremento a ser usado no processo de procura direta do menor fator de segurança.

Descrição dos parâmetros de saída:

XC,YC -Coordenadas do centro do primeiro círculo de ruptura,que servirá de ponto de partida no processo de procura do mínimo fator de segurança.

12- Subrotina INTEG(ETA,XI,B,AR).

Esta subrotina calcula o valor da integral das equações das

tensões, quando a variável de integração, THETA, varia entre os limites 12 e infinito.

Descrição dos parâmetros de entrada:

- ETA -Coordenada vertical adimensional, contada a partir do fundo do maciço compressível, cujos valores estão compreendidos entre zero e 1.
- XI -Coordenada horizontal adimensional, contada a partir do eixo de simetria do aterro.
- B -Limite inferior de integração, cujo valor neste caso é 12.

Descrição dos parâmetros de saída:

- AR -Vetor constituído de sete elementos, que será usado na avaliação das integrais.

13- Subrotina LAGR(X,Y,M,JST,XX,YY,N).

Esta subrotina interpola os valores da função Y(X), a partir dos valores conhecidos YY(XX), pelo uso do polinômio de Lagrange.

Descrição dos parâmetros de entrada:

- X -Valores dos argumentos, para os quais a função será interpolada.
- M -Nº de argumentos X.
- JST -Índice do primeiro valor da função a ser interpolada.
- XX -Valores dos argumentos para os quais a função é conhecida.
- YY -Respectivos valores da função.
- N -Nº de argumentos XX.

Descrição do parâmetro de saída:

- Y -Vetor resultante dos valores interpolados da função.

14- Subrotina MAMUL(A,D,B,C,N,IS,II).

Esta subrotina faz a multiplicação das matrizes A, D e B, resultando na matriz C. Todas as matrizes são armazenadas unidimensionalmente. A matriz A tem (N x N) elementos enquanto os vetores B, C tem N elementos cada um.

Descrição dos parâmetros de entrada:

- A -Matriz quadrada.
- D -Matriz diagonal com  $N_{\left(\frac{N+1}{2}\right)}$  elementos.
- B -Vetor coluna.

N -Ordem das matrizes A e D e comprimento dos vetores B e C.

IS -Índice do primeiro elemento do vetor B.

II -Índice do primeiro elemento da matriz D.

Descrição do parâmetro de saída:

C -Vetor produto.

15- Subrotina MATR(IS,IE,M,XV,A,XM).

Esta subrotina gera a matriz XM,cujos elementos são potências inteiras das diferenças entre os elementos XV e A.

A subtração de A é feita para aumentar a precisão na geração da matriz XM.

Descrição dos parâmetros de entrada:

IS -Índice do primeiro elemento do vetor XV.

IE -Índice do último elemento do vetor XV.

M -Nº de linhas da matriz XM.

A -Constante a ser subtraída dos elementos XV.

XV -Vetor com (IE-IS+1) elementos.

Descrição do parâmetro de saída:

XM -Matriz gerada a partir de XV.

16- Subrotina MINV(A,N,D).

Esta subrotina inverte uma matriz quadrada qualquer,por meio do método standard de Gauss-Jordan.

Descrição dos parâmetros de entrada:

N -Ordem da matriz a ser invertida( $N < 25$ ).

A -Matriz a ser invertida.

Descrição dos parâmetros de saída:

A -Matriz lida,destruída no cálculo e substituída pelo seu inverso.

D -Determinante resultante da matriz invertida.

17- Subrotina MODAL(LAYER,IBC,N,FIMP,RC,RK,XO,XE,EIG,X,XI,F).

Esta subrotina em conjunto com as subrotinas GENER,RROOT e MINV,serão utilizadas para executar as seguintes operações:

- 1)Gerar a matriz P dos coeficientes;
- 2)Determinar a equação característica desta matriz;
- 3)Calcular os auto-valores da matriz P;
- 4)Gerar a matriz modal X;e
- 5)Inverter a matriz modal.

A determinação da matriz P depende das condições de fronteira dadas por LAYER,IBC,CHI,RC,RK,XO e XE.

Descrição dos parâmetros de entrada:

- LAYER -Variável indicadora da existência ou não de subsolo estratificado com duas camadas compressíveis.
- IBC -Variável indicadora das condições de drenagem do má ciço compressível,tanto na direção vertical como na direção radial.
- N -Nº de auto-valores.
- FIMP -Fator de impedimento,calculado a partir do conhecimento da existência de "smear" tanto para fluxo ver tical quanto radial.
- RC -Razão entre os coeficientes de adensamento no caso de subsolo estratificado com duas camadas.
- RK -Razão entre os coeficientes de permeabilidade no ca so de subsolo estratificado com duas camadas.
- XO -Fronteira inferior do domínio de solução.
- XC -Fronteira superior do domínio de solução.
- F -Matriz auxiliar usada na matriz GENER.

Descrição dos parâmetros de saída:

- EIG -Auto-valores da matriz P.
- X -Matriz modal resultante.
- XI -Inverso da matriz modal.

18- Subrotina MPRD(A,B,R,N,M,L,IAS,IBS,IRS).

Esta subrotina multiplica a matriz A(NxM) pela matriz B(MxL) e armazena o produto na matriz R(NxL).

Descrição dos parâmetros de entrada:

- A -Primeira matriz a ser multiplicada.
- B -Segunda matriz a ser multiplicada.
- N -Nº de linhas das matrizes A e R.
- M -Nº de colunas da matriz A e nº de linhas da matriz B.
- L -Nº de colunas das matrizes B e R.
- IAS -Índice do primeiro elemento da matriz A.
- IBS -Índice do primeiro elemento da matriz B.
- IRS -Índice do primeiro elemento da matriz R.

Descrição do parâmetro de saída:

R -Matriz produto.

19- Subrotina PORE(XINP,YINP,M,NST,CX,IX,CY,IY,U,ABAR,BBAR).

Esta subrotina calcula o excesso de pressão neutra induzido em uma camada de solo compressível, devido a um carregamento trapezoidal aplicado. Este cálculo será feito mediante a determinação das tensões normais e cisalhantes, usando-se as condições de plano-deformação e de carregamento simétrico na teoria da elasticidade. A equação que fornece os excessos de pressão neutra foi apresentada por Scott(1963)<sup>7</sup>. O coeficiente de Poisson é adotado ser 0,5. Considera-se que o solo compressível está assente em uma camada perfeitamente rígida e rugosa.

Descrição dos parâmetros de entrada:

XINP,YINP -Coordenadas dos pontos que definem a geometria trapezoidal do aterro.

M -Nº de pontos (XINP,YINP).

NST -Nº de degraus da aproximação escalonada da carga real trapezoidal.

CX -Coordenada na direção horizontal dividida pelo valor de referência W, para as quais as tensões são calculadas.

IX -Nº de coordenadas CX.

CY -Coordenada na direção vertical dividida pela espessura da camada compressível, para as quais as tensões são calculadas.

IY -Nº de coordenadas CY.

ABAR -Parâmetro de pressão neutra A de Skempton.

BBAR -Parâmetro de pressão neutra B de Skempton.

Descrição do parâmetro de saída:

U -Pressões neutras nos pontos nodais da malha irregular. O nº máximo de pontos nodais é 220.

20- Subrotina RESTO(AUX,W,IBCV,IBCR,FIMPV,FIMPR,MYE,MRE,M,N).

Esta subrotina armazena os elementos da matriz AUX(MxN) na matriz W(MYExMRE), levando em consideração as condições de fronteira.

Descrição dos parâmetros de entrada:

AUX -Matriz a ser operada.

IBCV -Variável indicadora das condições de drenagem na



na direção vertical.

IBCR -Variável indicadora das condições de drenagem na direção radial.

FIMPV -Fator de impedimento na direção vertical.

FIMPR -Fator de impedimento na direção radial.

MYE -Nº de linhas da matriz W.

MRE -Nº de colunas da matriz W.

M -Nº de linhas da matriz AUX.

N -Nº de colunas da matriz AUX.

Descrição dos parâmetros de saída:

W -Matriz formada pelos elementos da matriz AUX.

21- Subrotina RROOT(COF,XR,M).

Esta subrotina calcula as raízes reais de um polinômio de grau M.

Descrição dos parâmetros de entrada:

COF -Vetor que contem os (M+1) coeficientes do polinômio.

M -Grau do polinômio.

Descrição do parâmetro de saída:

XR -Vetor cujos elementos são as raízes reais do polinômio de grau M.

22- Subrotina SETL(U,SETTL,IEND,KKK,MYE,F,FUP,FLO,KIAV).

Esta subrotina calcula os recalques da camada compressível observando que:

Se  $F=1$ , os recalques de adensamento serão calculados.

Se  $F>1$ , os recalques totais serão calculados.

Onde  $F=1/B$  e B é o parâmetro para pressão neutra de Skempton.

Descrição dos parâmetros de entrada:

U -Vetor cujos elementos são as pressões neutras dissipadas nos pontos nodais da malha irregular.

IEND -Nº de elementos do vetor SETTL.

KKK -Nº de pontos nodais existentes em cada vertical, na camada superior, no caso de subsolo estratificado com duas camadas.

MYE -Nº total de pontos nodais em cada vertical da malha.

F -Fator de multiplicação.

- FUP -Fator de recalque para a camada superior no caso de estratificação. Este fator contém os parâmetros do solo envolvidos no cálculo dos recalques devido ao adensamento do solo mole.
- FLO -Fator de recalque para a camada inferior no caso de estratificação.
- KIAV -Índice que caracteriza a variabilidade ou não do coeficiente de compressibilidade.

Descrição do parâmetro de saída:

- SETTL -Vetor cujos elementos são os recalques nas IEND verticais da malha de pontos nodais.

23- Subrotina STAB(XC,YC,R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FX,D,DM,YY).

Esta subrotina procura automaticamente o menor fator de segurança, de um aterro sobre solo compressível, partindo dos valores iniciais de XC, YC e R. Esta procura envolve movimentos exploratórios e movimentos modelo.

Descrição dos parâmetros de entrada:

- XC,YC -Coordenadas do centro de partida de uma possível superfície de escorregamento.
- R -Raio desta superfície circular.
- XINP,YINP -Coordenadas dos pontos que definem a geometria trapezoidal do aterro.
- MINP -Nº de pontos (XINP,YINP).
- MX -Nº de abcissas da malha regular.
- MYE -Nº de ordenadas da malha.
- SU -Resistência não drenada nos pontos nodais da malha regular.
- D -Máximo passo usado para variar as coordenadas XC e YC do centro do círculo de deslizamento.
- DM -Mínimo passo correspondente.
- YY -Valor mínimo permissível para YC.

Descrição do parâmetro de saída:

- FX -Mínimo fator de segurança.

24- Subrotina VARYR(YC,XC,R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FS,YY,DMIN).

Esta subrotina calcula o fator de segurança para N<sup>o</sup> RAD cír-

culos de ruptura, com o mesmo centro (XC,YC).

Descrição dos parâmetros de entrada:

XINP,YINP -Coordenadas dos pontos que definem a geometria trapezoidal do aterro.

MINP -Nº de pontos (XINP,YINP).

MX -Nº de abcissas da malha regular.

MYE -Nº de ordenadas da malha.

SU -Resistência não drenada nos pontos nodais da malha regular.

DMIN -Mínimo passo usado para variar o raio da provável superfície de ruptura .

YY -Valor mínimo permissível para YC.

Descrição dos parâmetros de saída:

FS -Menor valor do fator de segurança dos NRAD círculos testados.

XC,YC -Coordenadas do centro da superfície circular que forneceu este fator de segurança.

R -Raio da superfície circular de escorregamento.

III.6- Variáveis indicadoras utilizadas nos programas principais e nas sub rotinas .

Variáveis indicadoras são parâmetros que possuem a finalidade de indicar o caminho a ser seguido durante a execução dos programas. Estas variáveis poderão ser criadas no interior do próprio programa, sem que o usuário delas tome conhecimento, ou então, serem estipuladas pelo próprio usuário. Somente serão aqui apresentadas as variáveis indicadoras que influem diretamente na leitura dos dados.

São dois os principais tipos de variáveis indicadoras:

a) Indicadores rotulados-São aqueles cujo nome da variável inicia pela letra I.

b) Indicadores não rotulados-São aqueles cujo nome da variável não inicia pela letra I e eles representam dentro dos programas, parâmetros normais do problema.

#### Indicadores rotulados.

Todos os indicadores rotulados, aqui citados, são especificados pelo usuário.

1.IAB - Indicador que determina se será feita ou não a leitura de novos parâmetros A e B de Skempton.IAB poderá possuir os seguintes valores:

IAB=0. - Isto significa que não serão lidos novos valores de A e B e deverão ser usados os valores já definidos anteriormente.

IAB=1. - Neste caso,serão lidos novos valores de A e B.

2.IAV - Indicador que caracteriza a variabilidade ou não do coeeficiente de compressibilidade.IAV poderá possuir os seguintes valores:

IAV=0. - O coeficiente de compressibilidade será mantido constante durante o processo de adensamento.

IAV=1. - Neste caso o coeficiente de compressibilidade será variável.

3.IBCR -Indicador que especifica as características de drenagem na direção radial.IBCR poderá possuir os seguintes valores:

IBCR=4- A drenagem será impedida na região próxima ao raio do poço drenante,ou seja,considerar-se-á a existência de "smear" provocado pela instalação do dreno de areia.

IBCR=5- Neste caso a drenagem será livre em toda a região de influência do dreno de areia.

4.IBCV -Indicador das características de drenagem na direção vertical .IBCV poderá possuir os seguintes valores:

IBCV=1- A drenagem vertical é considerada impedida em  $Y=H$ , ou seja,considerar-se-á a existência de uma camada menos permeável no fundo do maciço compressível.

IBCV=2- A drenagem vertical é livre no fundo da camada de solo compressível.

IBCV=3- Neste caso considera-se a drenagem nula em  $Y=H$ ,ou seja,só existirá uma face de drenagem na direção vertical.

5.ICV -Indicador que determina se será ou não feita a leitura dos pontos discretos da função que rege a variabilidade do coeficiente de adensamento com a pressão efetiva, durante o processo do adensamento.ICV poderá possuir os seguintes valores:

ICV=0 -Os coeficientes de adensamento serão calculados no programa,a partir do coeficiente de permeabilidade,índice de vazios inicial e do coeficiente de compressibilidade .Neste caso,a variabilidade do coeficiente de adensamento será considerada dependente da variabilidade dos parâmetros de permeabilidade e compressibilidade.

ICV>0 -Os pontos discretos da função que correlaciona coeficiente de adensamento e pressão efetiva serão lidos. O valor de ICV determinará o nº de pares de pontos a serem lidos.ICV deverá ser inferior ou igual a 10. A interpolação entre estes pontos discretos será feita pelo polinômio de Lagrange.Aqui então,a variabilidade do coeficiente de adensamento durante a dissipação das pressões neutras,será regida pela função definida pelos pontos discretos lidos.

6.IDEN(I) -Indicador que caracteriza o caminho a ser adotado quando do cálculo das pressões neutras induzidas no subsolo compressível,devido a colocação da I-ésima etapa de carregamento.IDEN(I) poderá possuir os seguintes valores:

IDEN(1)<0 -As pressões neutras devido a primeira etapa de carga serão nulas,já que os valores reais destas pressões neutras serão lidas na ocasião da introdução das pressões neutras residuais.Isto possibilita a previsão do comportamento de um aterro já parcialmente construído,no qual a primeira carga será esta parte do aterro já construída.

IDEN(I)=0 -Neste caso as pressões neutras devido a aplicação da I-ésima carga serão calculadas normalmente pela subrotina PORE.

IDEN(I)=1 -Isto significa que esta I-ésima carga é a carga final que atuará no solo compressível.As pressões neutras devido a esta carga,denominada de carga de referência,serão aquelas já calculadas anteriormente para este carregamento.

- 7.IK -Indicador que caracteriza a variabilidade ou não do coe  
ficiente de permeabilidade.Ele poderá assumir os seguin-  
tes valores:
- IK=0 -O coeficiente de permeabilidade será mantido constante  
durante o processo de adensamento.
- IK=1 -Neste caso o coeficiente de permeabilidade variará co  
m a dissipação das pressões neutras.
- 8.IRP -Indicador das características de leitura das pressões neutra  
s residuais.IRP poderá possuir os seguintes valores:
- IRP=0 -Não existe pressão neutra residual a ser considerada  
na colocação da primeira etapa de carregamento.
- IRP=1 -Neste caso existirão pressões neutras residuais.Serão  
lidas tantas pressões neutras quantos forem os pontos  
nodais da malha irregular existente no maciço compressí  
vel.
- IRP=2 -Aqui,as pressões neutras residuais serão lidas em ponto  
s quaisquer do maciço.Por interpolação de Lagrange  
elas serão transferidas para os pontos da malha com ab  
cissas não igualmente espaçadas.
- 9.ISAT- Indicador das características de saturação do subsolo.  
ISAT poderá possuir os seguintes valores:
- ISAT=0 -Solo saturado.
- ISAT=1 -Solo não saturado.
- 10.ISP -Principal indicador utilizado nos programas SAND e DETR.  
Ele poderá possuir os seguintes valores:
- ISP=0 -As malhas de pontos nodais,tanto a irregular como a  
regular,serão geradas no próprio programa.Não serão  
impressas as pressões neutras durante o adensamento,po  
rém a análise da estabilidade será feita a cada tempo  
para garantir que o fator de segurança não será infe-  
rior a um valor especificado.
- ISP=1 -Neste caso só existirá a malha irregular no subsolo  
mole.O usuário especificará as verticais que conterão  
os pontos nodais.Não serão executadas análises da es-  
tabilidade,porém as pressões neutras durante o adensamen  
to serão impressas a cada tempo.

11.IVAR -Indicador da variabilidade ou não dos parâmetros que influenciam diretamente o adensamento do subsolo compressível.IVAR poderá possuir os seguintes valores:

IVAR=0 -Parâmetros do solo serão constantes durante o processo de adensamento.

IVAR=1 -Parâmetros do solo variarão com a dissipação das pressões neutras com o tempo.

Indicadores não rotulados.

1.COUNT -Indicador que é lido juntamente com os valores da pressão neutra residual em pontos arbitrários do maciço.

Ele poderá possuir os seguintes valores:

COUNT=0 -Na leitura das pressões neutras residuais ainda existem valores a serem lidos.

COUNT≠0 -Neste caso,não existem mais valores de pressões neutras residuais a serem lidos.

2.GAMMA -Indicador que caracteriza o método de cálculo das pressões efetivas de cobrimento e as pressões de pré-adensamento,no subsolo compressível.GAMMA poderá assumir os seguintes valores:

GAMMA=0 -As pressões efetivas de cobrimento e as pressões de pré-adensamento serão especificadas pelo usuário. Isto possibilita a consideração de solo pré-adensado.

GAMMA>0 -Neste caso este parâmetro representa o peso específico submerso do solo que compõe o maciço compressível.Este valor será utilizado no cálculo das pressões efetivas de cobrimento.O subsolo será normalmente adensado,já que as pressões de pré-adensamento serão feitas iguais as pressões calculadas.

3.LAYER -Indicador que caracteriza a existência ou não de subsolo estratificado com duas camadas de solo mole.

Ele poderá possuir os seguintes valores:

LAYER≠0 -Quando este indicador assumir valores entre 3 e (MYE-3),o subsolo compressível será estratificado e LAYER indicará o nº de pontos nodais existentes na camada superior da estratificação,em cada vertical

da malha.

LAYER=0-Neste caso o subsolo é constituído de uma única camada de solo mole.

- 4.LL -Este indicador não é especificado pelo usuário, já que ele é criado dentro do programa principal SAND.  
Definindo-se NL como sendo o nº total de etapas de carga, LL é criado como sendo um contador das etapas de carga já aplicadas.LL poderá assumir os seguintes valores:  
LL≤NL -Ainda existem etapas de carga a serem aplicadas.  
LL>NL -Neste caso todas as etapas de carga já foram consideradas.
- 5.NRWE -Indicador utilizado somente no programa principal DETR.  
Ele caracteriza a leitura ou não dos valores das razões do dreno,RWE, entre as quais será escolhida aquela que garantirá um especificado fator de segurança e um recalque no tempo de construção do aterro.  
NRWE=0 -Os valores das razões do dreno,que serão testadas, se encontram na declaração DATA existente no início do programa.  
NRWE>0 -Neste caso o seu valor indicará o nº de razões,RWE, que serão testadas no programa,especificadas pelo usuário.
- 6.PU -Indicador do cálculo da pressão neutra dos gases existentes nos vazios do solo.PU poderá possuir os seguintes valores:  
PU=0 -A pressão neutra dos gases será calculada pelo programa.  
PU>0 -Neste caso este será o valor da pressão neutra existente nos gases.
- 7.RWE -Indicador que caracteriza a existência ou não de drenagem radial.RWE poderá possuir os seguintes valores:  
RWE=0 -Não existirá drenagem radial.  
RWE>0 -Neste caso existirá drenagem radial e seu valor indicará a razão entre o raio do poço drenante(RW) e o raio de influência do dreno(RE).



### III.7- Problemas práticos que poderão ser analisados.

A classificação dos possíveis problemas a serem tratados pelos programas, se prendem a cinco características básicas:

1 - Quanto a construção do aterro, os possíveis problemas podem ser:

- a) Aterros a serem construídos;
- b) Aterros já parcialmente construídos; e
- c) Aterros já totalmente construídos.

2 - Quanto a variabilidade dos parâmetros dos quais dependem o adensamento do solo, os possíveis problemas podem ser:

- a) Parâmetros do solo variáveis durante o processo de adensamento; e
- b) Parâmetros do solo constantes durante a dissipação das pressões neutras.

3 - Quanto a saturação do solo compressível os possíveis problemas podem ser:

- a) Subsolo saturado; e
- b) Subsolo parcialmente saturado.

4 - Quanto a homogeneidade do maciço compressível, também possíveis dois tipos de problemas:

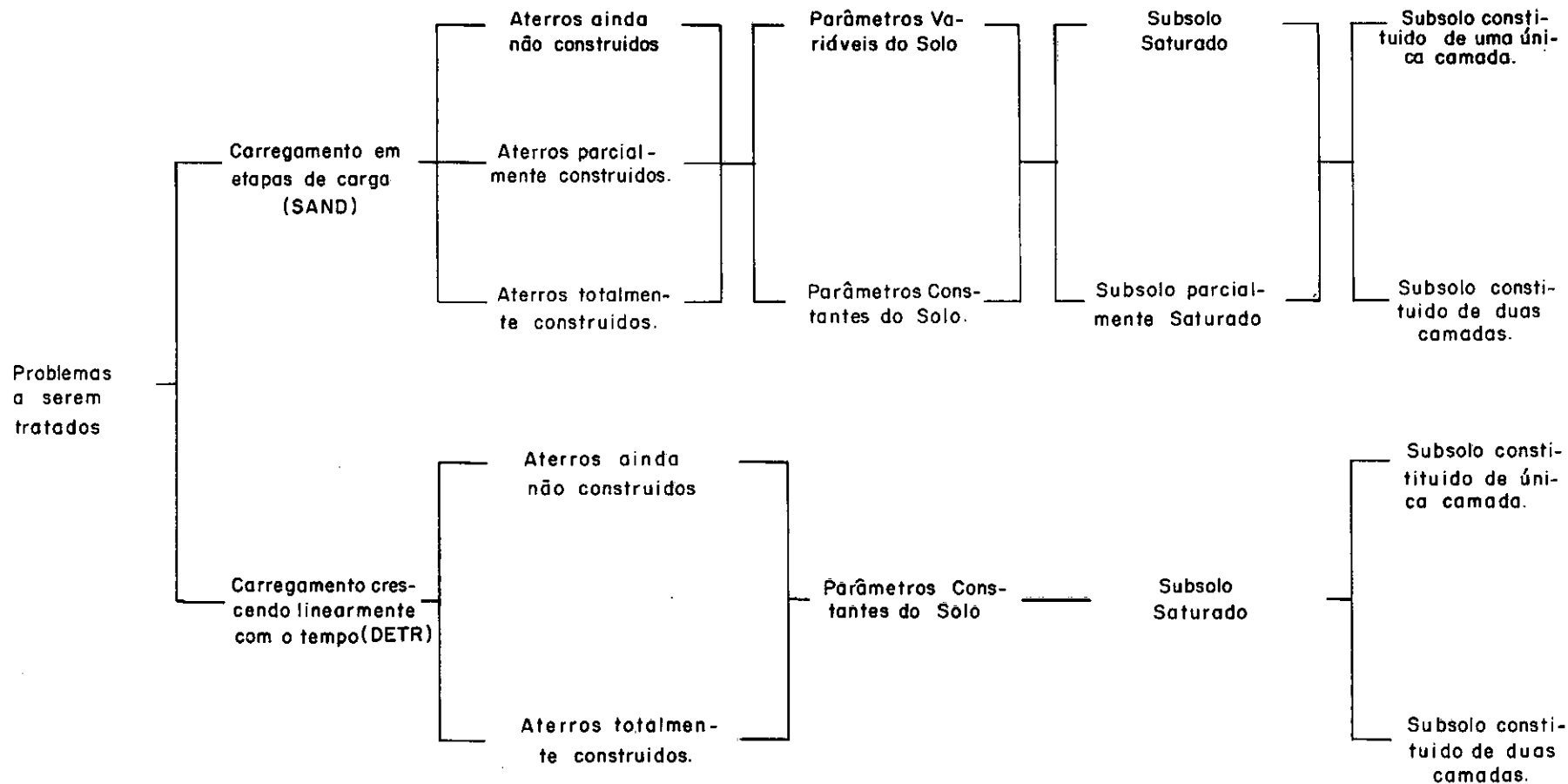
- a) Subsolo compressível constituído de uma única camada, com propriedades de adensamento diferentes nas direções vertical e radial; e
- b) Subsolo compressível constituído de duas camadas de estratificação.

5 - Quanto ao carregamento do solo mole, os possíveis problemas são os seguintes:

- a) Carregamento crescendo linearmente com o tempo, sem a definição de etapas de carga; e
- b) Carregamento em etapas de carga.

Nem todas as combinações, destes onze tipos de problemas, são possíveis de serem tratadas pelos programas SAND e DETR. O quadro (III.7-1) apresenta, todas as combinações, que caracterizam os diversos tipos de problemas.

A seguir serão tecidas considerações sobre o método utilizado no tratamento dos diversos tipos de problemas.



Quadro III.7-1 Fluxo apresentando os possíveis problemas a serem tratados pelos programas SAND e DETR.

Quanto a variabilidade dos parâmetros do solo durante o processo de adensamento podemos referenciar o seguinte:

a) Coeficiente de compressibilidade( $a_v$ ).

O coeficiente de compressibilidade poderá ser calculado a partir do índice de compressão, através da seguinte equação:

$$a_v = \frac{0,4343 \cdot C_c}{\sigma'_v} \quad (\text{III.7-1})$$

Assim, a variabilidade de  $a_v$  dependerá da variação de  $C_c$  e  $\sigma'_v$ .

Se  $\sigma'_0 + \Delta\sigma' < \sigma'_{vp}$  :

$$a_v = \frac{0,4343 \cdot (ROC \cdot C_c)}{\sigma'_0 + \Delta\sigma'} \quad (\text{III.7-2})$$

onde ROC é a razão entre a inclinação da reta de recompressão e o índice de compressibilidade do solo.

Se  $\sigma'_0 + \Delta\sigma' > \sigma'_{vp}$  :

$$a_v = \frac{0,4343 \cdot C_c}{\sigma'_0 + \Delta\sigma'} \quad (\text{III.7-3})$$

Tendo em vista que as equações (III.7-2) e (III.7-3) fornecem valores não realísticos para o coeficiente de adensamento, outras equações foram utilizadas.

Definindo-se:

$$\sigma'_{vq} = \sigma'_{vp} \cdot \left( \frac{\sigma'_0}{\sigma'_{vp}} \right)^{ROC} \quad (\text{III.7-4})$$

teremos:

Se  $\sigma'_0 + \Delta\sigma' > \sigma'_{vq}$  , a equação (III.7-3) representará a variabilidade de  $a_v$ .

Se  $\sigma'_0 + \Delta\sigma' < \sigma'_{vq}$  , o coeficiente de compressibilidade será constante, e então dois casos se apresentam:

1) Caso de subsolo normalmente adensado:

$$a_v = \frac{0,4343 \cdot C_c}{\sigma'_0} \quad (\text{III.7-5})$$

2) Caso de subsolo pré-adensado:

$$a_v = \frac{0,4343 \cdot C_c}{\sigma'_{vp}} \quad (\text{III.7-6})$$

b) Coeficiente de permeabilidade( $k_v, r$ ).

A equação que governa a variação do coeficiente de permeabilidade é a seguinte:

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{\Delta e}{Sk}\right) \quad (\text{III.7-7})$$

onde  $Sk$  é a inclinação da reta do gráfico ( $e \times k(\log)$ ).

A partir desta equação, dependendo da variabilidade, ou não, de  $a_v$ , foram programadas as seguintes equações:

1) Caso de  $a_v$  constante:

$$k = k_0 \cdot \exp\left(2,3026 \cdot \frac{a_v \cdot \Delta \sigma'}{Sk}\right) \quad (\text{III.7-8})$$

2) Caso de  $a_v$  variável:

$$k = k_0 \cdot \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_{vq}}\right)^{\frac{C_c}{Sk}} \quad (\text{III.7-9})$$

c) Coeficiente de adensamento( $C_v, r$ ).

Conhecidas as variações de  $a_v$  e  $k$ , teremos consequentemente a variabilidade do coeficiente de adensamento, que é a que nos interessa. Uma outra opção para se levar em consideração a variação de  $C_{v,r}$  durante o adensamento, é a de entrarmos com pontos discretos da curva ( $C_{v,r} \times \sigma'_{vq}$ ) e através da interpolação de Lagrange, determinar o valor de  $C_{v,r}$  para qualquer valor de  $(\sigma'_0 + \Delta \sigma')$ .

A consideração de parâmetros do solo variáveis durante o adensamento só é válida para o programa SAND. Para o programa DETR, a equação que governa a dissipação da pressão neutra foi programada considerando-se que o coeficiente de adensamento é independente da variação da tensão efetiva.

No caso dos parâmetros do solo serem constantes, serão dados

de entrada, o coeficiente de compressibilidade (AVD) e os coeficientes de permeabilidade (KVO e KRO). A partir destes valores obteríamos o coeficiente de adensamento (CV e CR). Se porventura entrarmos diretamente com CV e CR, os valores de KVO e KRO não precisarão ser levados em consideração, enquanto que AVD, mesmo assim, será necessário porque ele é usado no cálculo dos recalques.

Quanto a consideração de subsolo estratificado com duas camadas, as seguintes considerações são necessárias para o esclarecimento do problema:

A definição do caso de estratificação, com no máximo duas camadas compressíveis, é feito pela localização da camada de interface entre elas. A variável utilizada para isto é o parâmetro LAYER. Caso haja dupla camada ele será maior ou igual a 3 e menor que (MYE-3); caso contrário ele será zero. Este parâmetro indica o nº de ordenadas existentes na camada superior, que compõem a malha de pontos nodais. Exemplificando melhor, se LAYER=5, significa que na 5ª ordenada está localizada a camada de interface, existente devido a estratificação..

Estando caracterizada a presença da camada de interface, deveremos agora identificar os parâmetros do solo de ambas as camadas. Ao invés de entrarmos com estes valores, tanto para a camada superior como para a inferior, a programação foi feita para entrarmos com os parâmetros da camada superior, e as respectivas razões entre os correspondentes parâmetros da camada inferior sobre os da camada superior. A única exceção é o parâmetro ROCL, que é definido como sendo a razão entre o índice de recompressão da camada inferior e o índice de compressibilidade da camada superior.

Observe que neste caso a razão correlaciona parâmetros diferentes de ambas as camadas.

Quanto a consideração de aterros já parcialmente construídos poderemos utilizar o programa SAND para fazer a previsão do seu comportamento futuro. Esta fase inicial, já construída, é considerada como a primeira etapa de carga. A importância deste tipo de problema é principalmente a de podermos considerar as verdadeiras pressões neutras que foram induzidas no maciço devido a esta carga.

Estas pressões neutras, determinadas por piezômetros, serão introduzidas no programa quando a variável indicadora IDEN(1) assumir qualquer valor negativo. Neste caso estas pressões neutras serão consideradas como pressões neutras residuais a serem utilizadas na próxima etapa de carga.

### III.8- Manual de utilização dos programas.

Como já foi dito anteriormente, a utilização dos programas é relativamente simples. O usuário precisará definir as características do maciço compressível, a geometria do aterro bem como os parâmetros envolvidos no embasamento teórico. Constará deste manual a sequência de leitura dos dados, o formato desta leitura e a descrição dos parâmetros lidos.

#### III.8-1- Dados de entrada do programa principal SAND.

1º READ - Formato 2014-Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

MYE -Nº de pontos nodais na direção vertical incluindo as fronteiras. Valor máximo:11.

MRE -Nº de verticais na direção radial, existentes na região de influência do dreno, incluindo as fronteiras. Valor máximo:5.

ITBL-Nº de tempos TB a serem considerados no processo de adensamento. Valor máximo:50.

ISP -Variável indicadora do procedimento a ser adotado quando da execução do programa.

2º READ --Formato 2014-Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

MX -Nº de abcissas (XE) que comporão a malha com verticais igualmente espaçadas. Valor máximo:51.

NI -Nº de abcissas (AX) que definirão os intervalos nos quais estarão as abcissas que comporão a malha com verticais não igualmente espaçadas. Valor máximo:5.

3º READ - Formato 10F8.3-Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

AX(I); I=1, NI -Limites adimensionais (divididos por w=100 metros) que definem os (NI-1) intervalos existentes.

4º READ - Formato 2014-Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

MXT(J); J=1, (NI-1)-Nº de abcissas (XT) existentes em cada um dos (NI-1) intervalos. A soma dos MXT(J) deverá ser inferior a 20.

5º READ - Formato 20I4 -Parâmetro em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=1.

IEND -Nº de abcissas (XT) que comporão a malha com verticais não igualmente espaçadas.Valor máximo:20.

6º READ - Formato 10F8.3 -Parâmetros em um ou mais cartões.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=1.

XT(I);I=1,IEND -Abcissas(XT)com valores adimensionais(divisionidos por w=100 metros)que comporão a malha irregular.

7º READ - Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

H -Espessura total da camada compressível.

RW -Raio do dreno.

RWE -Razão entre o raio do dreno e o raio de influência deste dreno.

GLOAD -Peso específico natural do material do aterro.

CLOAD -Resistência não drenada do material do aterro.

W -Comprimento de referência na direção horizontal, geralmente feito igual a 100 metros.

XDR -Distância ao eixo de simetria do dreno mais afastado.

YWM -Espessura do tapete drenante.

TGPHI -Tangente do ângulo de atrito interno da areia do tapete drenante.

8º READ - Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

IBCV -Indicador das condições de drenagem nas fronteiras da direção vertical.

IBCR -Indicador das condições de drenagem nas fronteiras da direção radial.

LAYER -Indicador que caracteriza a existência de estratificação.

9º READ - Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IBCV:IBCV=1.

HI -Espessura da camada de impedimento,localizada na parte inferior do solo compressível.

- RKV -Razão entre os coeficientes de permeabilidade vertical do solo compressível e da camada de impedimento.
- 10º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.  
 Leitura dependente do indicador IBCR:IBCR=4.  
 RSW -Razão entre o raio da região com smear e o raio do dreno.  
 RKR -Razão entre os coeficientes de permeabilidade, do solo mole e do solo da região com smear. RKR>1.
- 11º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.  
 Leitura dependente do indicador LAYER:(MYE-3)>LAYER>3.  
 Todas as razões listadas a seguir se referem ao valor do parâmetro para a camada inferior sobre o valor do mesmo parâmetro para a camada superior; com exceção do parâmetro ROCL.
- RK -Razão entre coeficientes de permeabilidade.  
 RC -Razão entre coeficientes de adensamento.  
 REO -Razão entre índices de vazios iniciais.  
 RAV -Razão entre coeficientes de compressibilidade.  
 RCC -Razão entre índices de compressibilidade.  
 ROCL -Razão entre o índice de recompressão e o índice de compressibilidade.
- 12º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.  
 Leitura independente de indicadores.  
 IVAR -Indicador que caracteriza a variabilidade dos parâmetros do solo mole.  
 IAV -Indicador da variabilidade do coeficiente de compressibilidade.  
 ICV -Indicador da leitura dos coeficientes de adensamento variáveis. Valor máximo:10.
- 13º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.  
 Leitura independente de indicadores.  
 EO -Índice de vazios inicial.  
 ASKPTN -Parâmetro A de Skempton.
- 14º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.  
 Leitura dependente do indicador IAV:IAV=0.  
 AVO -Coeficiente de compressibilidade que se manterá constante durante o adensamento.



15º READ - Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IAV:IAV=1.

CC -Índice de compressibilidade,

ROC -Razão entre o índice de recompressão e o índice de compressibilidade.

GAMMA -Indicador da leitura das pressões efetivas iniciais,devido o peso próprio do solo.

16º READ - Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador GAMMA:GAMMA=0.

P(1) -Pressão efetiva de cobrimento na fronteira superior do maciço compressível.

PC(1) -Respectivo valor da pressão de pré-adensamento.

17º READ - Formato 10F8.3 -Um par de valores(P,PC)por cartão.

Leitura dependente do indicador GAMMA:GAMMA=0.

P(I);I=2,MYE -Pressões efetivas iniciais de cobrimento nas profundidades YE.

PC(I);I=2,MYE-Respectivas pressões de pré-adensamento.

18º READ - Formato 4E10.5 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IVAR:IVAR=0.

CV -Coeficiente de adensamento para fluxo vertical.

CR -Coeficiente de adensamento para fluxo radial.

19º READ - Formato 4E10.5 -Um conjunto de valores(PCV,CVIN,PCR,CRIN)por cartão.

Leitura dependente do indicador ICV:ICV>0.

PCV(J);J=1,ICV -Pressões efetivas para as quais são conhecidos os coeficientes de adensamento para fluxo vertical.

CVIN(J);J=1,ICV -Respectivos coeficientes de adensamento.

PCR(J);J=1,ICV -Pressões efetivas para as quais são conhecidos os coeficientes de adensamento para fluxo radial.

CRIN(J);J=1,ICV -Respectivos coeficientes de adensamento.

20º READ - Formato 4E10.5 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IVAR:

IVAR=1,e do indicador ICV:ICV=0.

KVD -Coeficiente de permeabilidade inicial para fluxo vertical.

KRO -Coeficiente de permeabilidade inicial para fluxo radial.

21º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IAV:IAV=1,e do indicador IVAR:IVAR=1.

ISAT -Indicador que caracteriza a saturação do subsolo.

IK -Indicador da variabilidade do coeficiente de permeabilidade.

22º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISAT:ISAT=1.

S -Grau de saturação do subsolo compressível.

PU -Pressão neutra inicial dos gases nos poros do maciço compressível.

HC -Constante de Henry para a solubilidade de ar na água(HC=0,02).

BSKPTN -Coeficiente B de Skempton.

23º READ- Formato 10F8,3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IK:IK=1.

SKV -Coeficiente angular da reta obtida no gráfico  $e \times k_v(\log)$ .

SKR -Coeficiente angular da reta obtida no gráfico  $e \times k_r(\log)$ .

24º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

NC -Nº de valores a serem lidos,da resistência ao cisalhamento do solo mole.Valor máximo:20.

25º READ- Formato 10F8.3 -Um conjunto de valores(Y,UA,UB)por cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

Y -Profundidades nas quais serão lidos os valores de UA e UB.Se NC=MYE,estas profundidades serão feitas,internamente no programa,iguais a YE.

UA(I);I=1,NC-Valores da resistência ao cisalhamento CO(I).

UB(I);I=1,NC-Valores da razão (c/p),representada por CP(I).

26º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

MINP-Nº de pontos que definem a geometria da carga de referência.

NS -Nº de degraus que possuirá a aproximação escalonada, do trapézio que representa a carga de referência. Valor máximo: 30

27º READ- Formato 10F8.3 -Um par de valores(XINP,YINP)por cartão.

Leitura independente de indicadores.

XINP(I);I=1,MINP -Abcissas dos pontos que definem esta carga.

YINB(I);I=1,MINP -Respectivas ordenadas.

Estas coordenadas deverão estar em ordem crescentes das abcissas(XINP), iniciando pelo ponto XINP=0 e YINP=cota da plataforma do aterro em relação ao nível do terreno.

28º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

IDEN(I);I=1,NL -Indicador do caminho a ser seguido no cálculo das pressões neutras.

NL -Nº de etapas de carga final.Valor máximo:10.

29º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=1.

TL(J);J=1,NL -Tempos nos quais serão aplicadas cada uma das etapas de carga.

30º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

FSI -Fator de segurança especificado para a aplicação da primeira etapa de carga.

SPECS(1) -Porcentagem do recalque devido a aplicação da carga de referência,que deverá ocorrer durante a aplicação desta primeira etapa de carga.

SPECU(1) -Porcentagem do nº total de pontos nodais,nos quais,caso ocorra 95% de adensamento,as etapas de carga subseqüentes não serão consideradas.

TA -Tempo de construção do aterro.  
 DMAX -Máximo passo utilizado na variação das coordenadas do centro do provável círculo de escorregamento.  
 DMIN -Mínimo passo correspondente.  
 XC -Abcissa inicial do centro do círculo de deslizamento.  
 YC -Ordenada correspondente.  
 ZZ -Diferença entre o maior valor de YINP e o mínimo YC permissível.

31º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

NARC -Metade do nº de sub-arcos que compõe a parte do círculo de deslizamento que atravessa o subsolo compressível.

NRAD -Nº de raios a serem testados para cada centro do círculo de escorregamento,na procura do mínimo fator de segurança.

32º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão..

Leitura independente de indicadores.

MINP -Nº de pontos que definem a geometria da primeira etapa de carga.

NS -Nº de degraus que possuirá a aproximação escalonada do trapézio que representa a primeira etapa de carga.Valor máximo: 30

IAB -Indicador da leitura de novos parâmetros A e B de Skempton.

33º READ- Formato 10F8.3 -Um par de valores (XINP,YINP)por cartão.

Leitura independente de indicadores.

XINP(I);I=1,MINP -Abcissas dos pontos que definem a primeira etapa de carga.

YINP(I);I=1,MINP -Respectivas ordenadas.

Estas coordenadas deverão estar em ordem crescente das abcissas(XINP).

34º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IAB:IAB $\neq$ 0.

ASKPTN -Parâmetro A de Skempton.

BSKPTN -Parâmetro B de Skempton.

35º READ- Formato 20I4 -Parâmetro em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

IRP -Indicador da existência de pressões neutras residuais a serem consideradas nesta primeira etapa de carga.

36º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um ou mais cartões.

Leitura dependente do indicador IRP:IRP=1.

UC(I);I=1,ISUM -Pressões neutras nos pontos nodais da malha irregular existente no subsolo com pressível. ISUM representa o nº total de pontos nodais.

37º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IRP:IRP>1.

X -Abcissa do primeiro ponto no qual será lida a pressão neutra residual.

Y -Ordenada correspondente.

UA(1) -Pressão neutra residual neste ponto.

COUNT -Indicador que caracteriza a existência de mais pontos com pressão neutra residual.

38º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador COUNT:COUNT=0.

X -Abcissa do segundo ou seguinte ponto no qual será lida a pressão neutra residual.

Y -Ordenada correspondente.

U -Pressão neutra residual neste ponto.

COUNT -Idem ao 37º READ.

39º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador LL:LL $\leq$ NL.

MINP -Nº de pontos que definem a geometria do LL-ésimo carregamento.

NS -Nº de degraus que possuirá a aproximação escalonada do trapézio que representa esta carga.

IAB -Indicador da leitura de novos parâmetros A e B de Skempton.

Na primeira leitura deste READ o valor de LL inter  
namente no programa será 2, o qual será incrementa-  
do de 1 em 1, quando voltar a este READ. O seu valor  
máximo é NL.

40º READ- Formato 10F8.3 -Um par de valores(XINP,YINP)por cartão.

Leitura dependente do indicador LL:LL<NL.

XINP(I); I=1,MINP -Abcissas dos pontos que definem a se-  
gunda ou a próxima etapa de carga.

YINP(I); I=1,MINP -Respectivas ordenadas.

Estas coordenadas deverão estar em ordem cres-  
cente das abcissas(XINP).

41º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IAB:IAB#0.

ASKPTN -Parâmetro A de Skempton.

BSKPTN -Parâmetro B de Skempton.

42º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetro em um único cartão.

Leitura dependente do indicador LL:LL≤NL e do indica-  
dor ISP:ISP=0.

FSI -Fator de segurança exigido para a a-  
plicação da LL-ésima carga.

SPECS(LL); LL=2,NL -Porcentagem do recalque total que de-  
verá ocorrer durante a aplicação des-  
ta LL-ésima etapa de carga.

SPECU(LL); LL=2,NL -Porcentagem do nº total de pontos no  
dais, nos quais, caso ocorra 95% de aden-  
samento, as etapas de carga subsequen-  
tes não serão consideradas.

TMIN -Tempo mínimo que deverá transcorrer  
desde a aplicação desta LL-ésima, para  
que seja feita a primeira análise da  
estabilidade.

XC -Abcissa inicial do centro do círculo  
de deslizamento.

YC -Ordenada correspondente.

ZZ -Diferença entre o maior YINP e o mí-  
nimo YC permissível.

Os READs de nº 39,40,41 e 42 serão lidos (NL-1)vezes.

43º READ- Formato 20I4 -Parâmetro em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

JEND -Nº de abcissas da malha regular,para as quais se deseja conhecer os graus de adensamento médios e recalques,variando com o tempo.Valor máximo-6.

44º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

JSP(I);I=1,JEND -Nº de ordem da abcissa da malha regular,para as quais serão impressos os valores de pressão neutra e recalques.

45º READ- Formato 7A1 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

BLANK -Espaço em branco.

STAR -Asterístico.

GRID -Delimitador da escala horizontal do gráfico a ser plotado.Adota-se a letra I.

SYMB(I);I=1,4-Símbolos utilizados para representar as curvas a serem traçadas.Adota-se os seguintes símbolos:

SYMB(1)=U -Grau de adensamento.

SYMB(2)=C -Recalque por adensamento.

SYMB(3)=O -Recalque imediato.

SYMB(4)=T -Recalque total.

46º READ- Formato 20I4 -Parâmetro em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

LEND -Nº máximo de linhas que possuirá o gráfico a ser plotado.Este nº representa na realidade,o nº de semanas contadas a partir do início da construção do aterro,nas quais os valores dos graus de adensamento e dos recalques serão impressos graficamente.

47º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetro em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

H -Espessura do maciço compressível.Se H=0.0 o programa

será terminado, enquanto que, se  $H=99.0$  o programa continuará, lendo os dados referentes a um novo problema exemplo. Este cartão deverá estar obrigatoriamente no final da massa de dados de cada problema exemplo.

### III.8-2 Dados de entrada do programa principal DETR.

1º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

MYE -Nº de pontos nodais na direção vertical incluindo as fronteiras. Valor máximo:11.

MRE -Nº de verticais na direção radial, existentes na região de influência do dreno, incluindo as fronteiras. Valor máximo:5.

IT -Nº de tempos TB a serem considerados no processo de adensamento. Valor máximo:50.

ISP -Variável indicadora do procedimento a ser adotado quando da execução do programa.

2º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

MX -Nº de abcissas(XE) que comporão a malha com verticais igualmente espaçadas. Valor máximo:51.

NI -Nº de abcissas(AX) que definirão os intervalos nos quais estarão as abcissas que comporão a malha com verticais não igualmente espaçadas. Valor máximo:5.

3º READ- Formato 10F8.3 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

AX(I); I=1, NI -Limites adimensionais (divididos por  $W=100$  metros) que definem os (NI-1) intervalos.

4º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

MXT(J); J=1, (NI-1) -Nº de abcissas (XT) existentes em cada um dos (NI-1) intervalos.

A soma dos MXT(J) deverá ser inferior a 20.

5º READ- Formato 20I4 -Parâmetro em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=1.



- IEND -Nº de abcissas (XT) que comporão a malha com ~~ver-~~  
 ticais não igualmente espaçadas.Valor máximo:20.
- 6º READ - Formato 10F8.3 -Parâmetros em um ou mais cartões.  
 Leitura dependente do indicador ISP:ISP=1.  
 XT(I);I=1,IEND -Abcissas (XT) com valores adimensionais  
 (divididos por  $w=100$  metros)que comporão  
 a malha irregular.
- 7º READ - Formato 10F8.3 -Parâmetros em um Único cartão.  
 Leitura independente de indicadores.
- H -Espessura total da camada compressível.  
 RW -Raio do dreno.  
 GLOAD -Peso específico natural do material do aterro.  
 CLOAD -Resistência não drenada do material do aterro.  
 W -Comprimento de referência na direção horizontal  
 geralmente feito igual a 100 metros,  
 XDR -Distância ao eixo de simetria do dreno mais a-  
 fastado.  
 YWM -Espessura do tapete drenante.  
 TGPHI -Tangente do ângulo de atrito interno da areia do  
 tapete drenante.
- 8º READ - Formato 20I4 -Parâmetro em um Único cartão .  
 Leitura independente de indicadores.  
 NRWE -Indicador que caracteriza a leitura das razões do  
 dreno(RWE).Valor máximo:10.
- 9º READ - Formato 10F8.3 -Parâmetros em um Único cartão.  
 Leitura dependente do indicador NRWE:NRWE>0.  
 RHOIN(J);J=1,NRWE -Valor das razões do dreno(RW/RE)entre  
 as quais será escolhida aquela que ga-  
 rante que determinadas especificações  
 de recalque e de fator de segurança,  
 ocorrerão no tempo de construção.
- 10º READ- Formato 20I4 -Parâmetros em um Único cartão.  
 Leitura independente de indicadores.
- IBCV -Indicador das condições de drenagem nas fronteiras  
 da direção vertical,  
 IBCR -Indicador das condições de drenagem nas fronteiras  
 da direção radial.

LAYER -Indicador que caracteriza a existência de estratificação.

IAV -Indicador da variabilidade do coeficiente de compressibilidade.

11º READ- Formato 10F8.3- Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IBCR:IBCR=4.

RSW -Razão entre o raio da região com smear e o raio do dreno.

RKR -Razão entre os coeficientes de permeabilidade do solo mole e do solo da região com smear.RKR>1.

12º READ- Formato 10F8.3- Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador LAYER:(MYE-3)>LAYER≥3.

Tôdas as razões listadas a seguir se referem ao valor do parâmetro para a camada inferior sôbre o valor do mesmo parâmetro para a camada superior,com excessão do parâmetro ROCL.

RK -Razão entre coeficientes de permeabilidade.

RC -Razão entre coeficientes de adensamento.

RED -Razão entre índices de vazios iniciais.

RAV -Razão entre coeficientes de compressibilidade.

RCC -Razão entre índices de compressibilidade.

ROCL -Razão entre o índice de recompressão e o índice de compressibilidade.

13º READ- Formato 10F8.3- Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

ED -Índice de vazios inicial.

A -Parâmetro de Skempton para pressão neutra.

14º READ- Formato 10F8.3- Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador IAV:IAV=1.

CC -Índice de compressibilidade.

ROC -Razão entre o índice de recompressão e o índice de compressibilidade.

GAMMA -Indicador da leitura das pressões efetivas iniciais,devido ao peso próprio do solo.

15º READ- Formato 10F8.3- Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador GAMMA:GAMMA=0.

- P(1) -Pressão efetiva de cobrimento na fronteira superior do maciço compressível.
- PC(1) -Respectivo valor da pressão de pré-adensamento.
- 16º READ- Formato 10F8.3- Um par de valores(P,PC)por cartão.  
Leitura dependente do indicador GAMMA:GAMMA=0.
- P(I);I=2,MYE -Pressões efetivas iniciais de cobrimento nas profundidades YE.
- PC(I);I=2,MYE -Respectivas pressões de pré-adensamento.
- 17º READ- Formato 10F8.3- Parâmetro em um único cartão.  
Leitura dependente do indicador IAV:IAV=0.
- AVO -Coeficiente de compressibilidade que se manterá constante durante o adensamento.
- 18º READ- Formato 4E10.5- Parâmetros em um único cartão.  
Leitura independente de indicadores.
- CV -Coeficiente de adensamento para fluxo vertical,que se manterá constante durante o adensamento.
- CR -Coeficiente de adensamento para fluxo radial,que se manterá constante durante o adensamento.
- 19º READ- Formato 20I4- Parâmetro em um único cartão.  
Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.
- NC -Nº de valores a serem lidos,da resistência ao cisalhamento do solo mole.Valor máximo:20.
- 20º READ- Formato 10F8.3- Um conjunto de valores(Y,UA,UB)por cartão.  
Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.
- Y -Profundidades nas quais serão lidos os valores de UA e UB.Se NC=MYE,estas profundidades serão feitas,internamente no programa,iguais a YE.
- UA(I);I=1,NC -Valores da resistência ao cisalhamento C(I).
- UB(I);I=1,NC -Valores da razão(c/p),representada por CP(I).
- 21º READ- Formato 20I4- Parâmetros em um único cartão.  
Leitura independente de indicadores.
- MINP -Nº de pontos que definem a geometria da carga de referência.
- NS -Nº de degraus que possuirá a aproximação escalonada do trapézio que representa a carga de referência.  
Valor máximo: 30

22º READ- Formato 10F8.3- Um par de valores(XINP,YINP) por cartão.

Leitura independente de indicadores.

XINP(J);J=1,MINP -Abcissas dos pontos que definem a carga de referência.

YINP(J);J=L,MINP -Respectivas ordenadas.

Estas coordenadas deverão estar em ordem crescente das abcissas(XINP).

O primeiro ponto terá obrigatoriamente XINP=0 e YINP= cota da plataforma do aterro em relação ao nível do terreno.

23º READ- Formato 10F8.3- Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

TA -Tempo de construção do aterro.

SPECS -Valor especificado do recalque,na vertical XT(1), devido a aplicação da carga de referência,que deverá ocorrer até o tempo TA.  
Observe que esta definição difere daquela apresentada no programa SAND,para este mesmo parâmetro.

C -Porcentagem da carga de referência,que será aplicada instantaneamente no tempo zero.

FSI -Fator de segurança considerado mínimo,que deverá existir no tempo TA.

FSLT -Fator de segurança considerado mínimo,que deverá existir a longo prazo,ou seja,após todo o excesso de pressão neutra ter sido dissipado.

DMAX -Máximo passo utilizado na variação das coordenadas do centro do provável círculo de escorregamento.

DMIN -Mínimo passo correspondente.

XC -Abcissa inicial do centro de círculo de deslizamento.

YC -Ordenada correspondente.

ZZ -Diferença entre o maior valor de YINP e o mínimo YC permissível.

24º READ- Formato 20I4- Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

NARC -Metade do nº de sub-arcos que compõe a parte do círculo de deslizamento que atravessa o subsolo compressível.

NRAD -Nº de raios a serem testados para cada centro do círculo de escorregamento,na procura do mínimo fator de segurança.

25º READ- Formato 20I4- Parâmetro em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

JEND -Nº de abscissas da malha regular,para as quais se deseja conhecer os graus de adensamento médios e recalques,variando com o tempo.Valor máximo:6.

26º READ- Formato 20I4- Parâmetros em um único cartão.

Leitura dependente do indicador ISP:ISP=0.

JSP(I);I=1,JEND -Nº de ordem da abscissa da malha regular,para as quais serão impressos os valores dos graus de adensamento médio e recalques.

27º READ- Formato 7A1- Parâmetros em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

BLANK -Espaço em branco.

STAR -Asterísticos.

GRID -Delimitador da escala horizontal do gráfico a ser plotado.Adota-se a letra I.

SYMB(I);I=1,4-Símbolos utilizados para representar as curvas a serem traçadas .Adotam-se os seguintes símbolos:

SYMB(1)=U -Grau de adensamento.

SYMB(2)=C -Recalque por adensamento.

SYMB(3)=O -Recalque imediato.

SYMB(4)=T -Recalque total.

28º READ- Formato 20I4- Parâmetro em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

LEND -Nº máximo de linhas que possuirá o gráfico a ser plotado.Este nº representa na realidade,o nº de semanas contadas a partir do início da construção

do aterro, nas quais os valores dos graus de adensamento e dos recalques serão impressos graficamente.

29º READ- Formato 10F8.3- Parâmetro em um único cartão.

Leitura independente de indicadores.

H -Espessura do maciço compressível. Se  $H=0.0$  o programa será terminado, enquanto que se  $H=99.0$  o programa continuará, lendo os dados referentes a um novo problema exemplo. Este cartão deverá estar obrigatoriamente no final da massa de dados de cada problema e exemplo.

### III.9- Modificações introduzidas nos programas originais.

Já foi dito na introdução deste trabalho, que não se visou a modificação das teorias empregadas por Krizek & Krugmann na previsão do comportamento de aterros sobre solos moles. Porém a implantação dos programas exigiu que determinadas modificações fossem introduzidas, não só para possibilitar a sua execução, mas também para complementar certas atividades.

#### III.9-1- Variáveis em COMMON.

O programa original de Krizek & Krugmann foi feito na linguagem FORTRAN IV e foi executado em um computador CDC-6400 da Control Data Computer. A implantação, aqui no Brasil, foi feita em um computador B-6700 da BURROUGHS. Devido ao sistema de armazenagem de dados na memória ser diferente para ambos os computadores, foi necessário descobrir quais as variáveis que no CDC-6400 eram guardadas automaticamente e que no B-6700 eram zeradas a cada nova utilização, já que seus valores anteriores eram perdidos por não terem sido armazenados.

Tôdas estas variáveis se caracterizavam por terem sido calculadas numa subrotina e quando da sua utilização posterior nesta subrotina, estavam zeradas, embora aquele valor anteriormente calculado era o que deveria ser mantido.

Para resolver este problema, os seguintes COMMONs foram introduzidos:

COMMON/RONA/PQ, ALPHA -Subrotina COEF.

COMMON/RONA1/EIGV, EIGR, XV, XR, XVI, XRI, AUX -Subrotina DISP.

COMMON/RONA2/A, B -Subrotina DISP.

Com isto, o problema da perda dos valores de uma variável reutilizada, foi

resolvido.

### III.9-2- Continuação na leitura de dados caso o SPECU seja atingido.

Como foi definido no manual do usuário, SPECU representa a percentagem do nº total de pontos nodais, nos quais caso ocorra 95% de adensamento, as etapas de carga seguintes serão desconsideradas. No entanto, estas etapas de carga que não serão levadas em consideração, se encontram na massa de dados do problema. Para que possamos ler os próximos dados que serão utilizados ainda neste mesmo problema exemplo, deveremos antes ler os dados referentes a estas etapas de carga que serão desconsideradas. Foi esta leitura que foi introduzida e ela consta dos seguintes cartões:

```

      :
      :
      : NLRO = NL
      :
      :
200  IF(NL.EQ.NLRO) GO TO 201
      NLDIF = NLRO - LL
      DO 202 I = 1, NLDIF
      LL = LL + 1
      READ(INPUT,191)MINP,NS,IAB
      DO 203 J = 1,MINP
203  READ(INPUT,192)XINP(J),YINP(J)
      READ(INPUT,192)FSI,SPECS(LL),SPECU(LL),TMIN,XC,YC,ZZ
202  CONTINUE
201  LOCK 1

```

Com isto então, os dados das cargas são lidos, possibilitando assim a continuação normal da leitura dos dados deste problema exemplo.

### III.9-3- Reformulação da formatação de saída.

Os relatórios emitidos a cada execução dos programas, foram refeitos visando uma melhor apresentação e tornando-os auto-explicativos, na medida do possível, para quem lê-los.

O projeto da nova formatação foi feito e todos os cartões de impressão(WRITE) foram modificados. A sequência de impressão foi mantida igual ao do programa original.

### III.9-4- Recomendação para a utilização dos programas.

Quando da utilização dos programas pelo usuário, uma conferência minuciosa dos dados deverá ser feita, para garantir a sua perfeita execução.

Erros do tipo:

FORMAT ERROR

INVALID INDEX

ARG.SQRT INVALID etc...

se referem geralmente a dados incorretos, ou localizados incorretamente no cartão.

Um outro tipo de erro muito comum que poderá ocorrer, é o de na hora de relacionar os dados, pular um dos READs apresentados no manual do usuário, fazendo com que a leitura pelo computador seja defeituosa. Por isto uma revisão dos indicadores utilizados, bem como a conferência dos READs tirados do manual, são indispensáveis.

### III.9-5- Alteração do sistema de unidades.

O programa original utiliza o sistema inglês de unidades. Para a sua transformação no sistema Internacional de unidades certas modificações foram introduzidas. As unidades utilizadas passaram a ser:

Comprimento-METRO(M).

Força - TONELADA FORÇA(TON)

Tempo -DIA



## CAPÍTULO IV

## APLICAÇÕES DE VERIFICAÇÃO DOS PROGRAMAS

Na apresentação dos programas originais de Krizek & Krugman existem tres exemplos de verificação do funcionamento dos programas. Estes exemplos serão também aqui apresentados, a fim de que se possa comprovar que estes programas funcionam da mesma maneira que os programas originais. Os resultados aqui apresentados conferem totalmente com aqueles relatados na bibliografia base, embora as unidades tenham sido alteradas para o sistema métrico decimal.

## IV.1- Primeiro problema exemplo - Programa SAND.

Os dados que caracterizam esta execução se encontram no quadro(IV.1-1). Eles serão melhor compreendidos se sua leitura for acompanhada pelo manual do usuário que se encontra no capítulo anterior.

A seguir se encontra o relatório completo dos resultados deste primeiro problema exemplo.

[illegible]



[illegible][illegible]

A large graphic of a 10x10 grid of stars. The stars are arranged in a grid where the main diagonal stars are highlighted in a larger, bolder font, while the off-diagonal stars are smaller and lighter. This visualizes the concept of a diagonal matrix.

A large rectangular frame composed of small stars, with the word "FAMILY" written vertically in the center.

```

*****
*          PROGRAMA PRINCIPAL SAND          *
*          ETAPAS DE CARGA E SOBRECARGA      *
*****

```

\*\*\* MALHA EXISTENTE NO MACICO COMPRESSIVEL \*\*\*

PONTOS (YE/H) EXISTENTES EM CADA VERTICAL:

0.000	0.100	0.200	0.300	0.400
0.500	0.600	0.700	0.800	0.900
1.000				

VERTICAIS(XT/W) QUE COMPOEM A MALHA:

0.000	0.213
-------	-------

VERTICAIS NO INTERIOR DA REGIAO DE INFLUENCIA DO DRENO,  
NAS QUAIS AS PRESSOES NEUTRAS RADIAIS FORAM CALCULADAS:

R (METROS)=	0.324	0.482	0.672	0.893	1.145
-------------	-------	-------	-------	-------	-------

\*\*\* PARAMETROS QUE CARACTERIZAM O MACICO COMPRESSIVEL \*\*\*

ESPESSURA TOTAL H= 4.877 METROS

COMPRIMENTO DE REFERENCIA NA DIRECAO X W= 100.0 METROS

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADOADOS: A= 0.50 E B= 0.95

SATURACAO PARCIAL DO SUBSOLO, COM:

- GRAU DE SATURACAO S= 0.980
- CONSTANTE DE HENRY PARA SOLUBILIDADE DE GASES HC= 0.020
- PRESSAO NEUTRA INICIAL DOS GASES NOS POROS PU=12.772TON/M2

PARAMETROS ESPECIFICOS DE ADENSAMENTO, ELES PERTENCERAO A CAMADA SUPERIOR NO CASO DE ESTRATIFICACAO.

INDICE DE VAZIOS INICIAL EO= 1.175

INDICE DE COMPRESSIBILIDADE CC= 1.180

RAZAO ENTRE RECOMPRESSAO E INDICE DE COMPRESSIBILIDADE ROC= 1.000

DISTRIBUICAO DAS PRESSOES GEOSTATICAS NO SUBSOLO COMPRESSIVEL:

- Y PROFUNDIDADE EM RELACAO AO NIVEL DO TERRENO.
- P(1) PRESSAO EFETIVA INICIAL.
- PC(1) PRESSAO DE PRE-ADENSAMENTO.

Y (METROS)	P(TON/M2)	PC(TON/M2)
0.000	0.459	0.459
0.488	0.459	0.459
0.975	0.919	0.919
1.463	1.378	1.378
1.951	1.838	1.838
2.439	2.297	2.297
2.926	2.756	2.756
3.414	3.216	3.216
3.902	3.675	3.675
4.389	4.135	4.135
4.877	4.594	4.594

OBSERVACAO: OS VALORES DE P(1) E PC(1), LISTADOS ANTERIORMENTE  
PODEM TER SIDO ALTERADOS PARA EVITAR DIVISAO POR  
ZERO NO CALCULO DO PLUG(1).

- COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE INICIAIS :  
 PARA FLUXO VERTICAL  $KVD = .939E-03$  M/DIA  
 PARA FLUXO RADIAL  $KRD = .191E-02$  M/DIA
- INCLINACAO DA CURVA E X K(LOG) :  
 PARA FLUXO VERTICAL  $SKV = 0.400$   
 PARA FLUXO RADIAL  $SKR = 0.350$

\*\*\* CONDICÕES DE DRENAGEM NO MACICO COMPRESSIVEL \*\*\*

RAIO DO POCO DE DRENAGEM  $RW = 0.229$  METROS  
 RAZAO DO DRENO (RW/RE)  $RWE = 0.200$   
 RAIU DE INFLUENCIA DO DRENO  $RE = 1.145$  METROS

- DRENAGEM IMPEDIDA NA FRONTEIRA DO POCO COM :  
 RAIO DO "SMEAR"(RS)/RAIO DO POCO(RW)  $RSW = 1.414$   
 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE RADIAL/ COEF.  
 PERMEABILIDADE INICIAL "SMEAR"  $RKR = 4.000$
- DRENAGEM NULA NA BASE DO SUBSOLO COMPRESSIVEL.
- DRENAGEM NULA NA FRONTEIRA DE INFLUENCIA DO DRENO.
- A ULTIMA VERTICAL COM DRENAGEM RADIAL, DISTA 16.764 METROS DO EIXO DE SIMETRIA DO ATERRO.

```

*****
*                                     *
*   CARGA DE REFERENCIA             *
*                                     *
*****

```

E A CARGA FINAL QUE ATUARA NO MACICO COMPRESSIVEL

#### CARACTERISTICAS DESTA CARGA

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1- PESO ESPECIFICO NATURAL                                       | GLOAD= 2.002 TON/M3 |
| 2- RESISTENCIA NA DRENADA  | CLOAD= 4.882 TON/M2 |
| 3- ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE                                  | YWM= 0.610 METROS   |
| 4- TANGENTE DO ANGULO DE ATRITO INTERNO DO TAPETE DRENANTE       | TGHPI= 0.000        |
| 5- COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO |                     |

XINP(METROS)

YINP(METROS)

0.000  
12.192  
21.336

1.524  
1.524  
0.000

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADOTADOS: A= 0.50 , B= 0.95

NO CALCULO DAS TENSÕES NO SUBSOLO COMPRESSIVEL, ESTA CARGA FOI APROXIMADA POR 5 CARGAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS, QUE SE ESTENDEM DESDE X=0 ATÉ X=ALPHA(I). SE ALPHA(I) FOR NEGATIVO, ESTA CARGA SERA SUBTRAIDA.

ALPHA( 1)=20.422 METROS

ALPHA( 2)=18.593 METROS

ALPHA( 3)=16.764 METROS

ALPHA( 4)=14.935 METROS

ALPHA( 5)=13.106 METROS

VALORES DAS PRESSÕES NEUTRAS MEDIAS INICIAIS E DOS RECALQUES NAS 2 VERTICAIS XT :

- XT(1) DISTANCIA DA I-ESIMA VERTICAL AO EIXO DE SIMETRIA
- UAUVER(I) PRESSAO NEUTRA MEDIA INICIAL NA I-ESIMA VERTICAL
- SETRC(I) RECALQUE DE ADENSAMENTO NA I-ESIMA VERTICAL
- SETRT(I) RECALQUE TOTAL NA I-ESIMA VERTICAL

XT(METROS)	UAUVER(TON/M2)	SETRC(METROS)	SETRT(METROS)
0.000	2.812	1.138	1.173
21.300	0.556	0.347	0.362

NUMERO PREVISTO PARA ETAPAS DE CARREGAMENTO PARA OBTENCAO DA CARGA FINAL NO SUBSOLO COMPRESSIVEL NL= 2



## TEMPOS DE ADICAO DAS ETAPAS DE CARGA

TL( 1)= 60. DIAS

TL( 2)= 160. DIAS

AS PRESSDES NEUTRAS RESIDUAIS FORAM LIDAS COMO SE SEGUE :

X(METROS)	Y(METROS)	UC(TON/M2)
10.668	1.219	0.366
10.668	4.572	0.366
32.004	2.591	0.122

```
*****
*
* ETAPA DE CARGA NUMERO 1 *
*
*****
```

TEMPO DE APLICACAO TL= 60. DIAS

CARACTERISTICAS DESTA CARGA

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1- PESO ESPECIFICO NATURAL                                       | GLOAD= 2.002 TON/M3 |
| 2- RESISTENCIA NAO DRENADA                                       | CLOAD= 4.882 TON/M2 |
| 3- ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE                                  | YWM= 0.610 METROS   |
| 4- TANGENTE DO ANGULO DE ATRITO INTERNO DO TAPETE DRENANTE       | TGHPI= 0.000        |
| 5- COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO |                     |

XINP(METROS)

YINP(METROS)

0.000  
9.144  
12.192  
21.336

3.048  
3.048  
1.524  
0.000

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADUTADOS: A= 0.50 , B= 0.95

NO CALCULO DAS TENSÕES NO SUBSOLO COMPRESSIVEL, ESTA CARGA FOI APROXIMADA POR 10 CARGAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS, QUE SE ESTENDEM DESDE X=0 ATÉ X=ALPHA(I). SE ALPHA(I) FOR NEGATIVO, ESTA CARGA SERA SUBTRAIDA.

ALPHA( 1)=20.422 METROS

ALPHA( 2)=18.593 METROS

ALPHA( 3)=16.764 METROS

ALPHA( 4)=14.935 METROS

ALPHA( 5)=13.106 METROS

ALPHA( 6)=11.867 METROS

ALPHA( 7)=11.278 METROS

ALPHA( 8)=10.668 METROS

ALPHA( 9)=10.058 METROS

ALPHA(10)= 9.449 METROS

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 0.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.509	5.941	5.941	5.941	5.941
4.520	5.956	5.956	5.956	5.956
4.531	5.971	5.971	5.971	5.971
4.543	5.986	5.986	5.986	5.986
4.554	6.001	6.001	6.001	6.001
4.565	6.016	6.016	6.016	6.016
4.577	6.031	6.031	6.031	6.031
4.588	6.046	6.046	6.046	6.046
4.599	6.061	6.061	6.061	6.061
4.611	6.075	6.075	6.075	6.075

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 0.

X/W= 0.213

0.000  
0.906  
0.974  
1.007  
1.021  
1.022  
1.013  
0.995  
0.970  
0.937  
0.898

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 7.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.833	3.733	4.344	4.679	4.783
3.377	4.450	5.179	5.578	5.701
3.440	4.533	5.276	5.683	5.808
3.453	4.550	5.295	5.703	5.829
3.462	4.562	5.308	5.718	5.844
3.470	4.573	5.322	5.732	5.859
3.479	4.584	5.335	5.747	5.873
3.488	4.596	5.348	5.761	5.888
3.496	4.607	5.361	5.774	5.902
3.502	4.614	5.370	5.784	5.911

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 7.

X/W= 0.213

0.000  
0.735  
0.947  
1.001  
1.018  
1.019  
1.010  
0.993  
0.968  
0.937  
0.913

PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 14.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.449	3.227	3.782	4.117	4.231
3.133	4.128	4.838	5.266	5.413
3.245	4.276	5.012	5.455	5.607
3.264	4.301	5.042	5.488	5.640
3.274	4.313	5.056	5.503	5.656
3.282	4.324	5.069	5.517	5.670
3.290	4.335	5.081	5.531	5.684
3.298	4.346	5.094	5.544	5.698
3.306	4.356	5.105	5.557	5.711
3.310	4.362	5.113	5.565	5.719

PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 14.

X/W= 0.213

0.000  
0.629  
0.903  
0.988  
1.013  
1.017  
1.008  
0.991  
0.967  
0.940  
0.923

PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 21.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.195	2.893	3.399	3.713	3.824
2.953	3.891	4.572	4.994	5.144
3.108	4.096	4.813	5.258	5.415
3.137	4.133	4.857	5.306	5.464
3.147	4.146	4.872	5.323	5.482
3.155	4.157	4.885	5.336	5.496
3.163	4.167	4.897	5.349	5.509
3.170	4.177	4.909	5.362	5.523
3.177	4.187	4.919	5.374	5.535
3.181	4.192	4.926	5.381	5.542

PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 21.

X/W= 0.213

0.000  
0.556  
0.857  
0.971  
1.007  
1.013  
1.006  
0.989  
0.966  
0.942  
0.930

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 28.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.007	2.644	3.110	3.403	3.508
2.804	3.695	4.347	4.756	4.902
2.997	3.949	4.645	5.082	5.239
3.035	3.999	4.704	5.147	5.305
3.047	4.014	4.722	5.166	5.325
3.055	4.025	4.734	5.180	5.339
3.062	4.035	4.746	5.193	5.353
3.070	4.045	4.758	5.206	5.366
3.076	4.053	4.768	5.217	5.377
3.080	4.058	4.773	5.222	5.383

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 28.

X/W= 0.213

0.000  
0.503  
0.814  
0.951  
0.999  
1.010  
1.004  
0.988  
0.966  
0.945  
0.935

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 35.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.858	2.448	2.881	3.154	3.253
2.677	3.527	4.150	4.545	4.686
2.900	3.821	4.497	4.924	5.078
2.948	3.885	4.572	5.006	5.162
2.962	3.902	4.592	5.028	5.185
2.970	3.913	4.605	5.042	5.199
2.977	3.923	4.616	5.055	5.212
2.984	3.932	4.628	5.067	5.225
2.990	3.940	4.637	5.077	5.236
2.993	3.944	4.642	5.083	5.241

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 35.

X/W= 0.213

0.000  
0.463  
0.775  
0.929  
0.989  
1.005  
1.001  
0.987  
0.967  
0.948  
0.940

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 42.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.736	2.287	2.692	2.949	3.042
2.564	3.378	3.976	4.356	4.492
2.813	3.707	4.363	4.779	4.929
2.871	3.783	4.453	4.878	5.031
2.887	3.804	4.477	4.904	5.058
2.895	3.815	4.490	4.918	5.073
2.902	3.824	4.501	4.931	5.086
2.909	3.833	4.512	4.942	5.098
2.915	3.841	4.521	4.952	5.108
2.918	3.845	4.526	4.957	5.113

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 42.

X/W= 0.213

0.000  
0.431  
0.740  
0.907  
0.978  
1.000  
0.999  
0.985  
0.967  
0.950  
0.943

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 49.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.633	2.152	2.533	2.775	2.863
2.463	3.245	3.820	4.185	4.317
2.733	3.601	4.240	4.645	4.791
2.801	3.691	4.345	4.760	4.910
2.819	3.715	4.373	4.791	4.942
2.828	3.726	4.386	4.806	4.957
2.835	3.735	4.398	4.818	4.970
2.842	3.744	4.408	4.829	4.981
2.847	3.752	4.417	4.839	4.991
2.850	3.755	4.421	4.843	4.996

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 49.

X/W= 0.213

0.000  
0.405  
0.709  
0.885  
0.966  
0.995  
0.996  
0.984  
0.967  
0.952  
0.946

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 56.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.545	2.035	2.396	2.626	2.709
2.371	3.124	3.678	4.030	4.157
2.659	3.504	4.126	4.521	4.663
2.737	3.606	4.245	4.652	4.799
2.757	3.633	4.277	4.687	4.835
2.766	3.645	4.291	4.702	4.850
2.773	3.654	4.302	4.714	4.863
2.780	3.663	4.312	4.725	4.874
2.785	3.670	4.321	4.734	4.884
2.787	3.673	4.324	4.738	4.888

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 56.

X/W= 0.213

0.000  
0.383  
0.681  
0.863  
0.954  
0.988  
0.993  
0.983  
0.968  
0.954  
0.949

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 70.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.397	1.840	2.167	2.375	2.450
2.207	2.908	3.424	3.752	3.871
2.523	3.325	3.915	4.290	4.425
2.617	3.449	4.061	4.450	4.591
2.644	3.483	4.101	4.494	4.637
2.654	3.497	4.117	4.512	4.654
2.661	3.506	4.128	4.524	4.667
2.667	3.514	4.138	4.534	4.678
2.672	3.521	4.145	4.542	4.686
2.674	3.523	4.149	4.546	4.690

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 70.

X/W= 0.213

0.000  
0.349  
0.633  
0.823  
0.927  
0.973  
0.985  
0.980  
0.968  
0.958  
0.953

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 84.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.280	1.687	1.986	2.176	2.245
2.068	2.725	3.209	3.517	3.628
2.403	3.167	3.729	4.086	4.215
2.512	3.311	3.898	4.272	4.407
2.544	3.353	3.947	4.326	4.463
2.556	3.368	3.965	4.345	4.483
2.563	3.377	3.976	4.357	4.495
2.569	3.385	3.986	4.368	4.506
2.573	3.391	3.993	4.375	4.514
2.575	3.393	3.996	4.378	4.517

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 84.

X/W= 0.213

0.000  
0.323  
0.594  
0.786  
0.901  
0.957  
0.977  
0.977  
0.969  
0.960  
0.957

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 98.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.185	1.561	1.838	2.015	2.078
1.949	2.568	3.023	3.313	3.418
2.296	3.025	3.562	3.904	4.027
2.418	3.186	3.752	4.111	4.241
2.455	3.236	3.810	4.175	4.307
2.469	3.253	3.830	4.197	4.330
2.476	3.262	3.841	4.210	4.343
2.482	3.270	3.850	4.219	4.353
2.486	3.276	3.857	4.227	4.360
2.488	3.278	3.860	4.229	4.363

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 98.

X/W= 0.213

0.000  
0.302  
0.561  
0.753  
0.875  
0.941  
0.968  
0.973  
0.968  
0.962  
0.959



## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 100.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.173	1.546	1.820	1.994	2.057
1.933	2.547	3.000	3.287	3.391
2.282	3.007	3.541	3.880	4.003
2.406	3.170	3.732	4.090	4.220
2.444	3.220	3.792	4.155	4.287
2.457	3.238	3.812	4.178	4.310
2.464	3.247	3.824	4.190	4.323
2.470	3.255	3.833	4.200	4.333
2.474	3.261	3.839	4.207	4.340
2.476	3.263	3.842	4.210	4.343

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 100.

X/W= 0.213

0.000
0.299
0.557
0.749
0.872
0.936
0.966
0.972
0.966
0.962
0.960

```

*****
* ETAPA DE CARGA NUMERO 2 *
*
*****

```

TEMPO DE APLICACAO TL= 160. DIAS

CARACTERISTICAS DESTA CARGA

- |    |   |        |              |
|----|---|--------|--------------|
| 1- | PESO ESPECIFICO NATURAL                                       | GLOAD= | 2.002 TON/M3 |
| 2- | RESISTENCIA NAO DRENADA                                       | CLOAD= | 4.882 TON/M2 |
| 3- | ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE                                  | YWM=   | 0.610 METROS |
| 4- | TANGENTE DO ANGULO DE ATRITO INTERNO DO TAPETE DRENANTE       | TGHPI= | 0.000        |
| 5- | COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO |        |              |

XINP(METROS)

YINP(METROS)

0.000  
12.192  
21.336

1.524  
1.524  
0.000

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADUTADOS: A= 0.50 , B= 0.95

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 0.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-0.249	-0.329	-0.054	0.120	0.183
-0.091	-0.120	0.332	0.620	0.724
0.249	0.328	0.862	1.201	1.324
0.364	0.480	1.043	1.400	1.530
0.394	0.519	1.091	1.454	1.586
0.399	0.526	1.100	1.466	1.598
0.398	0.525	1.101	1.467	1.600
0.396	0.521	1.099	1.466	1.599
0.392	0.517	1.095	1.463	1.596
0.386	0.508	1.087	1.456	1.589

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 0.

X/W= 0.213

0.000  
0.087  
0.355  
0.557  
0.690  
0.768  
0.806  
0.823  
0.830  
0.835  
0.843

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 7.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-0.108	-0.143	-0.028	0.111	0.169
0.087	0.114	0.338	0.575	0.672
0.403	0.531	0.833	1.121	1.237
0.524	0.690	1.021	1.329	1.451
0.557	0.734	1.074	1.387	1.512
0.564	0.743	1.085	1.400	1.526
0.564	0.743	1.086	1.402	1.528
0.562	0.741	1.084	1.401	1.527
0.559	0.737	1.080	1.398	1.524
0.554	0.731	1.074	1.391	1.518

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 7.

X/W= 0.213

0.000  
0.119  
0.345  
0.543  
0.676  
0.759  
0.801  
0.821  
0.830  
0.835  
0.841

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 10.

X/W= 0.000

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 21.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.006	0.009	0.052	0.118	0.153
0.216	0.285	0.397	0.527	0.590
0.496	0.654	0.835	1.011	1.092
0.623	0.821	1.033	1.228	1.316
0.663	0.873	1.094	1.296	1.386
0.672	0.886	1.109	1.313	1.404
0.673	0.887	1.111	1.315	1.407
0.672	0.886	1.110	1.314	1.406
0.670	0.883	1.106	1.311	1.402
0.667	0.878	1.101	1.306	1.397

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 21.

X/W= 0.213

0.000  
0.149  
0.338  
0.519  
0.655  
0.742  
0.791  
0.816  
0.828  
0.834  
0.837

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 28.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.035	0.046	0.079	0.127	0.152
0.243	0.320	0.415	0.514	0.563
0.508	0.669	0.829	0.972	1.037
0.636	0.838	1.028	1.191	1.264
0.678	0.894	1.094	1.263	1.338
0.689	0.908	1.110	1.282	1.357
0.690	0.910	1.113	1.285	1.361
0.689	0.909	1.112	1.284	1.360
0.687	0.906	1.109	1.281	1.356
0.685	0.902	1.105	1.276	1.352

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 28.

X/W= 0.213

0.000  
0.156  
0.337  
0.510  
0.645  
0.734  
0.786  
0.813  
0.826  
0.833  
0.836

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 35.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.054	0.071	0.100	0.135	0.154
0.258	0.340	0.425	0.505	0.543
0.510	0.671	0.817	0.938	0.991
0.639	0.841	1.016	1.158	1.219
0.683	0.900	1.087	1.234	1.297
0.695	0.916	1.105	1.255	1.318
0.697	0.918	1.109	1.258	1.322
0.696	0.917	1.108	1.257	1.322
0.694	0.915	1.104	1.254	1.318
0.692	0.912	1.101	1.250	1.314

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 35.

X/W= 0.213

0.000  
0.160  
0.335  
0.502  
0.635  
0.726  
0.780  
0.810  
0.825  
0.832  
0.835

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 42.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.068	0.089	0.116	0.144	0.158
0.267	0.352	0.430	0.497	0.528
0.506	0.667	0.803	0.908	0.953
0.635	0.837	1.003	1.128	1.180
0.682	0.898	1.076	1.208	1.262
0.695	0.915	1.096	1.230	1.285
0.697	0.918	1.100	1.234	1.290
0.696	0.918	1.099	1.233	1.289
0.695	0.915	1.096	1.230	1.286
0.693	0.913	1.093	1.227	1.283

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 42.

X/W= 0.213

0.000  
0.163  
0.333  
0.495  
0.626  
0.718  
0.775  
0.806  
0.823  
0.831  
0.834

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 49.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.078	0.103	0.128	0.151	0.162
0.271	0.358	0.432	0.490	0.516
0.500	0.658	0.787	0.881	0.920
0.628	0.827	0.986	1.100	1.146
0.676	0.891	1.061	1.183	1.231
0.690	0.910	1.083	1.207	1.256
0.693	0.913	1.088	1.212	1.261
0.693	0.913	1.087	1.211	1.261
0.691	0.911	1.084	1.208	1.258
0.689	0.908	1.082	1.205	1.255

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 49.

X/W= 0.213

0.000  
0.164  
0.331  
0.489  
0.618  
0.710  
0.769  
0.803  
0.821  
0.830  
0.833

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 56.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.086	0.113	0.137	0.158	0.167
0.273	0.360	0.431	0.484	0.506
0.491	0.647	0.770	0.857	0.891
0.618	0.815	0.968	1.073	1.115
0.669	0.881	1.045	1.159	1.203
0.684	0.901	1.069	1.184	1.230
0.687	0.905	1.074	1.190	1.235
0.687	0.905	1.074	1.190	1.235
0.685	0.903	1.071	1.187	1.232
0.683	0.901	1.069	1.184	1.230

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 56.

X/W= 0.213

0.000  
0.164  
0.329  
0.483  
0.610  
0.703  
0.764  
0.800  
0.819  
0.829  
0.831

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 70.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.096	0.126	0.151	0.168	0.176
0.272	0.359	0.426	0.472	0.490
0.472	0.622	0.736	0.812	0.841
0.596	0.766	0.929	1.024	1.059
0.649	0.855	1.011	1.113	1.152
0.666	0.878	1.037	1.143	1.182
0.670	0.883	1.044	1.150	1.190
0.670	0.883	1.044	1.150	1.190
0.669	0.881	1.041	1.147	1.187
0.668	0.880	1.040	1.145	1.185

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 70.

X/W= 0.213

0.000
0.164
0.324
0.472
0.596
0.690
0.753
0.792
0.814
0.825
0.829

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 84.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.102	0.134	0.159	0.176	0.182
0.268	0.353	0.417	0.460	0.476
0.452	0.596	0.703	0.773	0.799
0.572	0.754	0.890	0.978	1.010
0.627	0.826	0.975	1.071	1.106
0.646	0.851	1.004	1.103	1.140
0.651	0.855	1.012	1.112	1.149
0.651	0.858	1.013	1.112	1.149
0.650	0.857	1.011	1.110	1.147
0.649	0.856	1.009	1.109	1.146

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 84.

X/W= 0.213

0.000
0.162
0.318
0.462
0.583
0.677
0.743
0.785
0.809
0.822
0.826

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 98.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.106	0.139	0.164	0.180	0.187
0.262	0.346	0.408	0.448	0.463
0.433	0.570	0.672	0.738	0.762
0.549	0.723	0.853	0.935	0.966
0.605	0.797	0.939	1.031	1.064
0.626	0.824	0.971	1.066	1.100
0.631	0.832	0.980	1.076	1.111
0.632	0.833	0.982	1.077	1.112
0.631	0.832	0.980	1.075	1.110
0.630	0.831	0.979	1.074	1.109

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 98.

X/W= 0.213

0.000  
0.159  
0.313  
0.453  
0.572  
0.665  
0.733  
0.777  
0.804  
0.818  
0.822

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 112.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.107	0.142	0.167	0.183	0.189
0.256	0.337	0.397	0.436	0.450
0.415	0.546	0.644	0.706	0.729
0.526	0.694	0.817	0.896	0.925
0.583	0.768	0.905	0.992	1.024
0.605	0.797	0.939	1.030	1.063
0.612	0.806	0.950	1.041	1.075
0.613	0.808	0.951	1.043	1.077
0.612	0.807	0.950	1.042	1.075
0.612	0.806	0.949	1.041	1.074

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 112.

X/W= 0.213

0.000  
0.157  
0.307  
0.444  
0.561  
0.654  
0.723  
0.770  
0.798  
0.814  
0.818



PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 126.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.108	0.142	0.168	0.184	0.190
0.249	0.328	0.387	0.424	0.438
0.398	0.524	0.617	0.676	0.698
0.505	0.665	0.784	0.859	0.887
0.562	0.740	0.872	0.956	0.986
0.585	0.771	0.908	0.996	1.027
0.593	0.781	0.920	1.008	1.041
0.594	0.783	0.922	1.011	1.043
0.594	0.782	0.921	1.010	1.042
0.593	0.782	0.921	1.009	1.041

PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 126.

X/W= 0.213

0.000  
0.154  
0.301  
0.436  
0.551  
0.644  
0.714  
0.762  
0.793  
0.809  
0.814

PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 140.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.108	0.142	0.168	0.184	0.189
0.242	0.319	0.376	0.412	0.425
0.382	0.503	0.592	0.649	0.670
0.485	0.639	0.752	0.825	0.851
0.542	0.714	0.840	0.921	0.950
0.566	0.746	0.878	0.963	0.993
0.574	0.757	0.891	0.977	1.008
0.576	0.759	0.894	0.980	1.011
0.576	0.759	0.894	0.979	1.011
0.576	0.758	0.893	0.979	1.010

PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 140.

X/W= 0.213

0.000  
0.151  
0.296  
0.428  
0.542  
0.635  
0.705  
0.755  
0.786  
0.804  
0.810

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM FLUXO RADIAL+ VERTICAL (TON/M2)

T= 154.

X/W= 0.000

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.107	0.141	0.166	0.182	0.188
0.236	0.310	0.366	0.401	0.413
0.367	0.483	0.569	0.624	0.644
0.466	0.614	0.723	0.792	0.817
0.522	0.688	0.810	0.888	0.916
0.547	0.721	0.849	0.931	0.961
0.557	0.733	0.864	0.946	0.976
0.559	0.736	0.867	0.950	0.980
0.559	0.736	0.867	0.950	0.980
0.558	0.736	0.866	0.950	0.980

## PRESSOES NEUTRAS NAS VERTICAIS CUM SOMENTE FLUXO VERTICAL (TON/M2)

T= 154.

X/W= 0.213

0.000
0.148
0.291
0.421
0.533
0.625
0.696
0.747
0.780
0.799
0.805

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \* PROCESSO DE ADENSAMENTO \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

INFORMACOES A SEREM IMPRESSAS PARA AS VERTICAIS ESCOLHIDAS

UAVE - GRAU DE ADENSAMENTO (%)

SETC - RECALQUE DE ADENSAMENTO (METROS)

SETI - RECALQUE IMEDIATO (METROS)

SETT - RECALQUE TOTAL (METROS)

NOTA: AS DUAS ULTIMAS INFORMACOES, SETI E SETT, SOMENTE SERAO  
 ESCRITAS SE O SOLO FOR PARCIALMENTE SATURADO (B.NE.1).

VERTICAIS XRP(METROS) ESCOLHIDAS

0.000 21.300

\*\*\* T= 60. DIAS \*\*\*  
 TEMPO DE APLICACAO DE CARGA

T= 60. DIAS

0.000	0.000
0.000	0.000
0.043	0.018
0.043	0.018

T= 67. DIAS

0.322	0.094
0.557	0.090
0.043	0.018
0.600	0.108

T= 74. DIAS

0.416	0.129
0.670	0.119
0.043	0.018
0.713	0.137

T= 81. DIAS

0.490	0.157
0.747	0.140
0.043	0.018
0.790	0.158

T= 88. DIAS

0.551	0.181
0.807	0.155
0.043	0.018
0.850	0.173

T= 95. DIAS

0.603	0.203
0.855	0.168
0.043	0.018
0.898	0.186

T= 102. DIAS

0.650	0.222
0.896	0.179
0.043	0.018
0.939	0.197

T= 109. DIAS

0.691	0.240
0.932	0.188
0.043	0.018
0.975	0.206

T= 116. DIAS

0.729	0.257
0.963	0.196
0.043	0.018
1.006	0.214

T= 130. DIAS

0.798	0.288
1.016	0.211
0.043	0.018
1.059	0.229

T= 144. DIAS

0.856	0.315
1.060	0.223
0.043	0.018
1.103	0.241

T= 150. DIAS

0.908	0.341
1.097	0.233
0.043	0.018
1.140	0.251

T= 160. DIAS

0.915	0.344
1.102	0.235
0.043	0.018
1.145	0.253

\*\*\* T= 160. DIAS \*\*\*  
TEMPO DE APLICACAO DE CARGA

T= 160. DIAS

0.915	0.344
1.102	0.235
0.043	0.018
1.145	0.253

T= 167. DIAS

0.908	0.346
1.097	0.233
0.043	0.018
1.140	0.251

T= 174. DIAS

0.911	0.350
1.099	0.233
0.043	0.018
1.142	0.251

T= 181. DIAS

0.915	0.356
1.102	0.234
0.043	0.018
1.145	0.252

T= 188. DIAS

0.920	0.361
1.105	0.235
0.043	0.018
1.148	0.253

T= 195. DIAS

0.925	0.367
1.109	0.237
0.043	0.018
1.152	0.255

T= 202. DIAS

0.930	0.374
1.112	0.238
0.043	0.018
1.155	0.256

T= 209. DIAS

0.935	0.380
1.115	0.240
0.043	0.018
1.158	0.258

T= 216. DIAS

0.940	0.386
1.119	0.242
0.043	0.018
1.162	0.260

T= 230. DIAS

0.950	0.399
1.125	0.245
0.043	0.018
1.168	0.263

T= 244. DIAS

0.959	0.412
1.132	0.249
0.043	0.018
1.175	0.267

T= 250. DIAS

0.969	0.424
1.138	0.252
0.043	0.018
1.181	0.270

T= 272. DIAS

0.978	0.437
1.144	0.256
0.043	0.018
1.187	0.274

T= 286. DIAS

0.987	0.449
1.149	0.259
0.043	0.018
1.192	0.277

T= 300. DIAS

0.995	0.460
1.155	0.262
0.043	0.018
1.198	0.281

T= 314. DIAS

1.003	0.472
1.160	0.266
0.043	0.018
1.203	0.284

```

*****
*                                     *
*   PLOTAGEM DOS GRAFICOS         *
*                                     *
*****

```

#### SIMBOLOS UTILIZADOS

CURVA DO GRAU DE ADENSAMENTO  
 CURVA DO RECALQUE DE ADENSAMENTO EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL  
 CURVA DO RECALQUE IMEDIATO EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL  
 CURVA DO RECALQUE TOTAL EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL

#### COORDENADAS DO GRAFICO

ABCISSAS - VALORES DE U, C, D, T EM PERCENTAGEM (%)  
 ORDENADAS - VALORES DO TEMPO EM SEMANAS

CURVAS PERTENCENTES A VERTICAL

XRP= 0.000 METROS

RECALQUE TOTAL FINAL NESTA VERTICAL SETR= 1.173 METROS

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3

[illegible]





#### IV.2- Segundo problema exemplo - Programa DETR.

Os dados que caracterizam esta execução se encontram no quadro(IV.2-1).

A seguir se encontra o relatório completo dos resultados deste segundo problema exemplo (Programa DETR).



[illegible]

[illegible]

```

*****
*****
***
***
***
***
***
***
***
*****
*****
*****

```

```

*****
*****
***
***
***
*****
*****
***
***
***
***
*****
*****

```

```

*****
*****
***
***
***
***
***
***
***
***
***
***

```

```

*****
*****
***
***
***
***
***
*****
*****
***
***
***
***

```

```

*****
*      PROGRAMA PRINCIPAL DETR      *
*      CALCULO DA RAZAO DO DRENO, RWE      *
*      *****

```

\*\*\* CARGA DE REFERENCIA \*\*\*

E A CARGA FINAL QUE ATUARA NO MACICO COMPRESSIVEL.

CARACTERISTICAS DESTA CARGA:

- PESO ESPECIFICO NATURAL GLOAD= 2.002 TON/M3
- RESISTENCIA NA DRENADA CLOAD= 4.882 TON/M2
- ESPESURA DO TAPETE DRENANTE YWM= 0.914 METROS
- TANGENTE DO ANGULO DE ATRITO INTERNO DO TAPETE DRENANTE TGPHI= 0.577
- COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO.

XINP(METROS)

YINP(METROS)

0.000	4.633
6.706	4.633
10.668	3.109
23.835	0.914
24.750	0.914
28.407	0.000

NO CALCULO DAS TENSÕES NO SUBSOLO COMPRESSIVEL, ESTA CARGA FOI APROXIMADA POR 10 CARGAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS, QUE SE ESTENDEM DESDE X=0 ATÉ X=ALPHA(I). SE ALPHA(I) FOR NEGATIVO, ESTA CARGA SERA SUBTRAIDA.

ALPHA( 1)=27.460 METROS

ALPHA( 2)=25.601 METROS

ALPHA( 3)=22.370 METROS

ALPHA( 4)=19.591 METROS

ALPHA( 5)=16.812 METROS

ALPHA( 6)=14.032 METROS

ALPHA( 7)=11.319 METROS

ALPHA( 8)= 9.717 METROS

ALPHA( 9)= 8.513 METROS

ALPHA(10)= 7.308 METROS

TEMPO DE CONSTRUCAO DO ATERRO

TA=360. DIAS

PERCENTAGEM DA CARGA DE REFERENCIA APLICADA NO TEMPO ZERO C= 67.00 %

PARAMETROS QUE SERAO USADOS NA ANALISE DA ESTABILIDADE

DMAX = 1.219 METROS

DMIN = 0.305 METROS

NARC =10

NRAD = 6

TEMPO T (DIAS)	FATOR DE SEGURANCA OBTIDO	FATOR DE SEGURANCA EXIGIDO	COORDENADAS DO CENTRO		RAIO R (METROS)
			XC(METROS)	YC(METROS)	
999999.	1.445	1.300	17.526	13.106	19.193

VALORES DAS PRESSOES NEUTRAS MEDIAS INICIAS E DOS RECALQUES NAS 15 VERTICAIS XT

XT(I) DISTANCIA DA I-ESIMA VERTICAL AO EIXO SIMETRIA

UAVR(I) PRESSAO NEUTRA MEDIA NA I-ESIMA VERTICAL

SETRT(I) RECALQUE TOTAL NA I-ESIMA VERTICAL

XT(METROS)	UAVR(TON/M2)	SETRT(METROS)
0.612	8.496	1.367
4.570	8.330	1.347
8.528	7.326	1.225
9.401	6.988	1.181
11.337	6.185	1.069
14.470	5.133	0.904
17.603	4.196	0.748
19.539	3.673	0.655
20.554	3.357	0.610
25.911	1.903	0.370
33.489	0.658	0.134
38.846	0.398	0.084
43.070	0.273	0.060
65.500	0.034	0.008
87.930	0.004	0.001

TEMPO T (DIAS)	FATOR DE SEGURANCA OBTIDO	FATOR DE SEGURANCA EXIGIDO	COORDENADAS DO CENTRO		RAIO R (METROS)
			XC(METROS)	YC(METROS)	
350.	1.248	1.150	17.526	13.106	19.193

\*\*\* MALHA EXISTENTE NO MACICO COMPRESSIVEL \*\*\*

PONTOS (YE/H) EXISTENTES EM CADA VERTICAL:

0.000	0.100	0.200	0.300	0.400
0.500	0.600	0.700	0.800	0.900
1.000				

VERTICAIS (XT/W) QUE COMPOEM A MALHA :

0.006	0.046	0.085	0.094	0.113
0.145	0.176	0.195	0.206	0.259
0.335	0.388	0.431	0.655	0.879

VERTICAIS (XE/W) NAS QUAIS A PRESSAO NEUTRA FOI INTERPOLADA:

0.000	0.030	0.061	0.091	0.122
0.152	0.183	0.213	0.244	0.274
0.305	0.335	0.366	0.396	0.427
0.457	0.487	0.518	0.548	0.579
0.609	0.640	0.670	0.701	0.731
0.762	0.792	0.823	0.853	0.884
0.914				



NA INTERPOLACAO, FOI ADOOTADA UMA CULOCACAO POLINOMIAL DE GRAU:

2	ENTRE AS VERTICAIS (X/W)	0.000	E	0.091
4	ENTRE AS VERTICAIS (X/W)	0.091	E	0.198
3	ENTRE AS VERTICAIS (X/W)	0.198	E	0.396
2	ENTRE AS VERTICAIS (X/W)	0.396	E	0.914

VERTICAIS NO INTERIOR DA REGIÃO DE INFLUENCIA DO  
DREN NAS QUAIS AS PRESSOES NEUTRAS RADIAS FORAM  
CALCULADAS :

R(METROS)=	0.229	0.307	0.397	0.498	0.611
R(METROS)=	0.735	0.871	1.018		

## \*\*\* PARAMETROS QUE CARACTERIZAM O MACICO COMPRESSIVEL \*\*\*

ESPESSURA TOTAL H= 7.925 METROS  
 COMPRIMENTO DE REFERENCIA NA DIRECAO X W= 100.0 METROS

## \* CASO EM QUE O SUBSOLO E ESTRATIFICADO COM DUAS CAMADAS : \*

A CAMADA DE INTERFACE ESTA A 1.585 METROS ABAIXO DA SUPERFICIE.  
 AS RAZOES ENTRE OS PARAMETROS (CAMADA INFERIOR/CAMADA SUPERIOR) SAO:

- ENTRE COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE RK= 0.769
- ENTRE COEFICIENTES DE ADENSAMENTO RC= 0.500
- ENTRE INDICES DE VAZIOS INICIAIS REO= 1.318
- ENTRE INDICES DE COMPRESSIBILIDADE RCC= 1.867
- ENTRE INDICES DE RECOMPRESSAO E CC ROCL= 0.107

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADOADOS: A= 0.50 E B= 1.00

PARAMETROS ESPECIFICOS DE ADENSAMENTO  
 (ELES PERTENCERAO A CAMADA SUPERIOR NO CASO DE ESTRATIFICACAO)

- INDICE DE VAZIOS INICIAL EQ= 2.050
- INDICE DE COMPRESSIBILIDADE CC= 0.750
- RAZAO ENTRE RECOMPRESSAO E INDICE DE COMPRESSIBILIDADE ROC= 0.200

## DISTRIBUICAO DAS PRESSOES GEOSTATICAS NO SUBSOLO COMPRESSIVEL

- Y PROFUNDIDADE EM RELACAO AO NIVEL DO TERRENO
- P(1) PRESSAO EFETIVA INICIAL
- PC(1) PRESSAO DE PRE-ADENSAMENTO

Y (METROS)	P (TON/M2)	PC (TON/M2)
0.000	0.508	4.882
0.793	0.508	4.882
1.585	1.016	4.882
2.378	1.596	4.882
3.170	1.777	4.101
3.963	2.158	3.320
4.755	2.539	2.539
5.548	2.920	2.920
6.340	3.301	3.301
7.133	3.681	3.681
7.925	4.189	4.189

OBSERVACAO : OS VALORES DE P(1) E PC(1) LISTADOS ANTERIORMENTE  
 PODEM TER SIDO ALTERADOS PARA EVITAR DIVISAO  
 ZERO NO CALCULO DO PLOG(1).

- COEFICIENTE DE ADENSAMENTO PARA FLUXO VERTICAL CV= .186E-02 M2/DIA
- COEFICIENTE DE ADENSAMENTO PARA FLUXO RADIAL CR= .145E-02 M2/DIA

## \*\*\* CONDIÇÕES DE DRENAGEM NO MACIÇO COMPRESSÍVEL \*\*\*

RAIO DO POÇO DE DRENAGEM  $R_W = 0.229$  METROSRAZÃO DO DRENO ( $R_W/R_E$ )  $R_{WE} = 0.225$ RAIO DE INFLUÊNCIA DO DRENO  $R_E = 1.018$  METROS

- DRENAGEM LIVRE NA FRONTEIRA DO POÇO.
- DRENAGEM LIVRE NA FRONTEIRA INFERIOR DO SUBSTRATO COMPRESSÍVEL.

DRENAGEM NULA NO RAIO DE INFLUÊNCIA DO DRENO.

NENHUM DRENO EM X.GT. 19.507 METROS

## \*\*\* RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO SUBSOLO COMPRESSÍVEL \*\*\*

Y - PROFUNDIDADE EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO TERRENO

CO(I) - RESISTÊNCIA NÃO DRENADA INICIAL

C / P - RAZÃO ENTRE RESISTÊNCIA E A PRESSÃO EFETIVA

Y (METROS)	CO (TON/M <sup>2</sup> )	C / P
0.000	1.367	0.100
0.793	1.074	0.100
1.585	0.732	0.150
2.378	0.732	0.150
3.170	0.732	0.150
3.953	0.732	0.150
4.735	0.732	0.150
5.548	0.732	0.150
6.340	1.025	0.150
7.133	1.758	0.100
7.925	1.514	0.100

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \* PROCESSO DE ADENSAMENTO \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

JAVE = GRAU DE ADENSAMENTO (%)

SETC = RECALQUE DE ADENSAMENTO (METROS)

SETI = RECALQUE IMEDIATO (METROS)

SETT = RECALQUE TOTAL (METROS)

NOTA: AS DUAS ULTIMAS INFORMACOES, SETI E SETT, SOMENTE SERAO  
 ESCRITAS SE O SOLO FOR PARCIALMENTE SATURADO (B.NE.1).

VERTICAIS XRP(METROS) ESCOLHIDAS

0.000      24.373

\*\*\* T= 0. DIAS \*\*\*  
 TEMPO DE APLICACAO DE CARGA

T= 0. DIAS

0.000      0.000  
 0.000      0.000

T= 7. DIAS

0.087      0.045  
 0.138      0.023

T= 14. DIAS

0.110      0.048  
 0.175      0.024

T= 21. DIAS

0.129      0.051  
 0.205      0.026

T= 28. DIAS

0.147      0.053  
 0.230      0.028

T= 35. DIAS

0.163	0.056
0.253	0.029

T= 42. DIAS

0.179	0.059
0.274	0.031

T= 49. DIAS

0.194	0.062
0.296	0.032

T= 56. DIAS

0.208	0.065
0.319	0.034

T= 70. DIAS

0.236	0.070
0.362	0.037

T= 84. DIAS

0.263	0.076
0.401	0.039

T= 98. DIAS

0.289	0.081
0.438	0.042

T= 112. DIAS

0.314	0.086
0.471	0.045

T= 126. DIAS

0.339	0.091
0.504	0.047

T= 140. DIAS

0.362	0.096
0.537	0.050

T= 154. DIAS

0.385	0.101
0.568	0.052

T= 168. DIAS

0.408	0.106
0.597	0.054

T= 196. DIAS

0.452	0.116
0.661	0.059

T= 224. DIAS

0.494	0.126
0.721	0.063

T= 252. DIAS

0.534	0.136
0.782	0.068

T= 280. DIAS

0.573	0.146
0.841	0.072

T= 308. DIAS

0.610	0.156
0.896	0.076

T= 336. DIAS

0.647	0.166
0.948	0.080

TEMPO DE CONSTRUCAO DO ATERRO TA = 360. DIAS

T= 360. DIAS

0.677	0.175
0.989	0.084

T= 364. DIAS

0.682	0.176
0.995	0.084

T= 392. DIAS

0.712	0.184
1.035	0.088

T= 448. DIAS

0.763	0.199
1.100	0.095

T= 504. DIAS

0.804	0.214
1.150	0.101

T= 560. DIAS

0.839	0.228
1.190	0.106

T= 616. DIAS

0.867	0.241
1.221	0.112

T= 672. DIAS

0.890	0.253
1.247	0.117

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \* PLOTAGEM DOS GRAFICOS \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

#### SÍMBOLOS UTILIZADOS

- CURVA DO GRAU DE ADENSAMENTO
- CURVA DO RECALQUE DE ADENSAMENTO EM PERCENTAGEM DO RECALQUE FINAL
- CURVA DO RECALQUE IMEDIATO EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL
- CURVA DO RECALQUE TOTAL EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL

#### COORDENADAS DO GRAFICO

ABCISSAS - VALORES DE U, C, D, T EM PERCENTAGEM (%)  
 ORDENADAS - VALORES DO TEMPO EM SEMANAS



XRP= 0.000 METROS

RECALQUE TOTAL FINAL NESTA VERTICAL SETR= 1.361 METROS

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3

[illegible]

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3

[illegible]

IV.3- Segundo problema exemplo - Programa SAND .

Os dados que caracterizam esta execução se encontram no quadro(IV.3-1) .

A seguir se encontra o relatório completo dos resultados deste segundo problema exemplo(Programa SAND).









[illegible]

```

*****
*****
**
***
****
*****
*****
***
***
***
***
***
***
***
***

```

A large graphic of a 10x10 grid of stars. The stars are arranged in a grid where the main diagonal stars are highlighted in a larger, bolder font, while the off-diagonal stars are smaller and lighter. This visualizes the concept of a diagonal matrix.



```

*****
*          PROGRAMA PRINCIPAL SAND          *
*          ETAPAS DE CARGA E SOBRECARGA      *
*****

```

\*\*\* MALHA EXISTENTE NO MACICO COMPRESSIVEL \*\*\*

PONTOS (YE/H) EXISTENTES EM CADA VERTICAL:

0.000	0.100	0.200	0.300	0.400
0.500	0.600	0.700	0.800	0.900
1.000				

VERTICAIS(XT/W) QUE COMPOEM A MALHA:

0.006	0.046	0.085	0.094	0.113
0.145	0.176	0.195	0.206	0.259
0.335	0.388	0.431	0.655	0.879

VERTICAIS (XE/W) NAS QUAIS A PRESSAO NEUTRA FOI INTERPOLADA:

0.000	0.030	0.061	0.091	0.122
0.152	0.183	0.213	0.244	0.274
0.305	0.335	0.366	0.396	0.427
0.457	0.487	0.518	0.548	0.579
0.609	0.640	0.670	0.701	0.731
0.762	0.792	0.823	0.853	0.884
0.914				

NA INTERPOLACAO , FOI ADOPTADA UMA COLOCACAO POLINOMIAL DE GRAU:

2	ENTRE AS VERTICAIS (X/W)	0.000	E	0.091
4	ENTRE AS VERTICAIS (X/W)	0.091	E	0.198
3	ENTRE AS VERTICAIS (X/W)	0.198	E	0.396
2	ENTRE AS VERTICAIS (X/W)	0.396	E	0.914

VERTICAIS NO INTERIOR DA REGIAO DE INFLUENCIA DO DRENO,  
NAS QUAIS AS PRESSOES NEUTRAS RADIAIS FORAM CALCULADAS:

R (METROS)=      0.229              0.373              0.553              0.768              1.018

## \*\*\* PARAMETROS QUE CARACTERIZAM O MACICO COMPRESSIVEL \*\*\*

ESPESSURA TOTAL H= 7.925 METROS

COMPRIMENTO DE REFERENCIA NA DIRECAO X W= 100.0 METROS

\* CASO EM QUE O SUBSOLO E ESTRATIFICADO COM DUAS CAMADAS : \*

A CAMADA DE INTERFACE ESTA 1.585 METROS ABAIXO DA SUPERFICIE

AS RAZOES ENTRE OS PARAMETROS (CAMADA INFERIOR/CAMADA SUPERIOR) SAO:

- ENTRE COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE RK= 0.769
- ENTRE COEFICIENTES DE ADENSAMENTO RC= 0.500
- ENTRE INDICES DE VAZIOS INICIAIS REQ= 1.318
- ENTRE INDICES DE COMPRESSIBILIDADE RCC= 1.867
- ENTRE INDICE DE RECOMPRESSAO E CC ROCL= 0.107

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADOTADOS: A= 0.50 E B= 1.00

PARAMETROS ESPECIFICOS DE ADENSAMENTO.ELES PERTENCERAO A CAMADA SUPERIOR NO CASO DE ESTRATIFICACAO.

- INDICE DE VAZIOS INICIAL EO= 2.050
- INDICE DE COMPRESSIBILIDADE CC= 0.750
- RAZAO ENTRE RECOMPRESSAO E INDICE DE COMPRESSIBILIDADE ROC= 0.200

DISTRIBUICAO DAS PRESSOES GEOSTATICAS NO SUBSOLO COMPRESSIVEL:

- Y PROFUNDIDADE EM RELACAO AO NIVEL DO TERRENO.
- P(1) PRESSAO EFETIVA INICIAL.
- PC(1) PRESSAO DE PRE-ADENSAMENTO.

Y (METROS)	P(TON/M2)	PC(TON/M2)
0.000	0.508	4.882
0.793	0.508	4.882
1.585	1.016	4.882
2.378	1.396	4.882
3.170	1.777	4.101
3.963	2.158	3.320
4.755	2.539	2.539
5.548	2.920	2.920
6.340	3.301	3.301
7.133	3.681	3.681
7.925	4.189	4.189

OBSERVACAO: OS VALORES DE P(1) E PC(1), LISTADOS ANTERIORMENTE  
PODEM TER SIDO ALTERADOS PARA EVITAR DIVISAO POR  
ZERO NO CALCULO DO PLUG(1).

- COEFICIENTE DE ADENSAMENTO PARA FLUXO VERTICAL  $CV = .186E-02$  M<sup>2</sup>/DIA
- COEFICIENTE DE ADENSAMENTO PARA FLUXO RADIAL  $CR = .145E-02$  M<sup>2</sup>/DIA

\*\*\* CONDIÇÕES DE DRENAGEM NO MACIÇO COMPRESSÍVEL \*\*\*

RAIO DO POÇO DE DRENAGEM  $RW = 0.229$  METROS

RAZÃO DO DRENO ( $RW/RE$ )  $RWE = 0.225$

RAIO DE INFLUÊNCIA DO DRENO  $RE = 1.018$  METROS

- DRENAGEM LIVRE NA FRONTEIRA DO POÇO .
- DRENAGEM LIVRE NA FRONTEIRA INFERIOR DO SUBSTRATO COMPRESSÍVEL.
- DRENAGEM NULA NA FRONTEIRA DE INFLUÊNCIA DO DRENO.
- A ÚLTIMA VERTICAL COM DRENAGEM RADIAL, DISTA 19.507 METROS DO EIXO DE SIMETRIA DO ATERRO.

## \*\*\* RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO SUBSOLO COMPRESSIVEL \*\*\*

Y - PROFUNDIDADE EM RELACAO AO NIVEL DO TERRENO  
 CO(I) - RESISTENCIA NA ORENADA INICIAL  
 C / P - RAZAO ENTRE A RESISTENCIA E A PRESSAO EFETIVA

Y(METROS)	CO(TON/M2)	C/P
0.000	1.367	0.100
0.793	1.074	0.100
1.585	0.732	0.150
2.378	0.732	0.150
3.170	0.732	0.150
3.963	0.732	0.150
4.755	0.732	0.150
5.548	0.732	0.150
6.340	1.025	0.150
7.133	1.758	0.100
7.925	1.513	0.100

```

*****
*                                     *
*   CARGA DE REFERENCIA             *
*                                     *
*****

```

E A CARGA FINAL QUE ATUARA NO MACICO COMPRESSIVEL

#### CARACTERISTICAS DESTA CARGA

- |  |                  |
|--|------------------|
| 1- PESO ESPECIFICO NATURAL                                       | GLOAD= 2.002 TON |
| 2- RESISTENCIA NAO DRENADA                                       | CLOAD= 4.882 TON |
| 3- ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE                                  | YWM= 0.914 MET   |
| 4- TANGENTE DO ANGULO DE ATRITO INTERNO DO TAPETE DRENANTE       | TGHPI= 0.        |
| 5- COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO |                  |

XINP(METROS)

YINP(METROS)

0.000  
10.668  
23.835  
24.750  
28.407

3.109  
3.109  
0.914  
0.914  
0.000

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADOTADOS: A= 0.50 , B= 1.00

NO CALCULO DAS TENSOES NO SUBSOLO COMPRESSIVEL, ESTA CARGA FOI APROXIMADA POR 6 CARGAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS, QUE SE ESTENDEM DESDE X=0 ATÉ X=ALPHA(I). SE ALPHA(I) FOR NEGATIVO, ESTA CARGA SERA SUBTRAIDA.

ALPHA( 1)=27.370 METROS

ALPHA( 2)=25.052 METROS

ALPHA( 3)=21.547 METROS

ALPHA( 4)=18.439 METROS

ALPHA( 5)=15.330 METROS

ALPHA( 6)=12.222 METROS

DURANTE O CALCULO DAS TENSOES, A PRECISAO DESEJADA NAO FOI OBTIDA  
PROCESSO DE INTEGRACAO NUMERICA, PARA O(S) SEGUINTE(S) PONTO(S):

NO	ETO	CX	XI	A	B	SUM1	SI1	SUM2	SI2	SUM3	SI3
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
163	0.800	0.87911	0.095	3.000	4.0000	0.003210	0.00321	-0.01098	-0.01098	-0.00000	-0.00000

VALORES DAS PRESSÕES NEUTRAS MÉDIAS INICIAIS E DOS RECALQUES NAS 15 VERTICAIS XT :

- XT(I)	DISTANCIA DA I-ESIMA VERTICAL AO EIXO DE SIMETRIA		
- UAUER(I)	PRESSAD NEUTRA MEDIA INICIAL NA I-ESIMA VERTICAL		
- SETRC(I)	RECALQUE DE ADENSAMENTO NA I-ESIMA VERTICAL		
- SETRT(I)	RECALQUE TOTAL NA I-ESIMA VERTICAL		
XT(METROS)	UAUER(TON/M2)	SETRC(METROS)	SETRT(METROS)
0.612	5.862	1.022	1.022
4.570	5.852	1.020	1.020
8.528	5.752	1.005	1.005
9.401	5.699	0.996	0.996
11.337	5.494	0.964	0.964
14.470	4.802	0.848	0.848
17.603	3.978	0.706	0.706
19.539	3.411	0.620	0.620
20.554	3.164	0.581	0.581
25.911	1.749	0.346	0.346
33.489	0.582	0.121	0.121
38.846	0.352	0.075	0.075
43.070	0.242	0.054	0.054
65.500	0.030	0.007	0.007
87.930	0.004	0.001	0.001

NUMERO PREVISTO PARA ETAPAS DE CARREGAMENTO PARA OBTENCAO DA CARGA FINAL NO SUBSOLO COMPRESSIVEL NL= 3

TEMPO PREVISTO DE CONSTRUCAO DO ATERRO TA= 360. DIAS

\*\*\* PARAMETROS QUE SERAO UTILIZADOS NA ANALISE DA ESTABILIDADE \*\*\*

NARC= 5  
 NRAD= 6  
 DMAX= 1.219 METROS  
 DMIN= 0.305 METROS

#### EXECUCAO DA ANALISE DA ESTABILIDADE

TEMPO T (DIAS)	ETAPA DE CARGA	FATOR DE SEGURANCA OBTIDO	FATOR DE SEGURANCA EXIGIDO	COORDENADAS DO CENTRO(METROS) XC YC		RAIO R (METROS)
0.	1	1.221	1.150	20.117	12.497	18.837

\*\*\*\*\*  
 \* ETAPA DE CARGA NUMERO 1 \*  
 \*\*\*\*\*

TEMPO DE APLICACAO TL= 0. DIAS

CARACTERISTICAS DESTA CARGA

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1- PESO ESPECIFICO NATURAL                                       | GLOAD= 2.002 TON/M3 |
| 2- RESISTENCIA NAD DRENADA                                       | CLOAD= 4.882 TON/M2 |
| 3- ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE                                  | YWM= 0.914 METROS   |
| 4- TANGENTE DO ANGULO DE ATRITO INTERNO DO TAPETE DRENANTE       | TGHPI= 0.577        |
| 5- COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO |                     |

XINP(METROS)

YINP(METROS)

0.000  
 10.668  
 23.835  
 24.750  
 28.407

3.109  
 3.109  
 0.914  
 0.914  
 0.000

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADUTADOS: A= 0.50 , B= 1.00

- FATOR DE SEGURANCA EXIGIDO FSI= 1.150
- FRACAO DO RECALQUE DE ADENSAMENTO QUE DEVERA OCORRER SPECS= 0.000

ESTA ETAPA DE CARGA SERA CONSIDERADA A ULTIMA, SE 95% DA PRESSAO NEUTRA MEDIA FOI DISSIPADA NAS 0.800\*15 VERTICAIS XT.

#### EXECUCAO DA ANALISE DA ESTABILIDADE

TEMPO T (DIAS)	ETAPA DE CARGA	FATOR DE SEGURANCA OBTIDO	FATOR DE SEGURANCA EXIGIDO	COORDENADAS DO CENTRO(METROS)		RAIO R (METROS)
				XC	YC	
0.	1	1.221	1.150	20.117	12.497	18.837
7.	2	1.052	1.150	17.526	13.106	19.193
14.	2	1.061	1.150	17.526	13.106	19.193
21.	2	1.067	1.150	17.526	13.106	19.193
28.	2	1.074	1.150	17.526	13.106	19.193
35.	2	1.079	1.150	17.526	13.106	19.193
42.	2	1.085	1.150	17.526	13.106	19.193
49.	2	1.090	1.150	17.526	13.106	19.193
56.	2	1.095	1.150	17.526	13.106	19.193
70.	2	1.104	1.150	17.526	13.106	19.193
84.	2	1.113	1.150	17.526	13.106	19.193
98.	2	1.121	1.150	17.526	13.106	19.193
112.	2	1.129	1.150	17.526	13.106	19.193
126.	2	1.137	1.150	17.526	13.106	19.193
140.	2	1.144	1.150	17.526	13.106	19.193
154.	2	1.151	1.150	17.526	13.411	19.329

\*\*\*\*\*  
 \* ETAPA DE CARGA NUMERO 2 \*  
 \*\*\*\*\*

TEMPO DE APLICACAO TL= 154. DIAS

CARACTERISTICAS DESTA CARGA

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1- PESO ESPECIFICO NATURAL                                       | GLOAD= 2.002 TON/M3 |
| 2- RESISTENCIA NAO DRENADA                                       | CLOAD= 4.882 TON/M2 |
| 3- ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE                                  | YWM= 0.914 METROS   |
| 4- TANGENTE DO ANGULO DE ATRITU INTERNO DO TAPETE DRENANTE       | TGHPI= 0.577        |
| 5- COORDENADAS DOS PUNTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO |                     |

XINP(METROS)

YINP(METROS)

0.000	4.633
6.706	4.633
10.668	3.109
23.835	0.914
24.750	0.914
28.407	0.000

PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADUTADOS: A= 0.50 , B= 1.00

NO CALCULO DAS TENSOES NO SUBSOLO COMPRESSIVEL, ESTA CARGA FOI APROXIMADA POR 10 CARGAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS, QUE SE ESTENDEM DESDE X=0 ATE X=ALPHA(I). SE ALPHA(I) FOR NEGATIVO, ESTA CARGA SERA SUBTRAIDA.

ALPHA( 1)=27.400 METROS

ALPHA( 2)=25.601 METROS

ALPHA( 3)=22.370 METROS

ALPHA( 4)=19.591 METROS

ALPHA( 5)=16.812 METROS

ALPHA( 6)=14.032 METROS

ALPHA( 7)=11.319 METROS

ALPHA( 8)= 9.717 METROS

ALPHA( 9)= 8.513 METROS

ALPHA(10)= 7.308 METROS



- FATOR DE SEGURANCA EXIGIDO

FSI= 1.150

- FRACAO DO RECALQUE DE ADENSAMENTO QUE DEVERA OCORRER SPECS= 1.200

ESTA ETAPA DE CARGA SERA CONSIDERADA A ULTIMA, SE 95% DA PRESSAO NEUTRA MEDIA FOI DISSIPADA NAS 0.800\*15 VERTICAIS XT.

## EXECUCAO DA ANALISE DA ESTABILIDADE

TEMPO T (DIAS)	ETAPA DE CARGA	FATOR DE SEGURANCA OBTIDO	FATOR DE SEGURANCA EXIGIDO	COORDENADAS DO CENTRO(METROS)		RAIO R (METROS)
				XC	YC	
154.	2	1.151	1.150	17.526	13.411	19.329
161.	3	1.365	1.250	21.031	12.192	18.532

OBSEVE QUE NO TEMPO= 378. DIAS QUE E MAIOR QUE O TEMPO DE CONSTRUCAO TA= 360. DIAS, OS VALORES OBTIDOS PARA O FATOR DE SEGURANCA, FS= 1.365 E/OU PARA O RECALQUE DE ADENSAMENTO, SETC(1)= 1.025 METROS, NAU SATISFAZEM AS EXIGENCIAS ESPECIFICADAS QUE DEVERIAM OCORRER ANTES DO TEMPO DE CONSTRUCAO.

\*\*\* ESTA ETAPA DE CARGA NUMERO 2 E, PORTANTO, CONSIDERADA SER A ULTIMA \*\*\*

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \* PROCESSO DE ADENSAMENTO \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

INFORMACOES A SEREM IMPRESSAS PARA AS VERTICAIS ESCOLHIDAS

UAVE - GRAU DE ADENSAMENTO (%)

SETC - RECALQUE DE ADENSAMENTO (METROS)

SETI - RECALQUE IMEDIATO (METROS)

SETT - RECALQUE TOTAL (METROS)

NOTA: AS DUAS ULTIMAS INFORMACOES, SETI E SETT, SOMENTE SERAO  
 ESCRITAS SE O SOLO FOR PARCIALMENTE SATURADO (B.NE.1).

VERTICAIS XRP(METROS) ESCOLHIDAS

0.000 24.373

\*\*\* T= 0. DIAS \*\*\*  
 TEMPO DE APLICACAO DE CARGA

T= 0. DIAS

0.000 0.000  
 0.000 0.000

T= 7. DIAS

0.130 0.068  
 0.142 0.029

T= 14. DIAS

0.163 0.072  
 0.180 0.031

T= 21. DIAS

0.190 0.075  
 0.208 0.033

T= 28. DIAS

0.215 0.079  
 0.233 0.035

T= 35. DIAS

0.237	0.082
0.254	0.037

T= 42. DIAS

0.258	0.086
0.274	0.039

T= 49. DIAS

0.278	0.089
0.293	0.041

T= 56. DIAS

0.297	0.092
0.315	0.042

T= 70. DIAS

0.333	0.098
0.354	0.045

T= 84. DIAS

0.366	0.104
0.388	0.048

T= 90. DIAS

0.397	0.110
0.419	0.051

T= 112. DIAS

0.427	0.115
0.447	0.053

T= 126. DIAS

0.455	0.121
0.473	0.056

T= 140. DIAS

0.481	0.126
0.498	0.058

T= 154. DIAS

0.506	0.131
0.523	0.060

\*\*\* T= 154. DIAS \*\*\*  
TEMPO DE APLICACAO DE CARGA

T= 154. DIAS

0.506	0.131
0.523	0.060

T= 161. DIAS

0.575	0.137
0.580	0.063

T= 168. DIAS

0.602	0.139
0.604	0.064

T= 175. DIAS

0.625	0.142
0.625	0.065

T= 182. DIAS

0.647	0.145
0.649	0.066

T= 189. DIAS

0.668	0.148
0.670	0.067

T= 190. DIAS

0.587	0.150
0.591	0.068

T= 203. DIAS

0.706	0.153
0.710	0.070

T= 210. DIAS

0.725	0.155
0.729	0.071

T= 224. DIAS

0.760	0.161
0.767	0.073

T= 230. DIAS

0.793	0.166
0.801	0.075

T= 252. DIAS

0.824	0.170
0.835	0.077

T= 260. DIAS

0.854	0.175
0.867	0.079

T= 280. DIAS

0.882	0.180
0.896	0.081

T= 294. DIAS

0.909	0.184
0.923	0.082

T= 308. DIAS

0.934	0.189
0.948	0.084

T= 322. DIAS

0.958	0.193
0.971	0.086

T= 350. DIAS

1.003	0.202
1.013	0.089

T= 376. DIAS

1.043	0.210
1.050	0.093

T= 406. DIAS

1.080	0.218
1.082	0.096

T= 434. DIAS

1.113	0.226
1.110	0.099

T= 462. DIAS

1.143	0.233
1.136	0.102

T= 490. DIAS

1.171	0.241
1.158	0.105

T= 518. DIAS

1.195	0.248
1.178	0.107

T= 540. DIAS

1.218	0.255
1.196	0.110

T= 602. DIAS

1.257	0.269
1.226	0.115

T= 650. DIAS

1.289	0.282
1.251	0.120

T= 714. DIAS

1.315	0.294
1.270	0.125

T= 770. DIAS

1.337	0.306
1.286	0.130

T= 820. DIAS

1.355	0.318
1.300	0.134

T= 882. DIAS

1.370	0.330
1.310	0.139

\*\*\*\*\*  
\*  
\* PLOTAGEM DOS GRAFICOS \*  
\*  
\*\*\*\*\*

#### SÍMBOLOS UTILIZADOS

- U - CURVA DO GRAU DE ADENSAMENTO
- C - CURVA DO RECALQUE DE ADENSAMENTO EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL
- O - CURVA DO RECALQUE IMEDIATO EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL
- T - CURVA DO RECALQUE TOTAL EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL

#### COORDENADAS DO GRAFICO

ABCISSAS - VALORES DE U, C, O, T EM PERCENTAGEM (%)

ORDENADAS - VALORES DO TEMPO EM SEMANAS





CURVAS PERTENCENTES A VERTICAL

XRP=24.373 METROS

RECALQUE TOTAL FINAL NESTA VERTICAL SETR= 0.408 METROS

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3

```

0 C *****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****
1  C
2  UC
3  C
4  C
5  C
6  UC
7  UC
8  UC
9  C
10 UC
11 UC
12 UC
13 UC
14 UC
15 UC
16 UC
17 UC
18 UC
19 UC
20 UC
21 C
22 UC
23 UC
24 UC
25 UC
26 UC
27 UC
28 C
29 UC
30 UC
31 UC
32 UC
33 UC
34 UC
35 UC
36 C
37 UC
38 UC
39 UC
40 UC
41 UC
42 UC
43 UC
44 UC
45 UC
46 UC
47 UC
48 UC
49 UC
50 UC
51 UC
52 UC
53 UC
54 UC
55 UC
56 UC
57 UC
58 UC
59 UC
60 C *****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****I*****

```

A comparação dos resultados obtidos nas tres execuções mostradas, com os resultados apresentados por Krizek & Krugmann(1972)<sup>1</sup>, nos permite afirmar que os dois programas principais, juntamente com as vinte e quatro subrotinas de apoio, estão funcionando perfeitamente bem. Isto posto, poderemos a partir de agora começar a utilizar este sistema computacional para estudar os mais variados problemas de aterros construídos sobre solos moles.

## CAPÍTULO V

## APLICAÇÕES A ATERROS JÁ CONSTRUÍDOS

Neste capítulo serão apresentadas duas aplicações do sistema computacional, SAND-DETR, com o objetivo de se fazer uma comparação dos resultados previstos com os resultados já obtidos na prática.

## V.1 - Aterro experimental do Asian Institute of Technology (Bangkok-Thailand)

Os resultados da distribuição das pressões neutras durante a fase de construção deste aterro experimental foram apresentadas por Moh et al (1972)<sup>2</sup> na conferência "Performance of Earth and Earth-Supported Structures" realizada na Universidade de Purdue-Indiana (U.S.A.).

Este aterro experimental foi construído com o objetivo de prever o comportamento futuro do aterro definitivo, que funcionará como um dique de proteção à enchentes, quando da construção das novas instalações do A.I.T. Seu comprimento é de 80m e sua altura 3m.

O subsolo que suportará este aterro é constituído de 8,6m de argila mole, com resistência de  $2,7 \text{ t/m}^2$ , constante com a profundidade, determinada pelo "Vane test". Abaixo desta camada existem 2,0m de uma argila rija fissurada apoiada em um estrato de areia média a fina.

A história de tensão da argila mole, obtida de ensaios oedométricos, com fluxo de água unidimensional, revela um leve pré-adensamento acima da profundidade de 4,5m, que pode ser indicativo da profundidade de intemperização ou então pode ser devido em parte ao adensamento retardado como sugerido por Bjerrum (1967) (Moh et al (1972)<sup>2</sup>).

O dique foi construído em 13 dias, em camadas de 15cm, compactadas para fornecer um peso específico natural de  $1,79 \text{ t/m}^3$  com um teor de umidade de 32%.

A figura (V.1-1) apresenta a localização dos piezômetros instalados. Todos os piezômetros são do tipo de alta pressão de borbulhamento como descrito por Bishop et al (1960)<sup>3</sup>.

A figura (V.1-2) apresenta a evolução dos acréscimos de pressão neutra durante o período de construção do aterro, tanto para o piezômetro P<sub>19</sub> (5,82m de profundidade) quanto para os valores previstos por diversas teorias, nesta mesma profundidade.

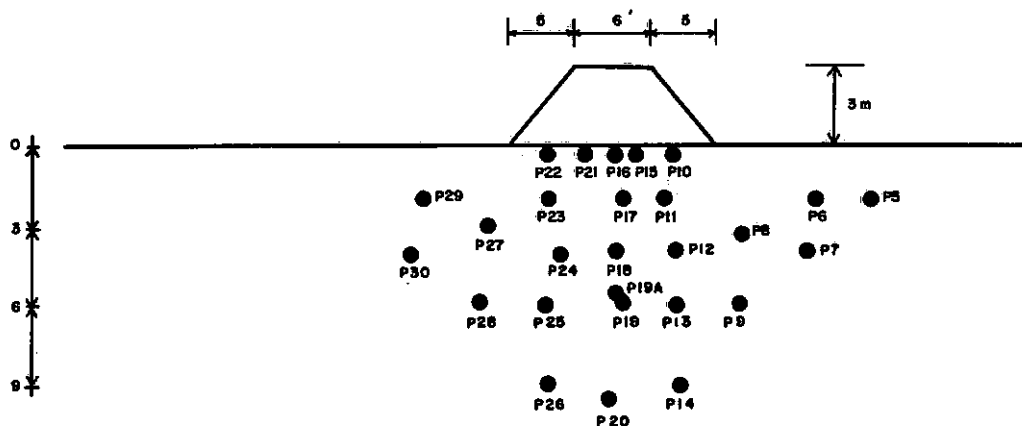


Fig. V.1-1 Localização dos piezômetros sob o dique (Moh et al - 1972)

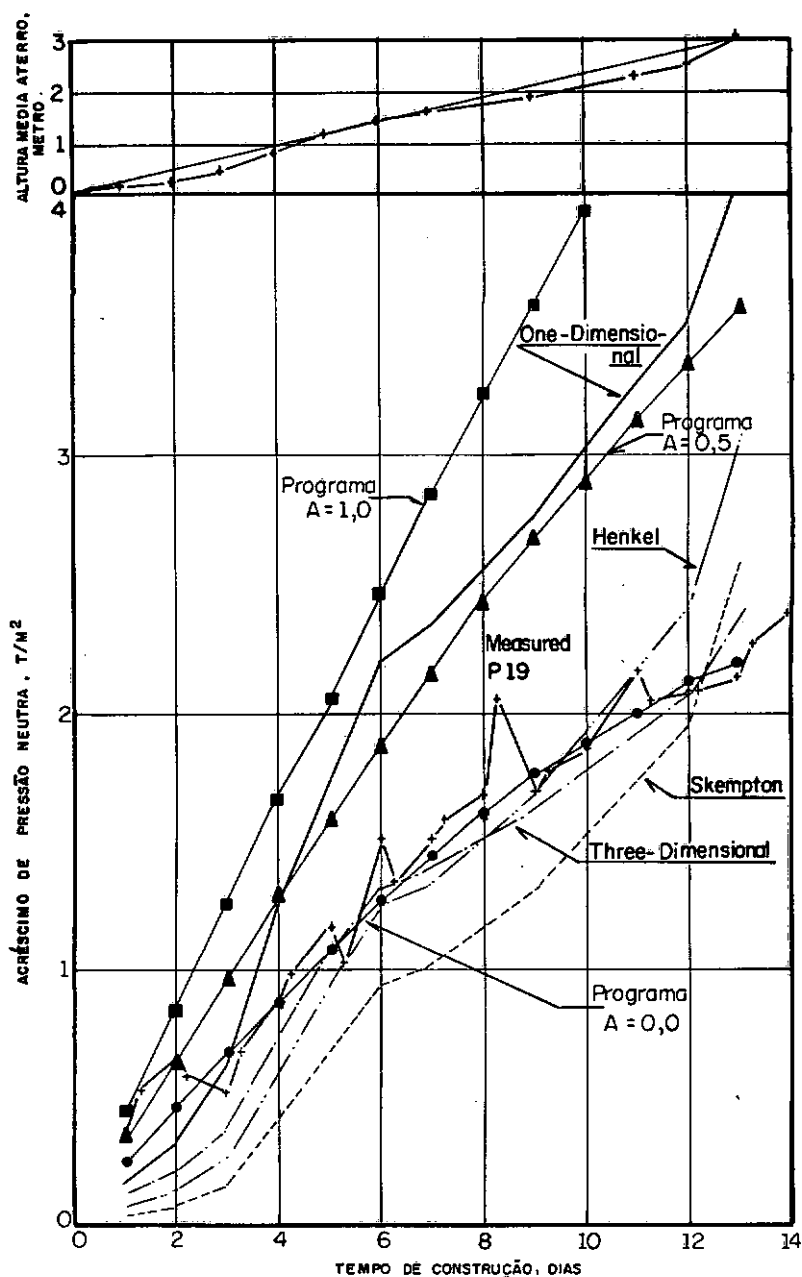


FIG. V.1-2 Comparação entre os acréscimos de pressões neutras medidas pelo piezômetro P19 com previsões de diversas teorias para esta mesma profundidade. (Moh et al - 1972)

O comportamento dos acréscimos de pressão neutra com a profundidade, na vertical sob o eixo de simetria do aterro e no fim da construção pode ser analisado através da fig(V.1-3).

Com a finalidade de confirmar os resultados apresentados na figura(V.1-2), os acréscimos médios de pressão neutra, sob o eixo de simetria do aterro, calculados pelo programa, foram plotados em um gráfico que correlaciona as diversas alturas do aterro durante a construção e os respectivos acréscimos de pressão neutra. A figura(V.1-4) ilustra esta evolução, incluindo os valores medidos em três piezômetros a diferentes profundidades.

É sabido que para se prever, com grande precisão, os acréscimos de pressão neutra desenvolvidos pelo carregamento do solo devido a construção de uma estrutura qualquer, seria necessário conhecer os verdadeiros acréscimos de tensão total, as reais condições de drenagem e as relações entre os acréscimos de pressão neutra e as variações na tensão total.

Todos os possíveis métodos teóricos utilizados na previsão dos acréscimos de pressão neutra, fazem hipóteses sobre a natureza do solo e são sujeitas a objeções. Isto não poderá ser esquecido quando da comparação entre os acréscimos de pressão neutra medidos e aqueles previstos teoricamente. As figuras apresentadas neste sub-item mostram esta comparação. Dos resultados previstos pelo programa tudo indica que o parâmetro A de Skempton que mais se adapta na previsão dos acréscimos de pressão neutra, é na realidade o valor zero. Naturalmente que maior influência nos resultados, exerce o método teórico de determinação da distribuição das tensões totais. Como sugerido por Moh et al(1972)<sup>2</sup>, provavelmente o motivo desta concordância é que os erros oriundos do uso da teoria da elasticidade no cálculo das componentes de tensão em um material não elástico, que também não é homogêneo nem isotrópico, contrabalançam os erros resultantes das hipóteses de propriedades não reais do material, utilizadas no cálculo dos acréscimos de pressão neutra instalados devido ao aumento das tensões totais.

## V.2- Aterro experimental do New Hampshire Department of Public Works and Highways.

Os resultados experimentais oriundos deste aterro-teste foram relatados por Ladd(1972)<sup>3</sup> na conferência "Performance of Earth and Earth Supported Structures" realizada na Universidade de Purdue-Indiana(U.S.A.).

Este aterro experimental tinha os seguintes principais objetivos:

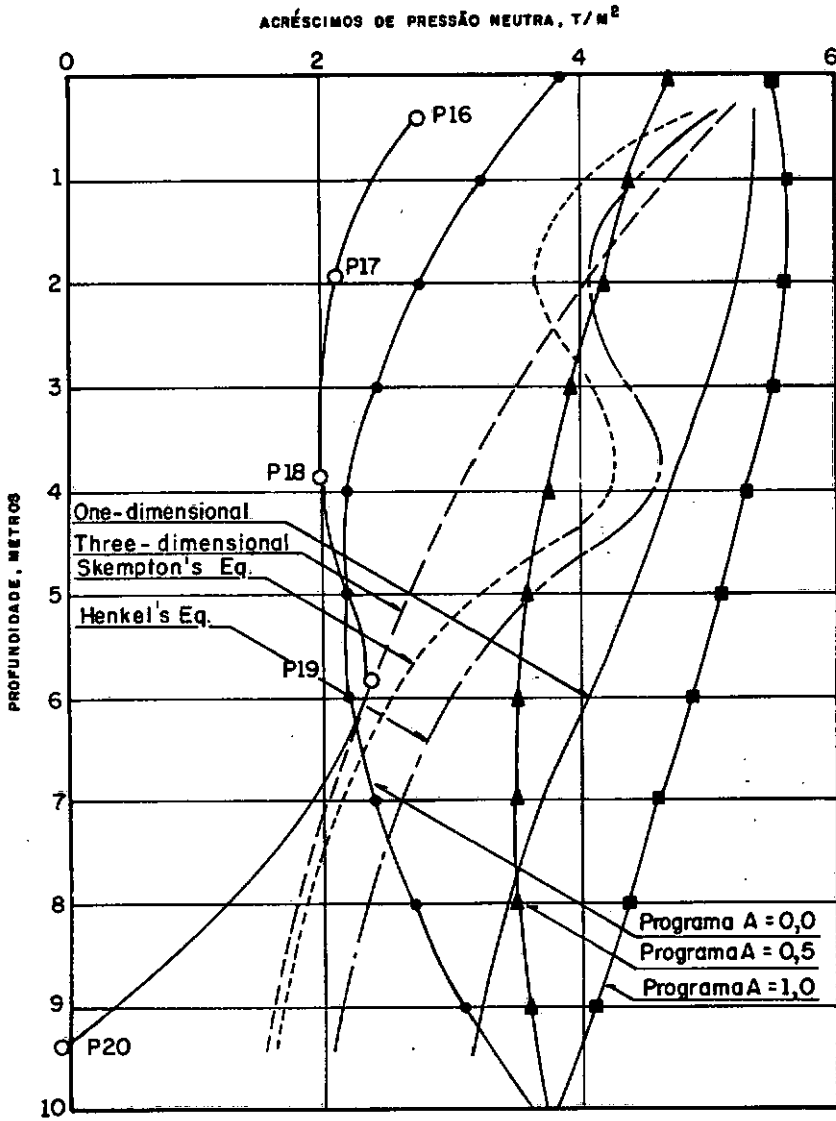


FIG. V.1-3 Comparação dos acréscimos de pressão neutra medidos com as previsões teóricas, sob a linha central do aterro no final da construção. (Moh et al - 1972).

- a) Obter uma estimativa real da resistência não drenada "in situ", calculada a partir da ruptura do aterro;
- b) Certificar-se qual o tipo de dados obtidos no campo que melhor poderiam indicar que a ruptura seria eminente;
- c) Estabelecer relações entre estes dados, que mais tarde poderiam ajudar na previsão do comportamento de aterros construídos sobre solos moles;
- d) Investigar o comportamento de adensamento da argila depois de ocorrer a ruptura, com a colocação de instrumentação a leste do eixo (talude 8:1) que propositadamente não seria rompido; e
- e) Medir o aumento da resistência com o adensamento, através de testes Vane "in situ".

O aterro foi construído em aproximadamente um mês, quando então na noite de 6 para 7 de junho ocorreu a ruptura. Na tarde de 6 de junho foi colocada a última etapa de carga, que elevou o aterro para 21,5ft de altura.

As condições locais do subsolo podem ser expressas pelos seguintes parâmetros:

- Su vane =  $250 \pm 50$  psf
- Su amolgado =  $25 \pm 5$  psf
- Umidade natural =  $50 \pm 5\%$
- Limite de liquidez =  $35 \pm 5\%$
- Limite de plasticidade =  $20 \pm 2\%$
- Índice de liquidez =  $1,8 \pm 0,5$

O nível <sup>da água</sup> em algumas regiões se encontrava cerca de 1 a 2 ft acima da superfície do terreno. A camada superficial do terreno foi retirada e seu local foi preenchido com um tapete drenante de 3ft de altura.

A instrumentação do subsolo era composta de piezômetros de corda vibrante (Geonor), piezômetros de Casagrande, plataformas de recalque e inclinômetros (Wilson). Os resultados apresentados se resumem em recalques de adensamento durante a construção, evolução dos acréscimos de pressão neutra e análise da estabilidade.

A figura (V.2-1) apresenta a seção transversal do aterro teste bem como a localização da instrumentação utilizada. Basicamente foram três as seções instrumentadas ao longo dos 225ft de comprimento do aterro.



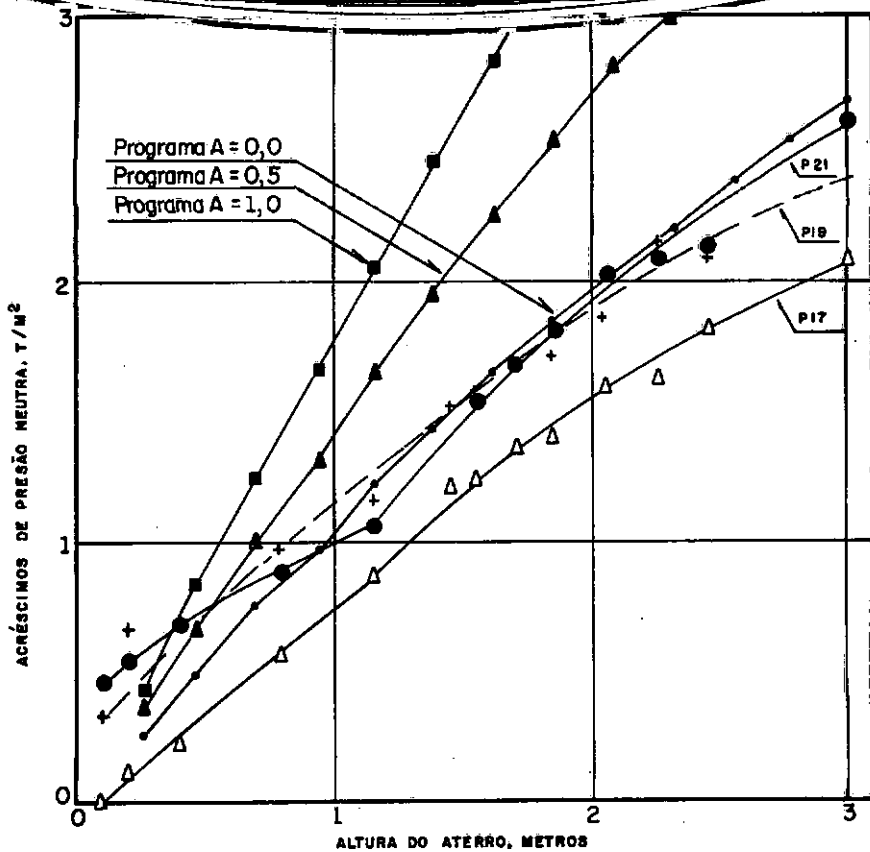


FIG. V.1-4 Evolução das pressões neutras medidas e previstas pelo programa na vertical sob o eixo de simetria, durante a construção do aterro (Moh et al - 1972)

Os dados utilizados no cálculo dos acréscimos de pressão neutra, e no cálculo dos recalques de adensamento foram os seguintes:

- Espessura do solo mole - 34ft
- Peso específico do aterro - 155,5pcf
- Coesão do aterro - 200psf
- Espessura do tapete drenante - 3ft
- Ângulo de atrito do tapete drenante - 40°
- Ângulo de atrito do aterro - 0°
- Duas faces de drenagem vertical.
- Subsolo pré-adensado.
- Coeficiente de adensamento vertical - 0,1 sqft/day
- N° de etapas de carga - 10
- Índice de vazios inicial - 1,3
- Parâmetro A de Skempton - 0,5
- Índice de compressão - 0,7

- Razão de recompressão - 0,05
- Parâmetros de adensamento constantes.
- Coeficiente de compressibilidade variável no cálculo dos recalques.

A execução do programa SAND com  $ISP=1$  nos forneceu os resultados que estão apresentados na figura(V.2-2).

Os dados utilizados na obtenção dos resultados de análise da estabilidade, foram os mesmos apresentados acima, somente complementados com os dados de resistência ao cisalhamento, variando com a profundidade (Vane "in situ").

A execução do programa SAND com  $ISP=0$ , nos forneceu os resultados que estão apresentados na figura(V.2-3).

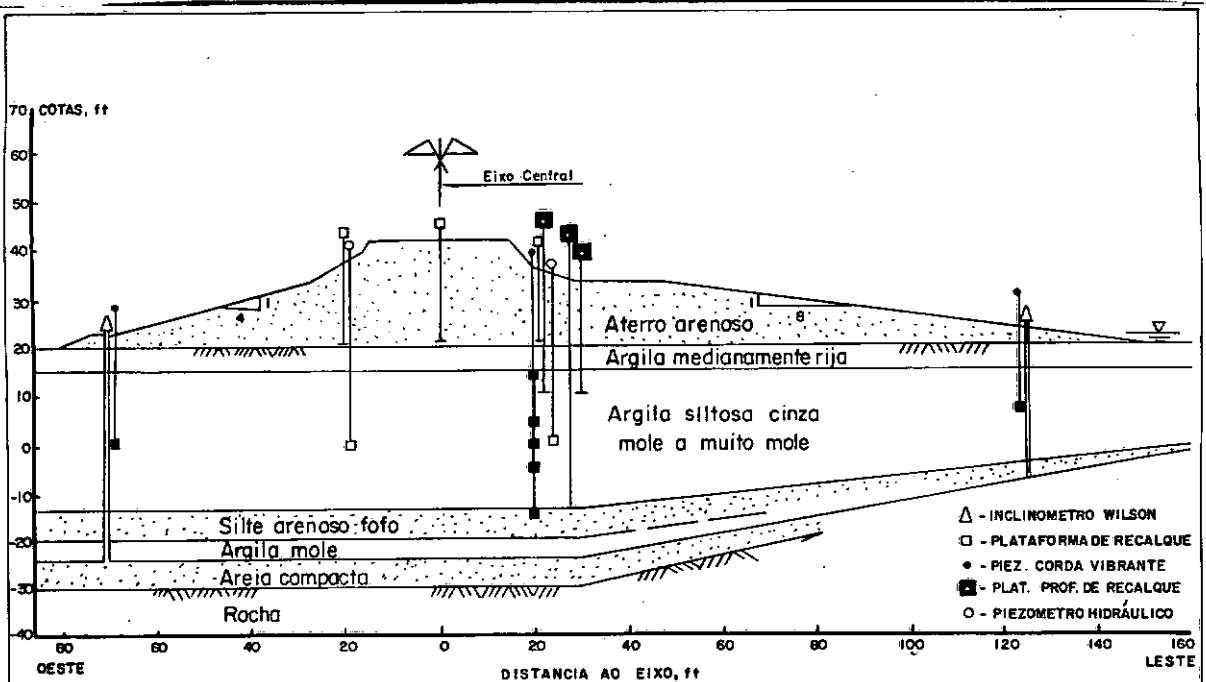


Fig. V.2-1 Seção Transversal do aterro teste e localização da instrumentação.

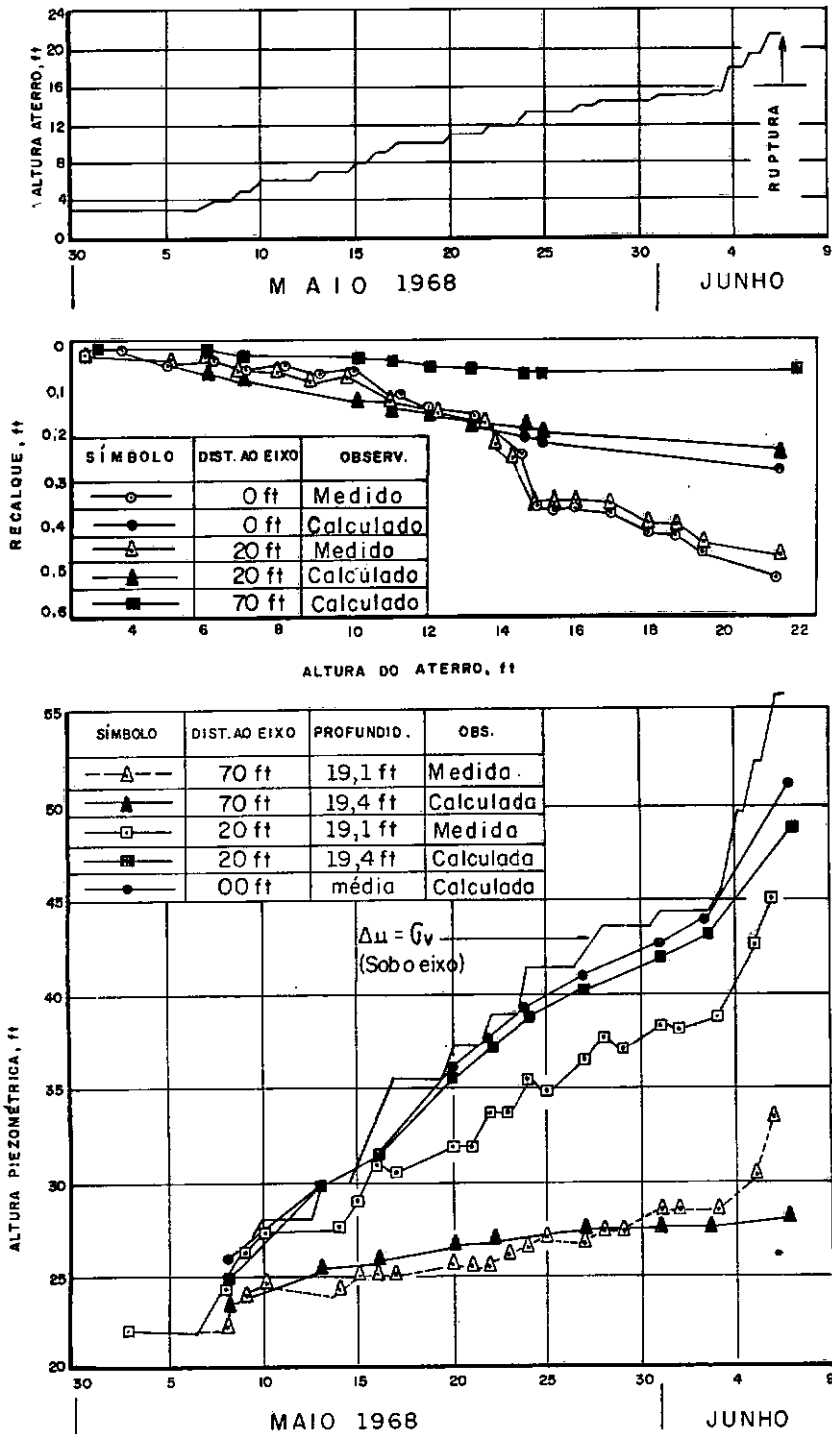


Fig. V.2 - 2 Resultados de recalque e acréscimos de pressão neutra (Ladd - 1972)

Quando da comparação dos resultados obtidos pelo programa, com os medidos no local, devemos levar em conta os seguintes itens:

- 1 -O sistema computacional SAND-DETR somente pode prever o comportamento de aterros simétricos, o que não é o caso deste aterro experimental.
- 2 -Na análise da estabilidade programada, devido a simetria exigida, o círculo crítico é limitado pelo eixo central, isto é, não poderá ultrapassá-lo.
- 3 -O parâmetro A de Skempton, bem como o índice de vazios inicial do solo mole, foram arbitrados já que não existe citação sobre seus valores no artigo de Ladd.

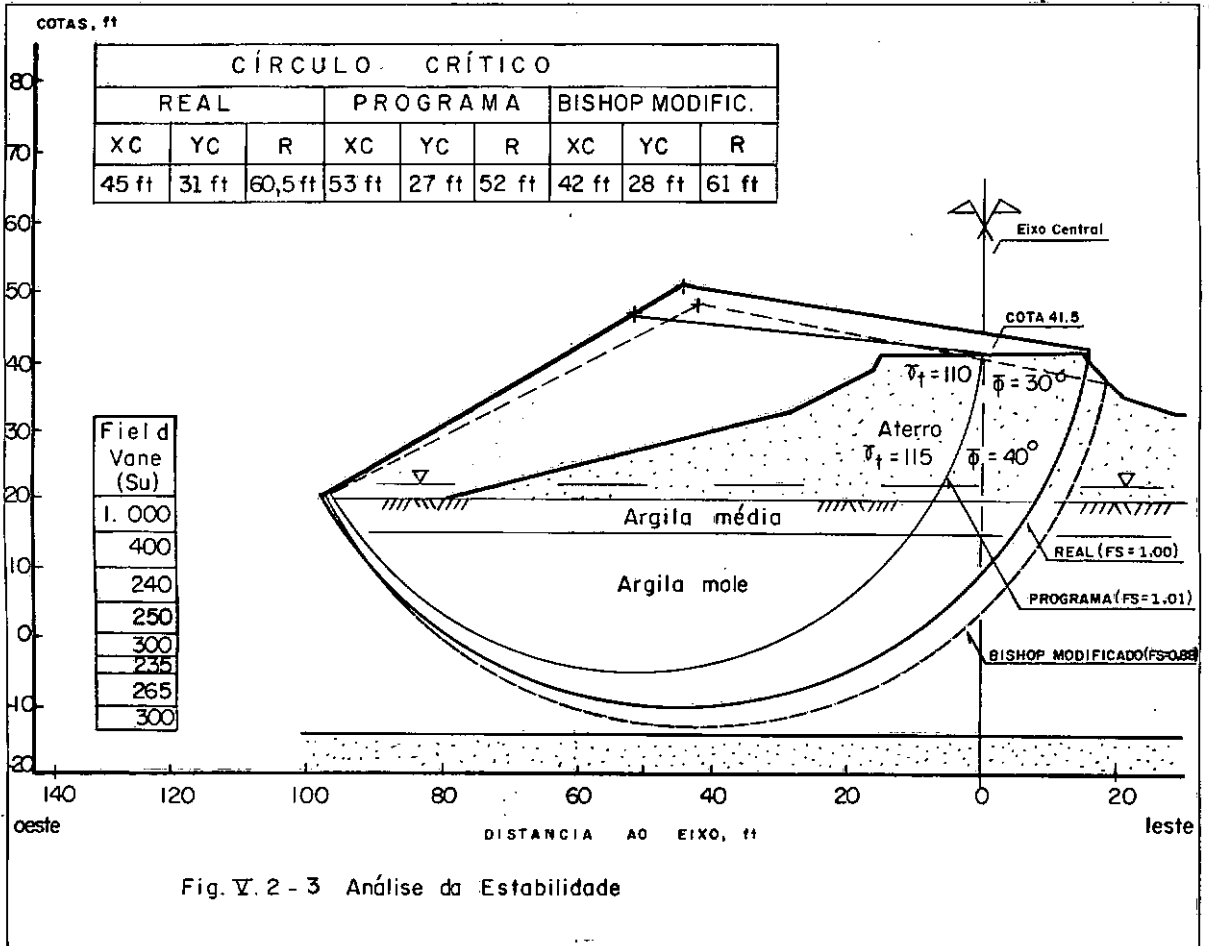
Isto posto, poderemos passar a comentar os resultados obtidos. Quanto a evolução dos acréscimos de pressão neutra, podemos notar que os valores obtidos são superiores aos medidos, com excessão daqueles pertencentes a vertical distante 70ft do eixo, onde então os valores calculados concordam grosseiramente com os medidos durante praticamente todo o tempo de construção do aterro. Os resultados super-estimados obtidos, podem ser parcialmente justificados pelos itens 1 e 3 apresentados anteriormente, enquanto que a concordância na vertical 70ft, parece razoável já que não é influenciada por estes itens devido a distância do eixo de simetria, bem como a pequena altura do aterro.

Quanto aos recalques por adensamento, podemos notar que o cálculo teórico sub-estima seus valores, fazendo com que não haja concordância aceitável dos valores medidos com os valores calculados. Os recalques superficiais medidos foram muito uniformes até os últimos 5 dias de colocação do aterro; a partir dos quais, os recalques na linha central aumentaram levemente. O recalque máximo medido foi 0,5ft enquanto que os previstos pela teoria do adensamento foram de  $0,3 \pm 0,05\text{ft}$  (Ladd-1972)<sup>3</sup>. Acreditamos que a não concordância provém das hipóteses de ocorrência dos diversos tipos de recalques, já que, sendo o subsolo constituído de uma argila mole sensível, os recalques devido a efeitos secundários são significativos, consequentemente não poderão ser negligenciados.

Quanto a estabilidade do conjunto aterro-subsolo, a figura (V.2-3) é deveras esclarecedora. Independente da consideração da limitação do círculo de escorregamento ao eixo de simetria, poderemos afirmar que o resultado do fator de segurança obtido, é sem dúvida nenhuma, muito próximo do real. Q

Isto pode ter sido mera casualidade. Uma afirmação mais precisa da validade do uso destes programas com a finalidade de obtenção de valores de estabilidade de aterros construídos sobre solos moles, só poderá ser feita após muitas comparações de resultados calculados com os previstos.

Estes dois exemplos de aplicação do sistema computacional SAND-DETR, encerram as comparações feitas neste trabalho de resultados calculados com os resultados medidos "in loco".



## CAPÍTULO VI

## PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DOS ATÉRROS EXPERIMENTAIS I e II DO IPR.

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) é um órgão brasileiro cuja finalidade precípua é a de promover o desenvolvimento tecnológico de todas as atividades correlacionadas a um projeto rodoviário.

No que diz respeito a construção de aterros rodoviários sobre solos compressíveis o IPR está, na presente data, em fase de execução de um projeto que é composto de três aterros experimentais, a serem construídos na baixada fluminense, no município de Duque de Caxias, distante cerca de 20Km da cidade do Rio de Janeiro.

O aterro IPR-I será levado a ruptura, enquanto que os outros dois se destinarão ao estudo do comportamento de processos de estabilização e de aceleração da dissipação dos acréscimos de pressão neutra.

A disposição dos aterros experimentais se encontra na figura (VI-1).

## VI.1- Aterro experimental IPR-I.

O objetivo da construção deste aterro é o de determinar os parâmetros de resistência que governam a ruptura na condição não drenada e o de avaliar os acréscimos de pressões neutras durante a construção do aterro.

Para que se pudesse fazer uma previsão do comportamento durante a sua construção, foram elaborados quatro gráficos que apresentam uma variação dos parâmetros do solo e do próprio aterro.

A figura (VI.1-1) mostra a geometria do aterro bem como alguns dados indispensáveis na previsão do seu comportamento.

Já que a grande incógnita neste problema é a resistência não-drenada do subsolo, esta será a variável que governará a variação de outros parâmetros, tais como, altura do aterro, nº de etapas de carga, etc...

Foram considerados quatro hipóteses para a resistência ( $S_u$ ) do subsolo (Vane "in situ").

1ª hipótese:  $S_u$  variável com a profundidade, segundo as equações:

$$S_u = 1,88 - 0,61 \cdot Z \quad p/ \quad 0 \leq Z \leq 2,15$$

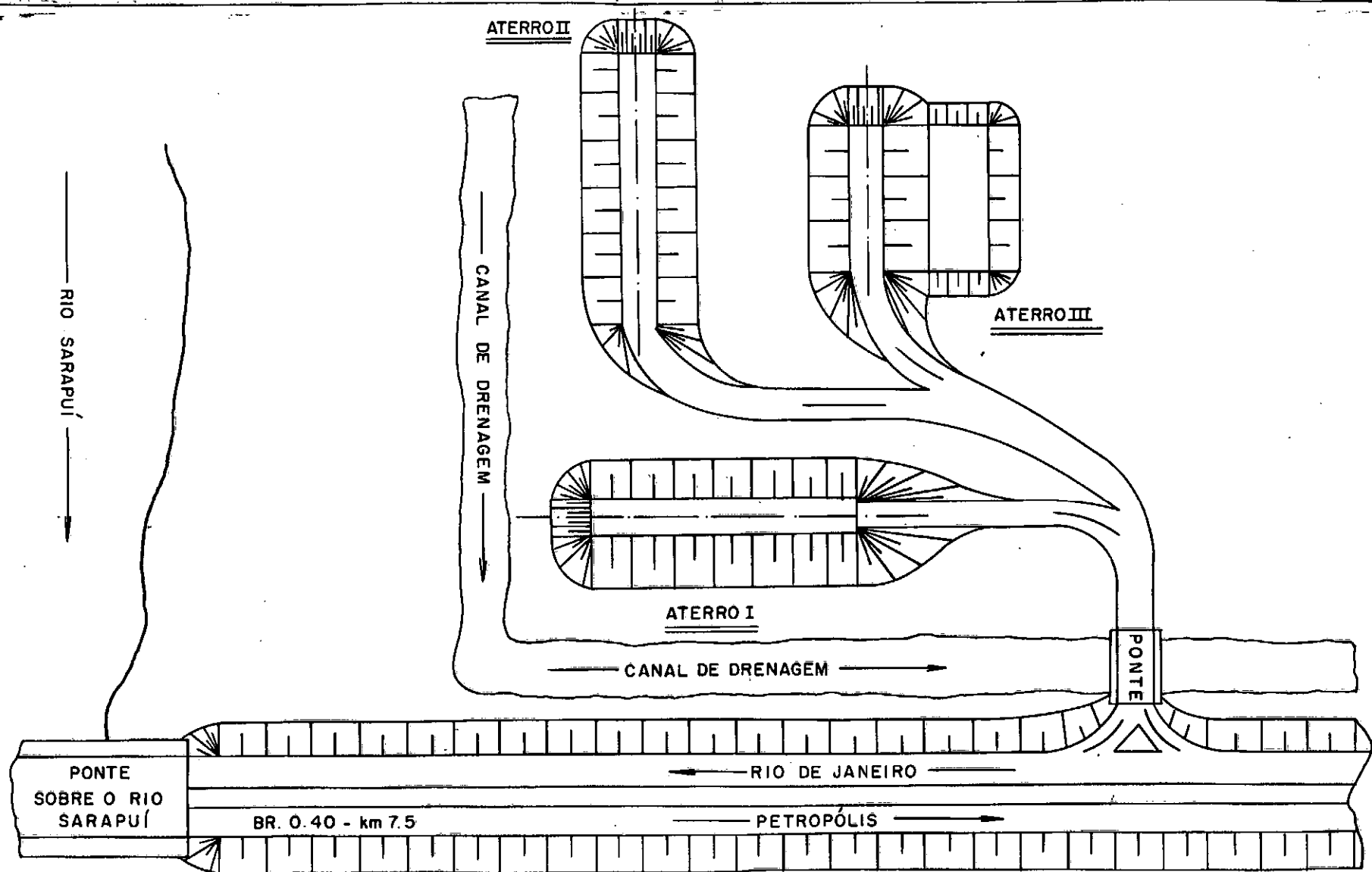
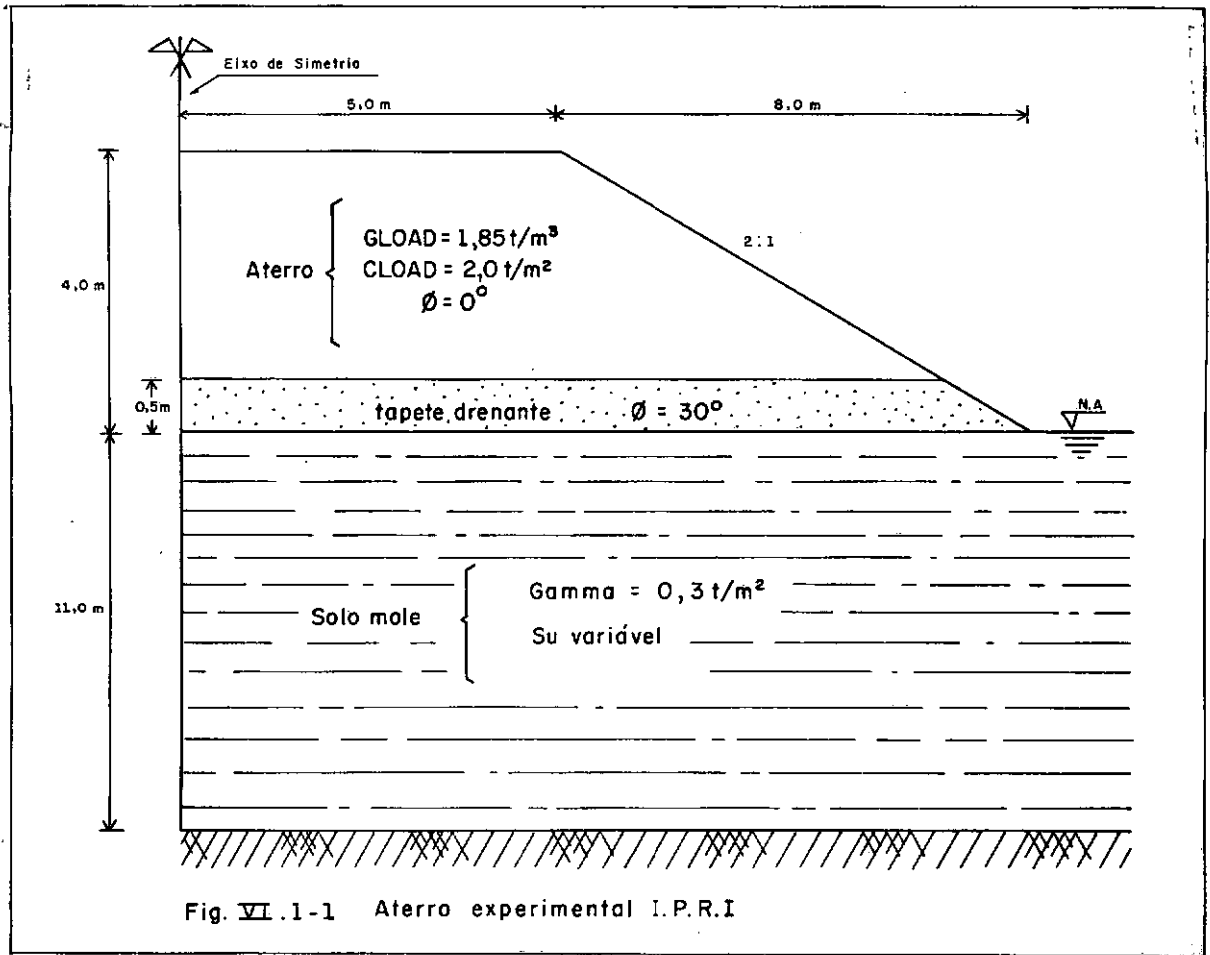


FIG. VI - 1 Disposição dos três aterros experimentais do I.P.R.



e

$$S_u = 0.37 + 0.093 \cdot Z \quad p / Z \geq 2.15$$

Onde  $Z(\text{m})$  e  $S_u(\text{t/m}^2)$ .

2ª hipótese :  $S_u$  constante com a profundidade e igual ao valor mínimo do  $S_u$  variável

$$S_u = 0.57 \text{ t/m}^2$$

3ª hipótese :  $S_u$  constante com a profundidade e igual ao valor de  $S_u$  na profundidade máxima que passa o círculo de escorregamento, na análise da estabilidade, com  $S_u$  variável ( $Z=4.77\text{m}$ ):

$$S_u = 0.814 \text{ t/m}^2$$

4ª hipótese :  $S_u$  constante com a profundidade e igual ao valor médio de  $S_u$  variável, tomando 11 valores.

$$S_u = 1.08 \text{ t/m}^2$$

Com estas hipóteses, acionou-se o programa SAND para estudar qual a altura



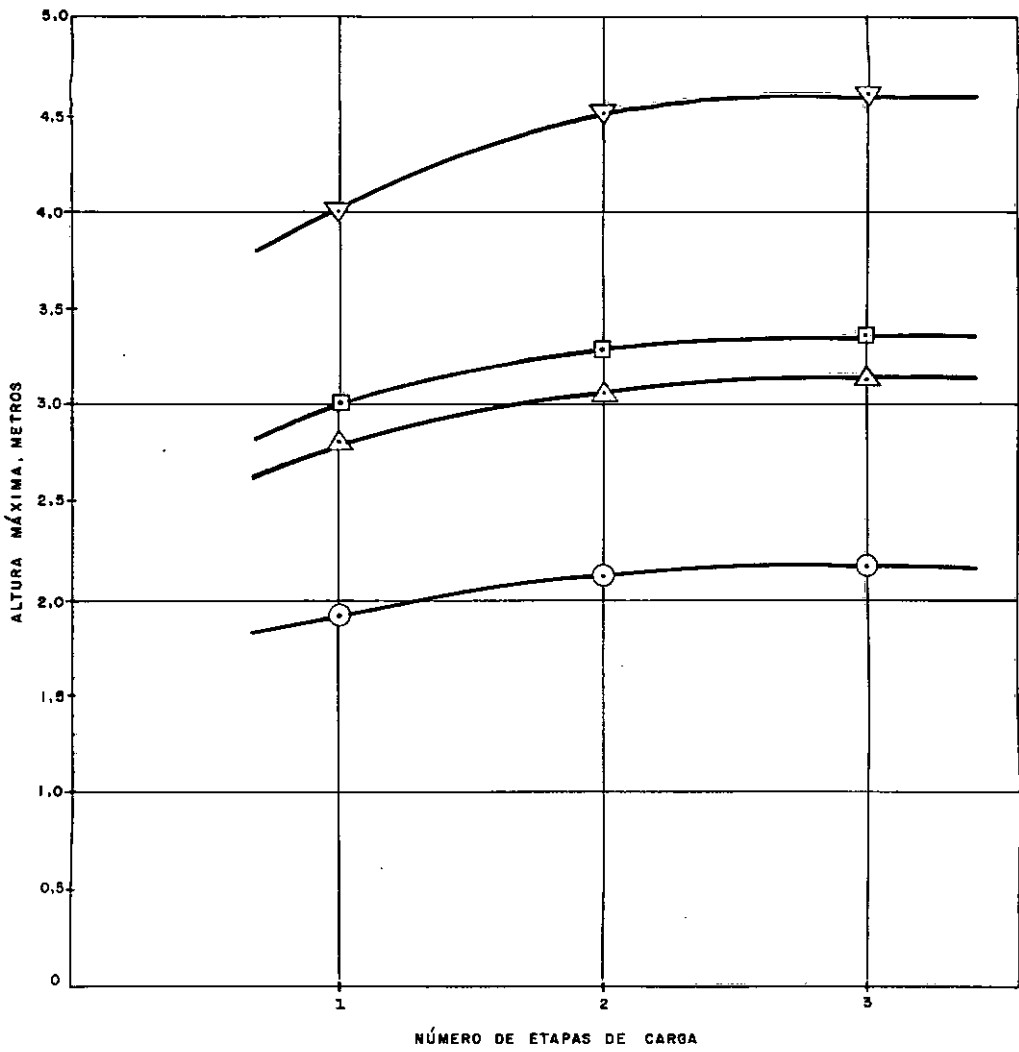
máxima de aterro, que se poderia construir com 1,2 e 3 etapas de carga, mantendo-se fixa a semi-largura da base do trapézio (13m), a inclinação do talude (2:1), o tempo de construção do aterro (30 dias) e o fator de segurança à ruptura (1,0).

Com isto então obtivemos a figura (VI.1-2).

Observe que nesta figura, como era de se esperar, aumentando-se o nº de etapas de carga, a altura máxima do aterro a ser construído também aumenta, somente que de forma assintótica a um valor máximo correspondente a um nº in finito de etapas de carga.

Os dados que possibilitam a execução do programa SAND foram os seguintes:

- Espessura da camada compressível - 11,0m
  - Peso específico do material do aterro -  $1,85 \text{ t/m}^3$
  - Coesão do material do aterro -  $2,0 \text{ t/m}^2$
  - Ângulo de atrito do material do tapete drenante -  $30^\circ$
  - Espessura do tapete drenante - 0,5m
  - Índice de vazios inicial - 3,2
  - Parâmetro A de Skempton - 0,5
  - Índice de compressibilidade - 1,6
  - Razão entre a recompressão e o índice de compressibilidade - 0,5
  - Peso específico submerso do solo mole -  $0,3 \text{ t/m}^3$
  - Coeficiente de adensamento variável com a pressão efetiva
- | PCV ( $\text{t/m}^2$ ) | CV $\times 10^{-4}$ ( $\text{m}^2/\text{dia}$ ) |
|------------------------|---|
| 0,23                   | 311,0   |
| 0,31                   | 371,0   |
| 0,50                   | 397,0   |
| 0,76                   | 380,0   |
| 1,40                   | 262,0   |
| 2,50                   | 108,0   |
| 3,70                   | 84,5  |
| 6,00                   | 10,3  |
| 12,00                  | 10,0  |
| 23,00                  | 10,0  |
| 50,00                  | 9,8   |
- Coeficiente de compressibilidade variável no cálculo dos recalques.
  - Razão (c/p) de ganho de resistência - 0,32



- ⊙  $S_u = S_{u\min} = 0,57 \text{ t/m}^2 \text{ (cte)}$
- △  $S_u = 0,814 \text{ t/m}^2 \text{ (cte)}$
- $S_u = \text{variando com a profundidade}$
- ▽  $S_u = S_{u\text{médio}} = 1,08 \text{ t/m}^2 \text{ (cte)}$

Fig. VI.1-2 Comportamento da altura máxima do aterro em relação ao número de etapas de carga.

- Duas faces de drenagem na direção vertical.

Um outro estudo semelhante foi feito com o objetivo de conhecer a variação da altura máxima do aterro a ser construído, com a coesão do material do aterro. Neste caso, da geometria do aterro, foi pré-fixada a semi-largura da plataforma (5,0m) e a inclinação do talude (2:1). Além disso, o fator de segurança à ruptura e o tempo de construção foram especificados serem 1,0 e 30 dias, respectivamente.

Com isto o programa DETR foi acionado, pois ele é que considera o aumento linear da carga com o tempo. A razão do dreno foi adotada ser zero já que inexistente drenagem radial.

Os dados que asseguraram esta execução, além dos já listados anteriormente, são os seguintes:

- Coeficiente de adensamento constante -  $10,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{dia}$
- Fator de segurança a longo prazo - 1,0

A figura (VI.1-3) apresenta os resultados destas execuções do programa DETR.

Nesta figura podemos observar que o comportamento é semelhante para todas as hipóteses de resistência, com exceção daquela que considera a resistência variável com a profundidade, cujo crescimento da altura máxima do aterro é bem mais rápido. Este estudo encerra a análise da altura máxima do aterro a ser construído.

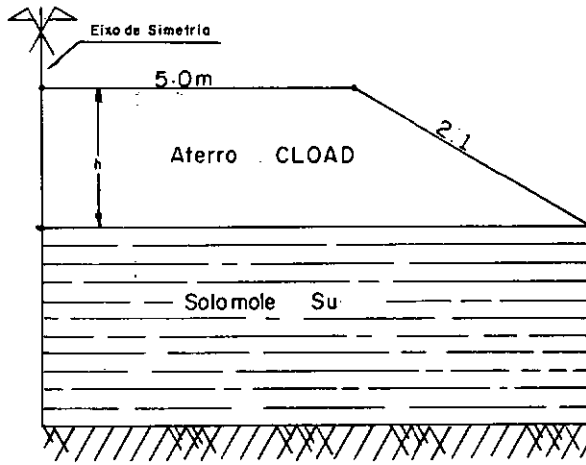
Um outro estudo realizado, diz respeito a influência do coeficiente de adensamento na velocidade de dissipação da pressão neutra e consequentemente na ocorrência dos recalques.

Para isto o coeficiente de adensamento foi feito variar desde  $0,432 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{dia}$  até  $0,864 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{dia}$ .

Os resultados da evolução dos recalques estão mostrados na figura (VI.1-4) e os da dissipação da pressão neutra figura (VI.1-5). Para a obtenção destes resultados o programa DETR foi acionado com a geometria apresentada na figura (VI.1-1) e os dados já relacionados anteriormente.

Todos os gráficos apresentados tem como finalidade o acompanhamento da execução do aterro, para que então se possam estabelecer relações que venham a auxiliar na previsão do comportamento de futuros aterros construídos sobre este tipo de solo mole.

## VI.2- Aterro experimental IPR-II.



TA - tempo de construção do aterro = 30 dias

FSI - fator de segurança especificado = 1,0

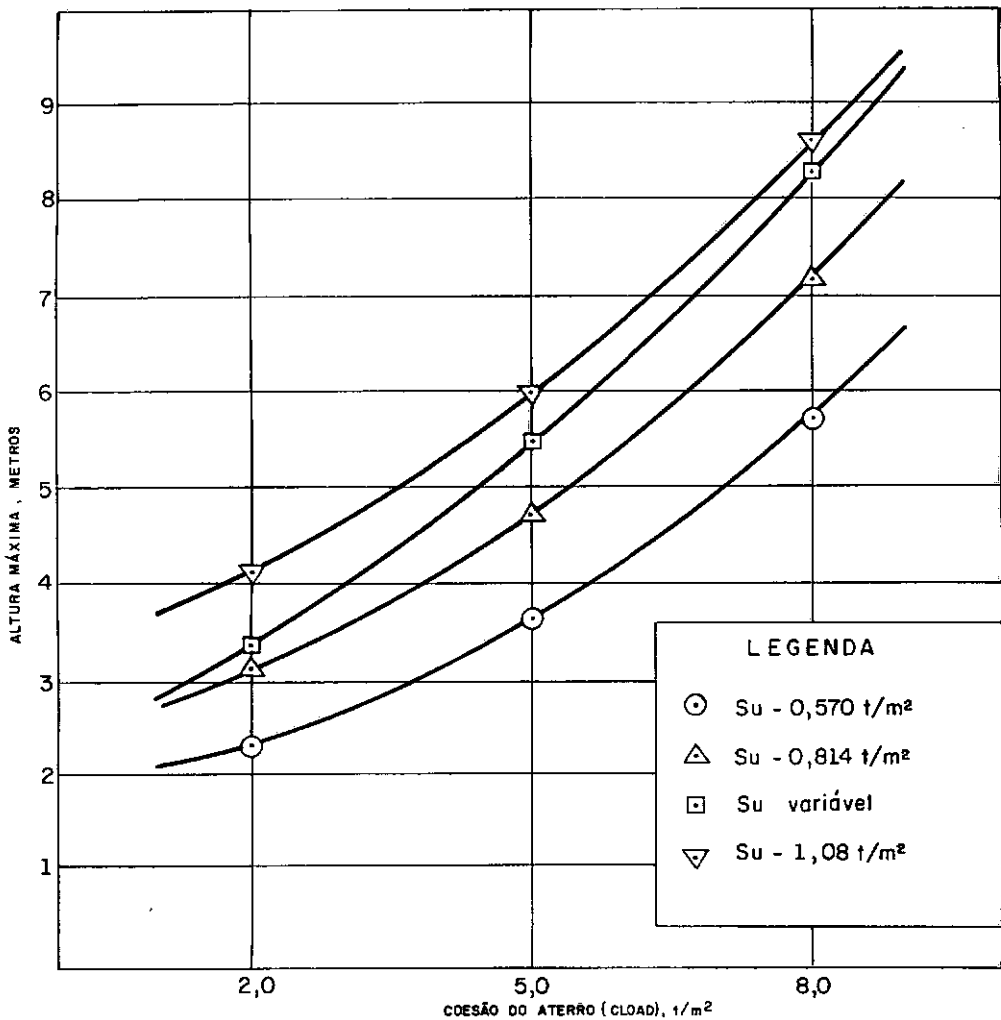


Fig. VI . 1 - 3 Comportamento da altura máxima do aterro IPR I em relação a sua coesão.

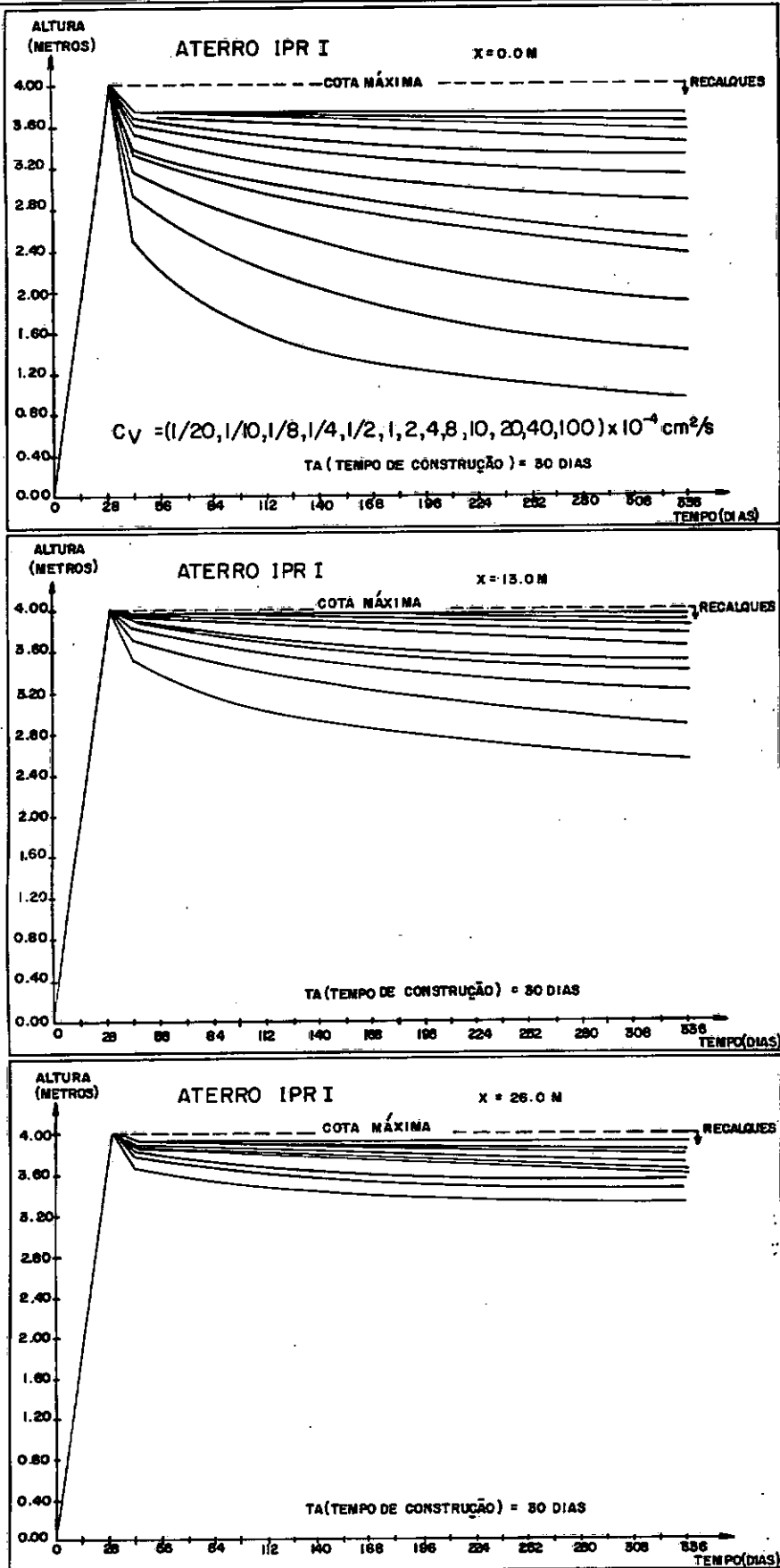


Fig. VI.1 - 4 Evolução dos recalques em função do coeficiente de adensamento vertical.

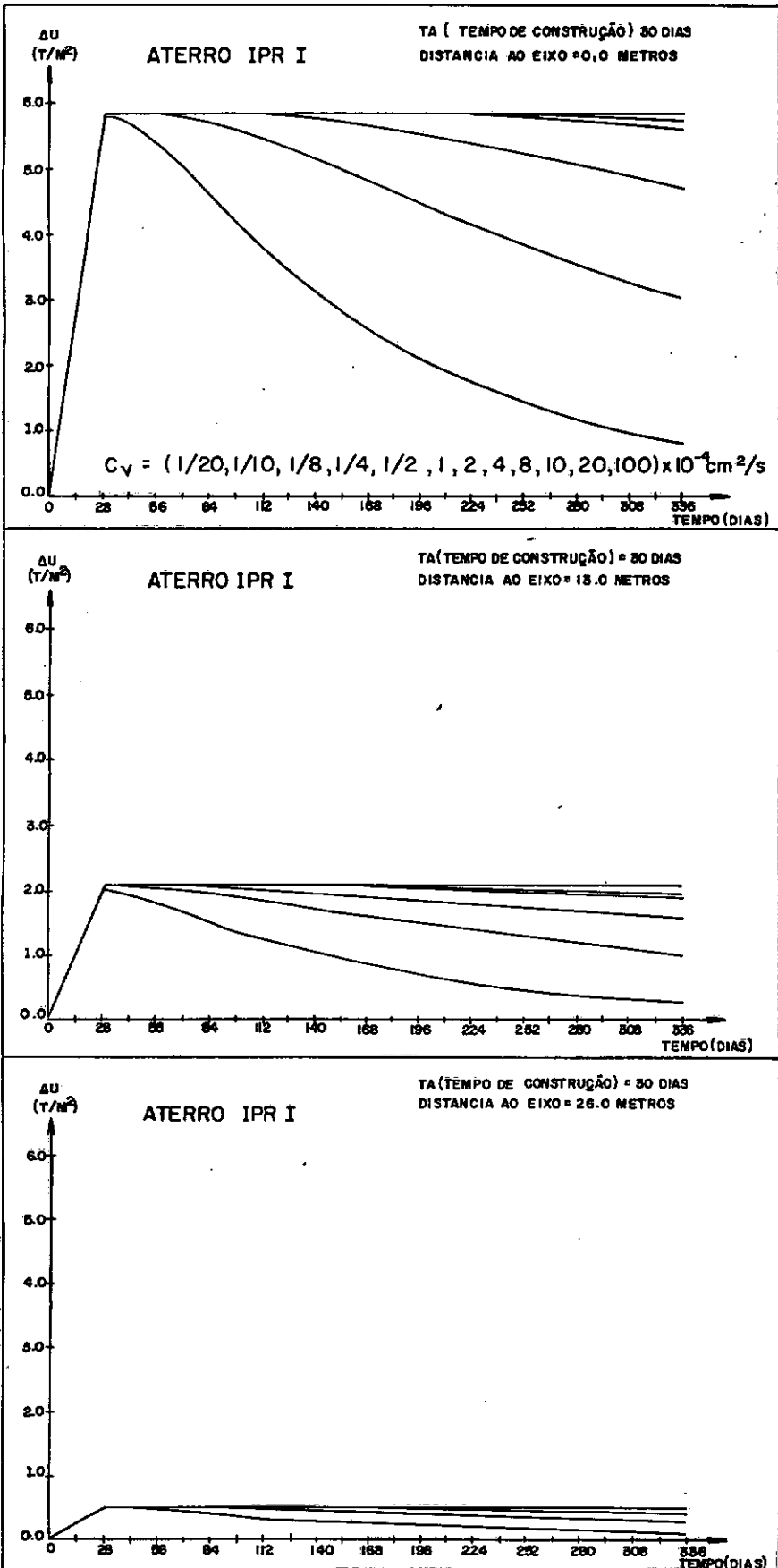


Fig. VI.1- 5 Velocidade de dissipação da pressão neutra em função do coeficiente de adensamento vertical.

Este aterro será construído com o objetivo de estudar o comportamento dos diversos sistemas de drenagem radial. Neste trabalho será apresentado o comportamento da evolução dos recalques e da dissipação dos acréscimos de pressão neutra, variando-se os coeficientes de adensamento para fluxo vertical e radial.

A variação do coeficiente de adensamento para fluxo vertical foi de  $0,432 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{dia}$  até  $864,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{dia}$ ; e para fluxo radial de 1/20 a 20 vezes cada um dos valores do fluxo vertical.

A geometria, bem como alguns parâmetros que caracterizam este aterro, estão apresentados na figura (VI.2-1).

O programa DETR mais uma vez foi acionado para fornecer os resultados desejados, com os seguintes dados:

- Razão do dreno = 0,133
- Raio do dreno = 0,20m
- Distância ao eixo de simetria do dreno mais afastado = 10,5m

Os outros dados já foram relacionados no item anterior.

As figuras (VI.2-2A) e (VI.2-2B) apresentam os resultados da evolução dos recalques com o tempo.

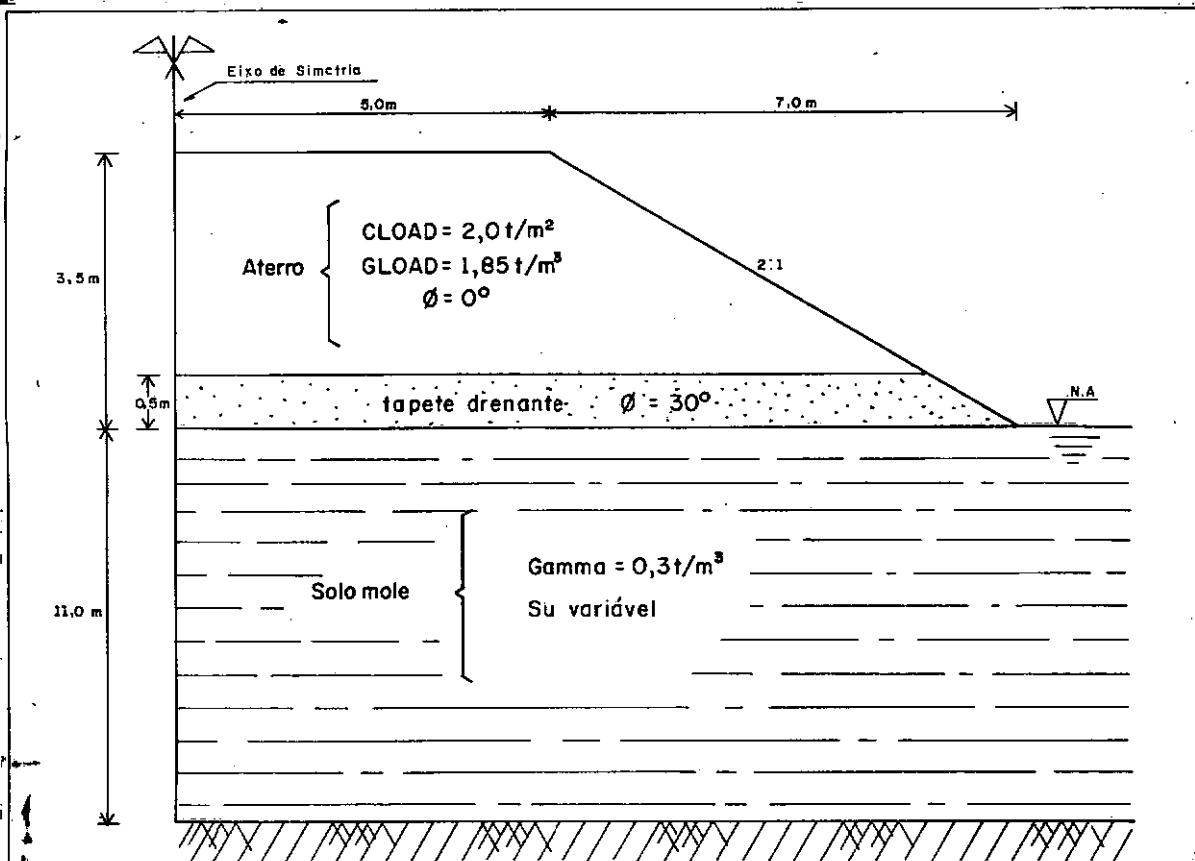


Fig. VI. 2-1 Aterro experimental I.P.R. II

CURVAS RECALQUES X TEMPO - ATERRO IPR II  
 VELOCIDADE DE RECALQUE NO CENTRO DO ATERRO  
 TEMPO DE CONSTRUÇÃO = 30 DIAS — ALTURA DO ATERRO(h) = 3,5 m

$$R = C_r / C_v$$

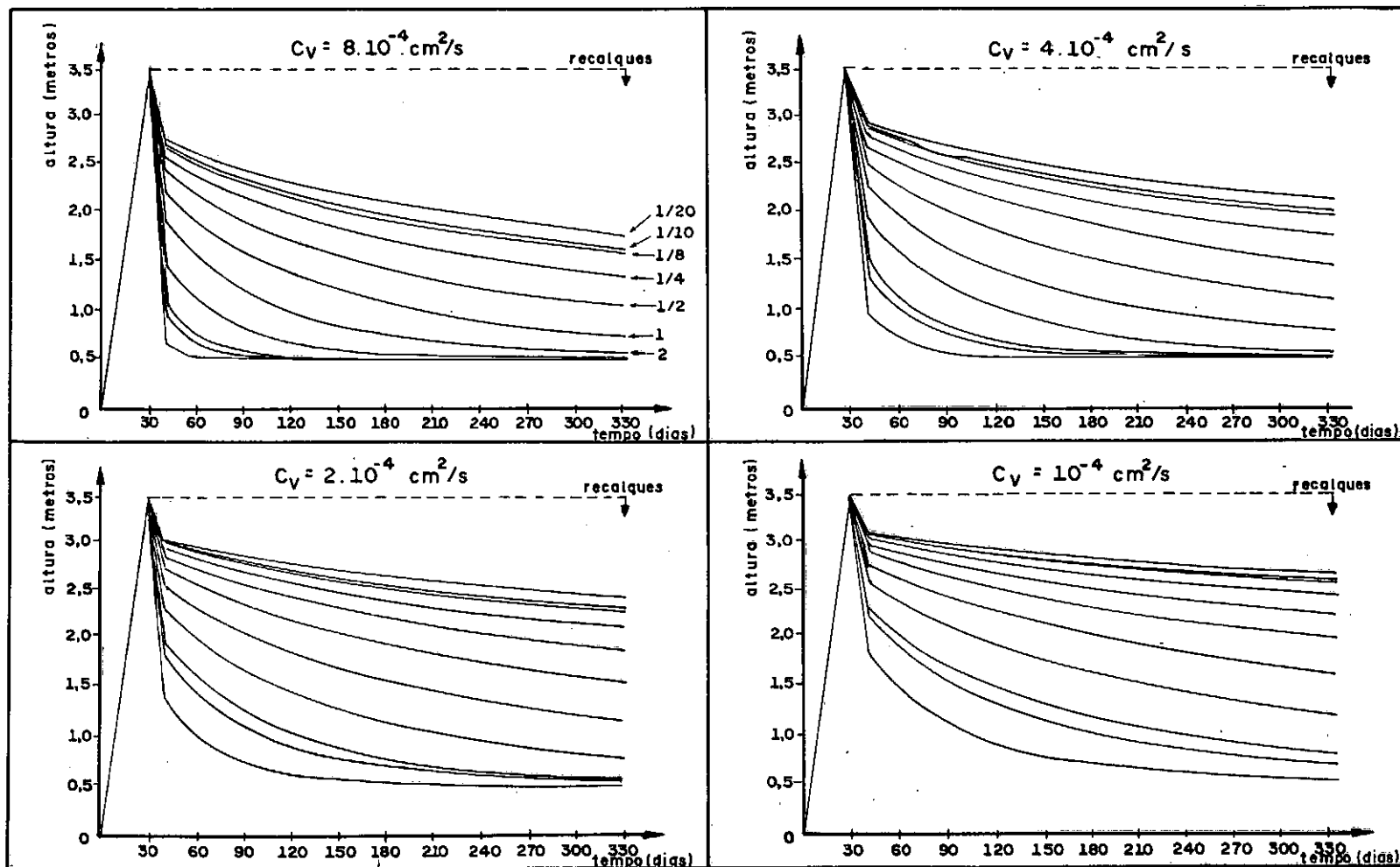


Fig. VI. 2-28



CURVAS RECALQUES X TEMPO - ATERRO IPR II  
 VELOCIDADE DE RECALQUE NO CENTRO DO ATERRO  
 TEMPO DE CONSTRUÇÃO = 30 DIAS — ALTURA DO ATERRO(h) = 3,5 m  
 $R = C_r / C_v$

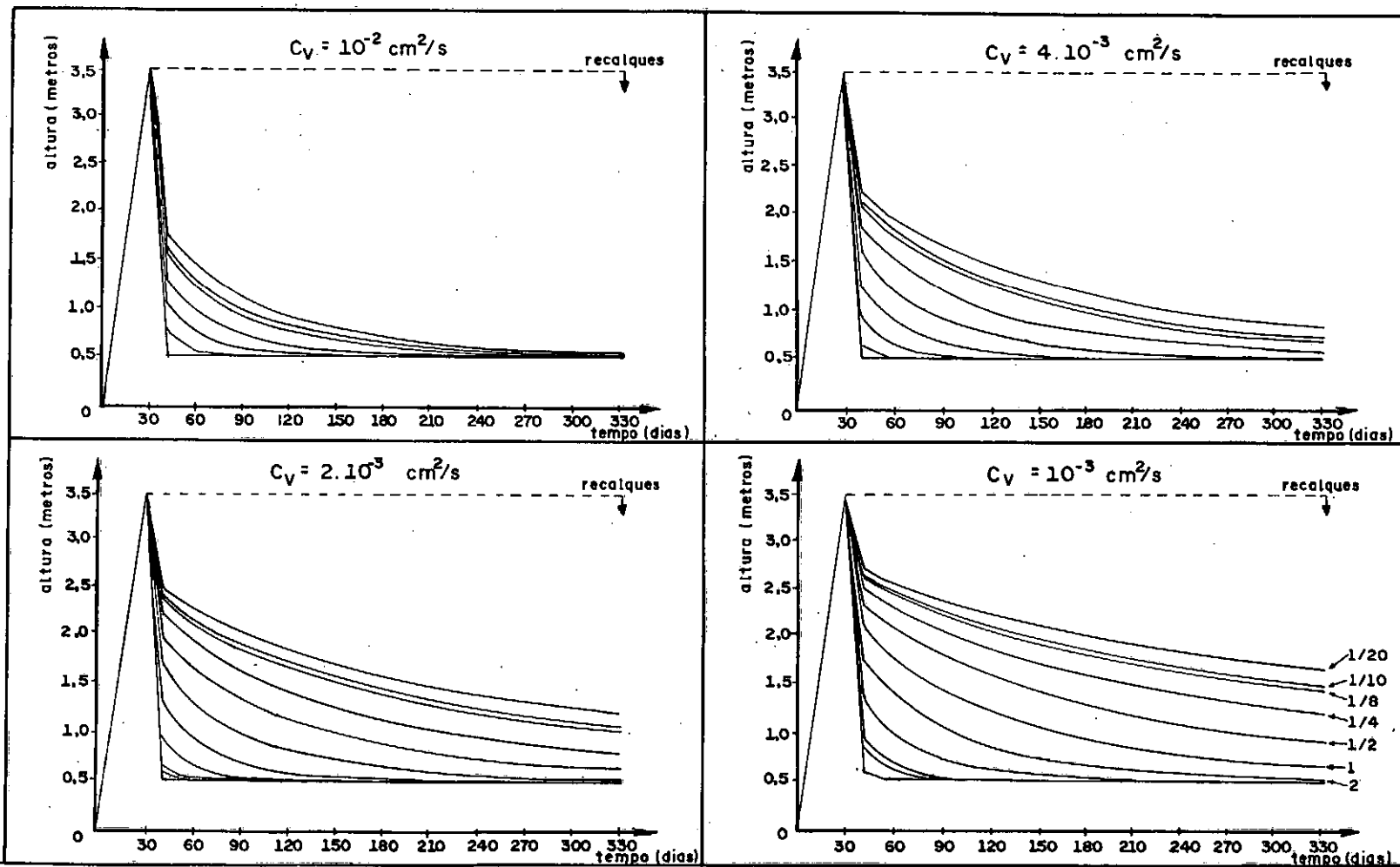


Fig. VI. 2 - 2 C

CURVAS RECALQUES X TEMPO - ATERRO IPR II  
 VELOCIDADE DE RECALQUE NO CENTRO DO ATERRO  
 TEMPO DE CONSTRUÇÃO = 30 DIAS — ALTURA DO ATERRO (h) = 3,5 m  
 $R = C_r / C_v$

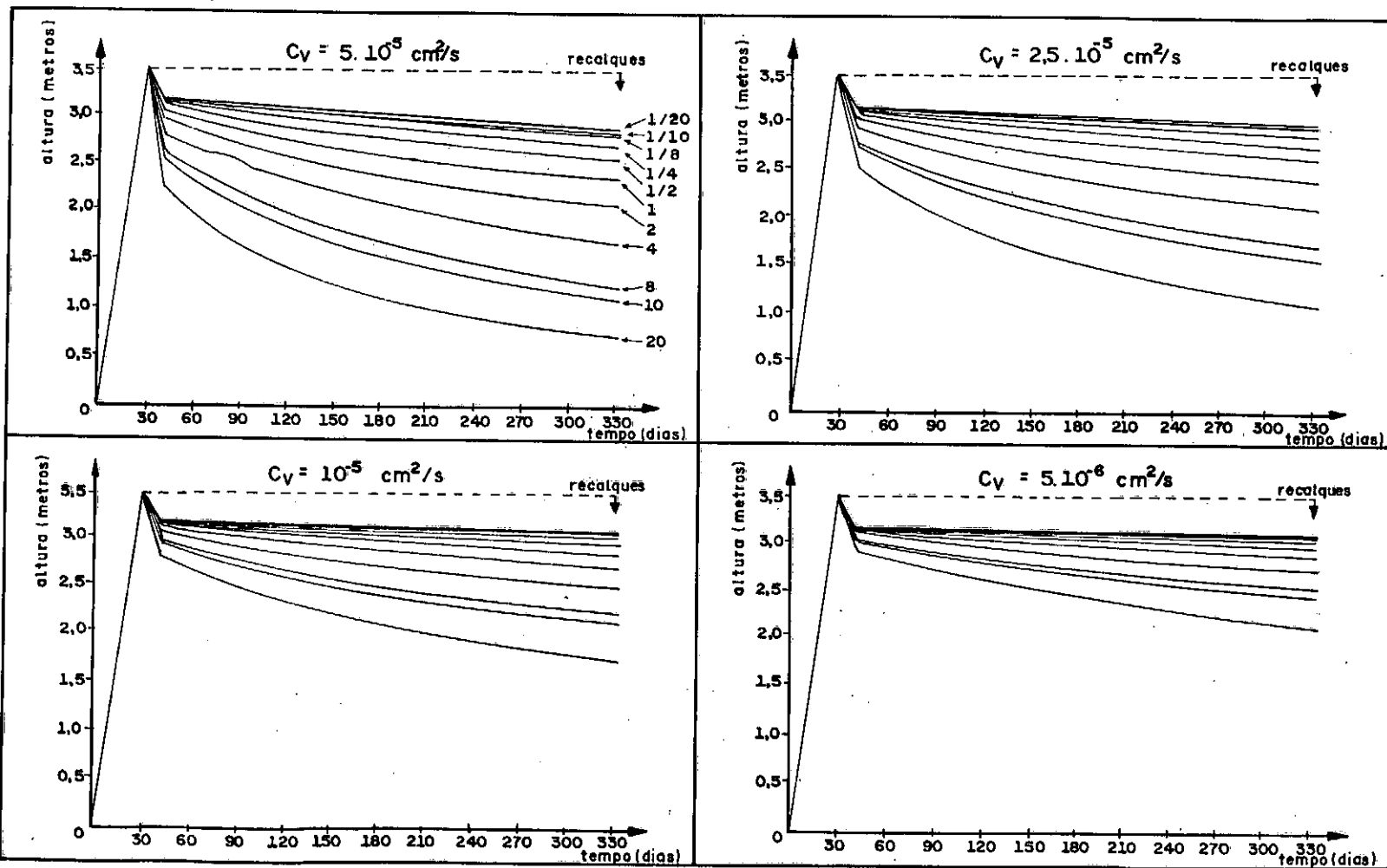


Fig. VI . 2 - 2 A

Observa-se nestas figuras a elevação do carregamento até o tempo de 30 dias e logo após uma queda repentina. O motivo deste comportamento vem da não consideração dos recalques ocorridos durante a construção, fazendo com que eles se acumulem e conseqüentemente produzam esta queda repentina logo no primeiro tempo após os 30 dias.

As figuras (VI.2-3A) e (VI.2-3B) apresentam os resultados obtidos da dissipação dos acréscimos de pressão neutra no meio da camada mole.

Observa-se nestas figuras o comportamento normal no processo de adensamento como função do coeficiente de adensamento para fluxo radial e vertical.

Curvas Pressões Neutras x Tempo - Aterro IPR II  
 Velocidade de Adensamento do centro do Aterro  
 Tempo de Construção = 30 dias      Altura do Aterro = 3,5m  
 $R = Cr/Cv$

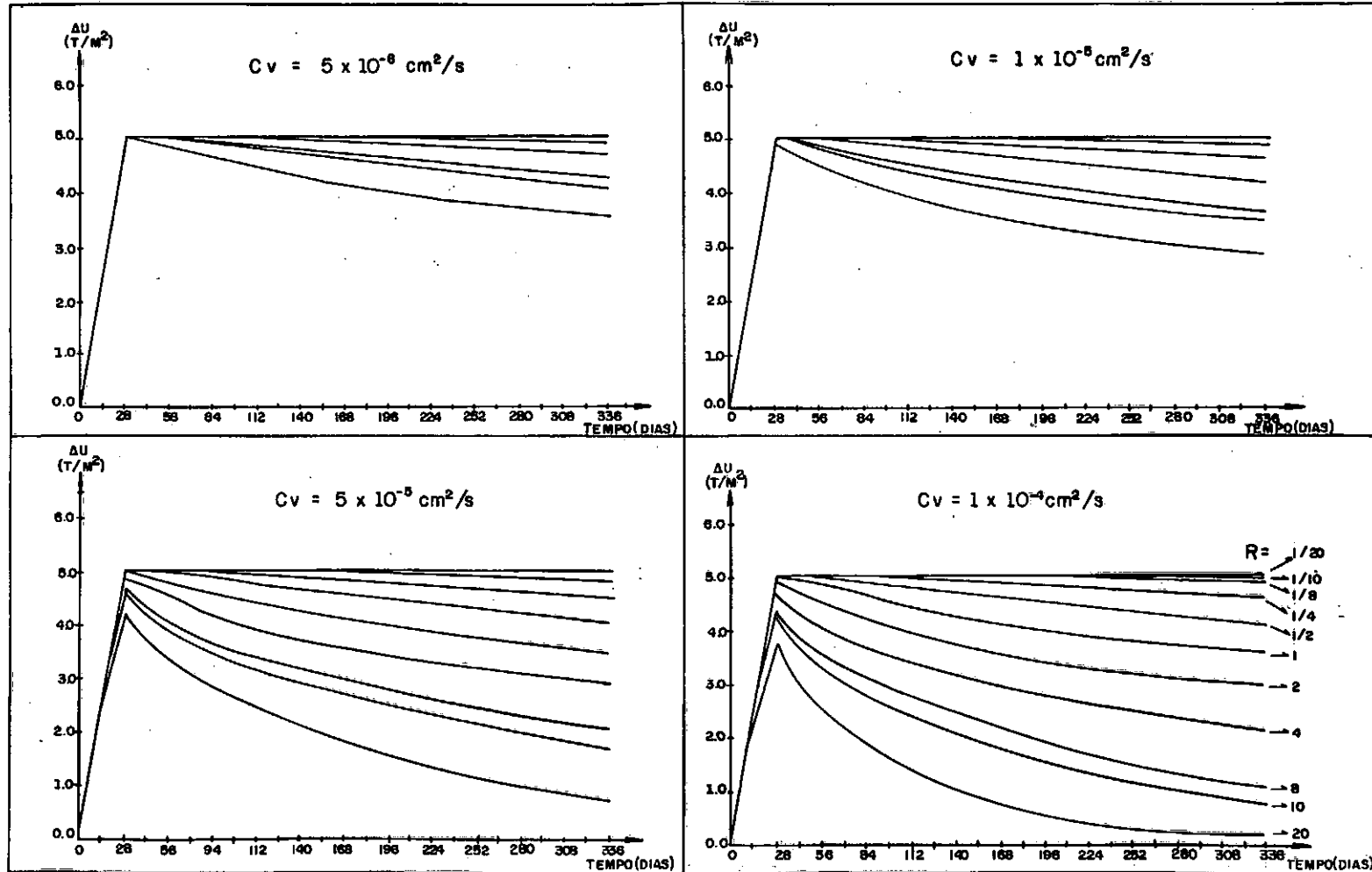


Fig. VI. 2 - 3A (1)

Curvas Pressões neutras x Tempo - Aterro IPR II  
 Velocidade de adensamento da vertical distante 10,5 m do centro do Aterro  
 Tempo de Construção = 30 dias      Altura do Aterro = 3,5m  
 $R = Cr/Cv$

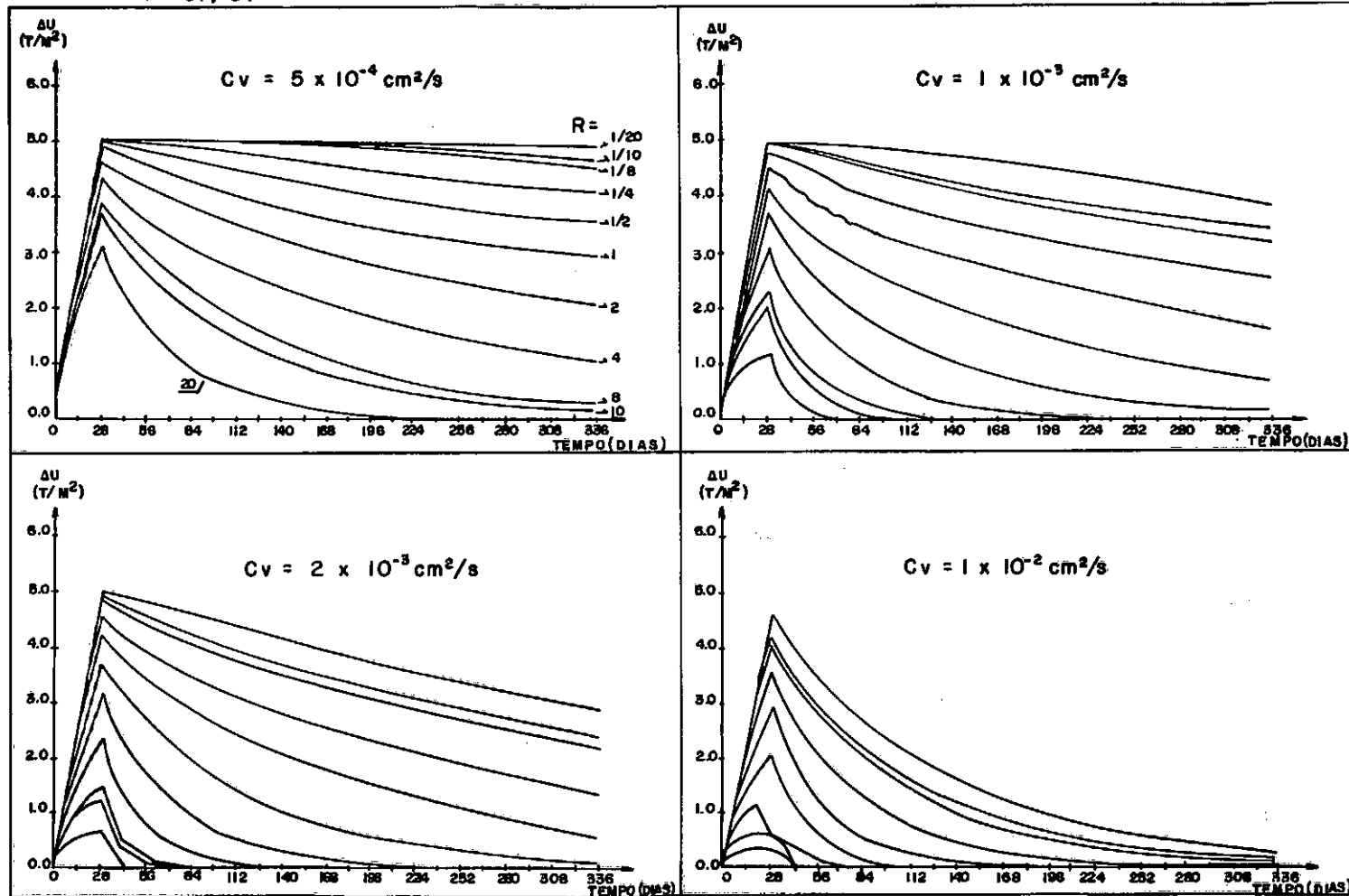


Fig. VI. 2 - 3 A (2)

Curvas Pressões neutras x tempo - Aterro IPR II  
 Velocidade de adensamento da vertical distante 10,5 m do centro do Aterro  
 Tempo de Construção = 30 dias      Altura do Aterro = 3,5m  
 $R = C_r / C_v$

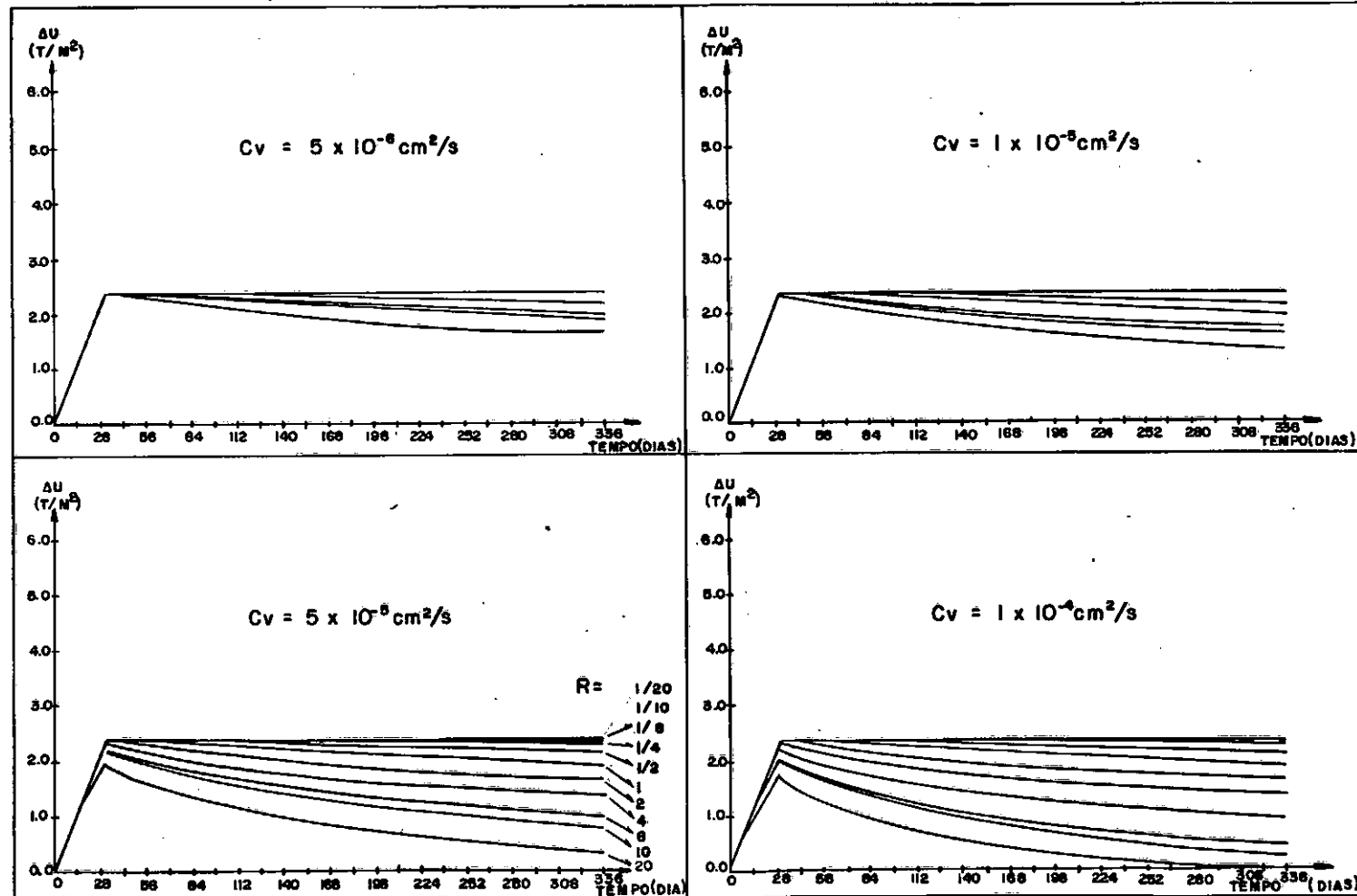


Fig. IV.2 - 3 B (I)

Curvas Pressões neutras x tempo -- Aterro IPR II  
 Velocidade de adensamento da vertical distante 10,5 m do centro do aterro  
 Tempo de construção = 30 dias      Altura do aterro = 3,5 m  
 $R = C_r / C_v$

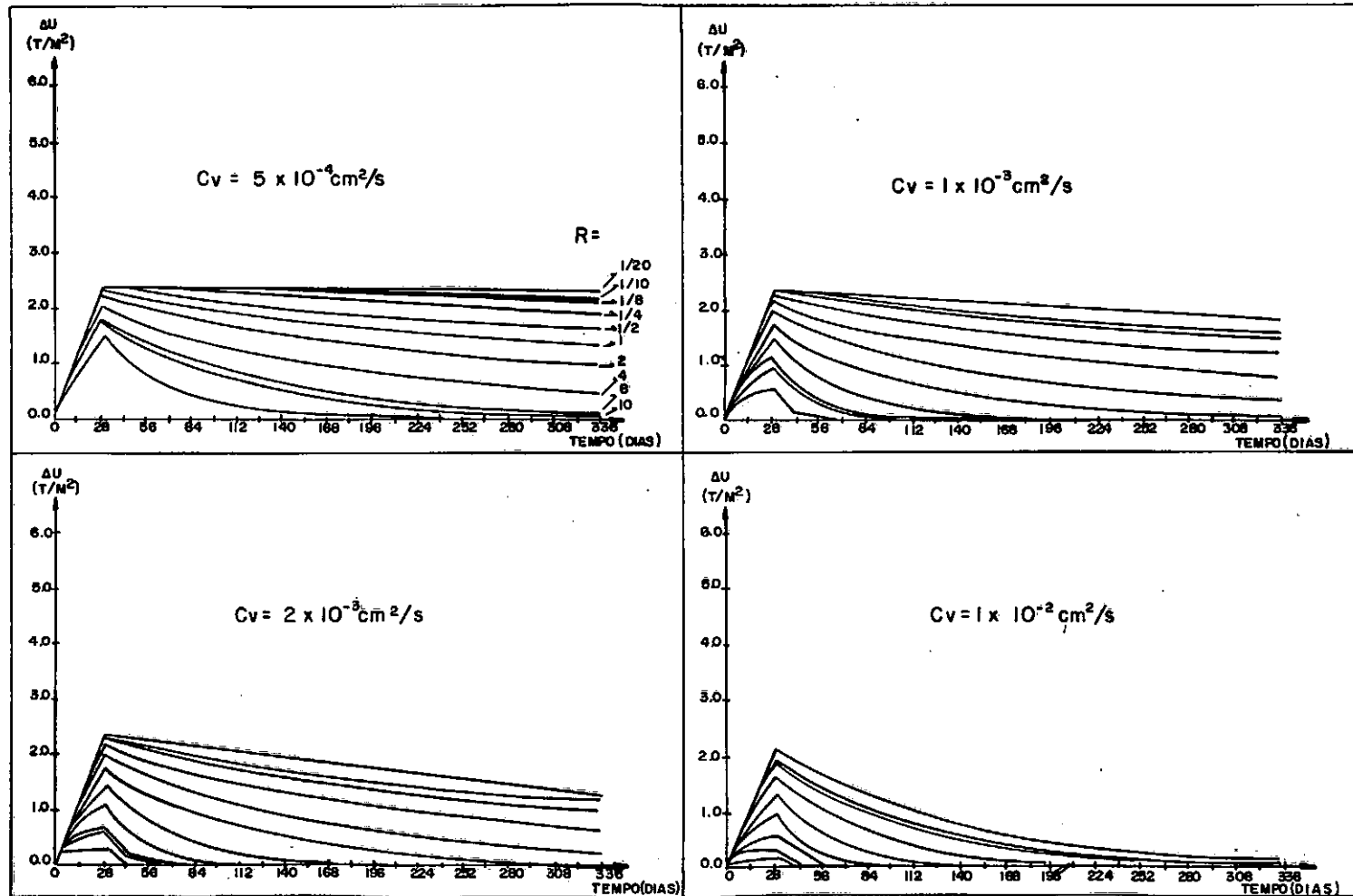


Fig. IV. 2 - 3 B (2)

## CAPÍTULO VII

## CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a facilitar a utilização do sistema computacional elaborado por Krizek & Krügmann(1972)<sup>1</sup>. Da maneira com que ele foi aqui apresentado, acredito que este objetivo possa facilmente ser alcançado.

Como foi visto, o estudo do comportamento de aterros construídos sobre solos compressíveis, é complexo e envolve as seguintes etapas:

- 1- Determinação das tensões do maciço;
- 2- Determinação dos acréscimos de pressão neutra;
- 3- Dissipação destas pressões neutras;
- 4- Cálculo dos recalques; e
- 5- Análise da estabilidade.

Os programas SAND e DETR poderão ser utilizados na solução de inúmeros tipos de problemas que envolvem o carregamento de um maciço compressível por um aterro rodoviário. Não só os exemplos de aplicação apresentados neste trabalho, mas também aqueles executados pelos autores dos programas, garantem a possibilidade de sua larga utilização em experiências práticas que cada vez mais se tornam frequentes.

Para garantir esta utilização é necessário que todos os parâmetros envolvidos na previsão do comportamento do aterro sejam conhecidos e da melhor forma avaliados. Falamos dos parâmetros do solo mole, do material que constitui o aterro, das condições de estabilidade e drenagem, todas elas já exaustivamente citadas no texto principal. Não existe, por assim dizer, parâmetros mais importantes que outros. Existem sim, parâmetros com valores de maior ou menor confiabilidade. Para suprir estas deficiências o sistema computacional permite, em execuções sucessivas, determinar o grau de influência destes parâmetros na solução do problema.

Naturalmente, todos os trabalhos executados esperam colaborações que venham complementá-lo e melhorá-lo. Assim sendo, este trabalho não tem a menor pretensão de ser definitivo. Algumas de suas partes poderão ser melhoradas. Entre elas, está a análise da estabilidade, que na sua programação restringe a máxima profundidade que poderá passar o círculo de escorregamento à distância entre o centro do círculo e o ponto onde o eixo de simetria corta a plataforma do aterro. Isto torna o mínimo fator de segurança encon-



trado susceptível de crítica e desconfiança de que este não é o seu valor mínimo minimorum. Outra parte que poderá ser implementada é o cálculo dos recalques. Poder-se-ia incluir na programação o cálculo de recalques imediatos e secundários, já que este último possui valores significativos quando se trata de um subsolo constituído de uma argila mole de média a alta sensibilidade. É certo que com o avanço deste ramo da Mecânica dos Solos, novas e mais realísticas teorias surgirão e tomarão o lugar daquelas que até agora souberam desempenhar o seu papel, no sentido de fornecer os subsídios necessários para se garantir segurança e economia nos nossos projetos de engenharia.

Este trabalho foi elaborado com um objetivo bem definido. Somente se os engenheiros envolvidos com este tipo de problema utilizarem o presente trabalho é que este objetivo será alcançado. Espero desta maneira estar contribuindo para o desenvolvimento da geotecnia, no que se refere a previsão do comportamento de aterros construídos sobre solos moles.

SUGESTÕES PARA PESQUISA

Ficam aqui estas sugestões para que a linha de pesquisa seja continuada, de modo que seja utilizado o que aqui está escrito como ponto de partida.

- Estudo da sensibilidade da percentagem de adensamento em relação ao coeficiente de adensamento e ao coeficiente de permeabilidade.
- Inclusão de recalques imediatos e recalques secundários no cálculo do recalque total do aterro.
- Consideração na análise da estabilidade, de círculos de deslizamento que avançam além do eixo de simetria do aterro.
- Estudo da sensibilidade do valor do acréscimo de pressão neutra em relação aos parâmetros A e B de Skempton.
- Adaptação dos programas para a consideração de subsolo estratificado com multi-camadas.
- Material do aterro com ângulo de atrito interno.
- Consideração do peso específico submerso do material do aterro a medida que o aterro recalca para dentro do maciço compressível.
- Considerar o coeficiente de permeabilidade e o módulo de deformação volumétrica variáveis com a profundidade, de modo que o coeficiente de adensamento permaneça constante.
- Considerar o coeficiente de permeabilidade, o módulo de deformação volumétrica e o coeficiente de adensamento variáveis com a profundidade.

## BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA NO TEXTO

- 1- KRIZEK, R.J. and KRUGMANN, P.K. - Placement rates for highway embankments, Project IHR-602, Illinois Department of Transportation, 1972. 3 VOL.
- 2- MOH, Z.C.; BRAND, E.W. and NELSON, J.D. - Pore pressure under a bund of a soft fissured clay, U.S.A., Proceedings of the Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Purdue University, 1972.
- 3- LADD, C.C. - Test embankment on sensitive clay, U.S.A., Proceedings of the Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Purdue University, 1972.
- 4- WINTERKORN, H.F. and FANG, H.Y. - Foundation Engineering Handbook, Van Nostrand Reinhold Company, 1975.
- 5- MARGUERRE, K. - Druckverteilung durch eine elastische schicht auf starrer rauher unterlage, Bonn, Ingenieur-Archiv, VOL 2, 1931.
- 6- SKEMPTON, A.W. - The pore-pressure coefficients A and B, London, Geotechnique, VOL IV, 1954.
- 7- SCOTT, R.F. - Principles of Soil Mechanics, U.S.A., Addison Wesley Publishing Company, 1963.
- 8- MORAN, PROCTOR, MUESER and RUTLEDGE - Study of deep soil stabilization by vertical sand drains, U.S.A., Report to Bureau of Yards and Docks, Department of the Navy, N° 88812, 1958.
- 9- POSKITT, T.J. - The consolidation of saturated clay with variable permeability and compressibility, London, Geotechnique, VOL 19, N°2, 1969.
- 10- SCHIFFMAN, R.L. - Consolidation of soil under time-dependent loading and varying permeability, U.S.A. Proceedings of the Highway Research Board, VOL 37, 1958.
- 11- POSKITT, T.J. and BIRDSALL, R.O. - A theoretical and experimental investigation of Mildly nonlinear consolidation

- behavior in saturated soil, Canada, Canadian Geotechnical Journal, VOL 8, N°2, 1971.
- 12-BARRON, R.A. -Consolidation of fine-grained soils by drain wells, U.S.A., A.S.C.E., Transactions, VOL 113, 1948.
- 13-RICHART Jr., F.E. -A review of the theories for sand drains U.S.A., A.S.C.E., JSMF Division, SM3, 1957.
- 14-KJELLMAN, W. -Accelerating consolidation of fine-grained soils by means of card-board wicks, Rotterdam, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> ICOSOMEF, VOL 2, 1948.
- 15-HANSBO, S. -Consolidation of clay, with special reference to influence of vertical sand drains, Stockholm, Swedish Geotechnical Institute, N°18, 1960.
- 16-CARRILO, N. -Simple two and three-dimensional cases in the theory of consolidation of soils, U.S.A., Journal of Mathematics and Physics, VOL 21, N°1, 1942.
- 17-BJERRUM, L. -Problems of Soil Mechanics and construction on soft clays, U.R.S.S., Proceedings of 8<sup>th</sup> ICOSOMEF, Session IV, 1973.
- 18-LEWIS, W.A.; MURRAY, R.T. and SYMONS, I.F. -Settlement and stability of embankments constructed on soft alluvial soils, London, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2, 1975.
- 19-LAMBE, T.W. -Methods of estimating settlement, U.S.A., Proceedings of Specialty Conference on the Design of Foundations for control of Settlement, ASCE, Evanston, 1967.
- 20-JÜRGENSON, L. -The application of theories of elasticity and plasticity to foundation problems, U.S.A., Contributions to Soil Mechanics 1925-1940, Boston Society of Civil Engineers 1934.
- 21-KÉZDI, A. -Erdducktheorien, Springer-Verlag, Berlin, 1962.

- 22-WHITMAN,R.V. and BAILEY,W.A. -Use of computers for slope stability analysis,U.S.A.,ASCE,Proceedings of Specialty Conference on the Stability and Performance of Slopes and Embankments, Berkeley,1967.
- 23-TAYLOR,D.W. -Fundamentals of Soil Mechanics,U.S.A., John Wiley and SONS,16<sup>th</sup> edition ,1967.
- 24-MORGENSTERN,N.R. and PRICE,V.E.-The analysis of the stability of general slip surfaces,London,Geotechnique, VOL 15,Nº1,1965.
- 25-FELLENIOUS,W. -Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion,Berlin,Wilhelm Ernest und Sohn,1927.
- 26-BISHOP,A.W. -The use of the slip circle in the stability analysis of slopes,London,Geotechnique ,VOL 5,Nº1,1955.
- 27-BISHOP,A.W. and BJERRUM,L. -The relevance of the triaxial test to the solution of stability problems,U.S.A. A.S.C.E.,Proceedings of the Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils,Colorado,1960.
- 28-KIRBY,R.C. and LAMBE,T.W. -Design of embankments on soft soil , U.S.A.,Massachusetts Department of Public Works ,Ref.R72-36,1972.
- 29-BJERRUM,L. -Principles of Stability calculations, Oslo,Norwegian Geotechnical Institute, Nº85,1971.
- 30-SKEMPTON,A.W. and BJERRUM,L. -A contribution to the settlement analysis of foundations on clay,London,Geotechnique,VOL 7,Nº4,1957.
- 31-PILOT,G. et MOREAU,M. -Remblais sur sols mous équipés de banquettes latérales,France,Laboratoire de Ponts et Chaussée,Rapport de Recherche Nº25,1973.
- 32-HOOKE,R. and JEEVES,T.A. -Direct search solution of numerical and statistical problems,U.S.A.,Journal of ACM,VOL 8,Nº2,1962.

33-BISHOP, A.W. ; KENNARD, M.F. and PENMAN, A.D.M. - Pore pressure observations at Selset Dam, London, Proceedings of the Conference on Pore Pressure and Suction in Soils, The Institution of Civil Engineers, 1960.

## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- BADILLO, E.J. y RODRIGUES, A.R. - Mecánica de Suelos, México, Editorial Limusa, 1973. 3VOL.
- BJERRUM, L. - Embankments on soft ground, Oslo, State-of-the-art Report, Norwegian Geotechnical Institute, NR95, 1973.
- BJERRUM, L. - Engineering geology of Norwegian normally consolidated marine clays as related to settlement of buildings, London, VOL17, N°2, 1967.
- BOOTH, A.D. - Numerical Methods, London, 3<sup>th</sup> edition, 1966.
- BOUGERS, F.; CARISSAN, M. et MIEUSSENS, C. - Étude et construction des remblais sur vase, França, Bulletin Liaison Ponts et Chaussée, Ref.976, N°49, 1970.
- D'APOLONIA, D.J. and LADD, C.C. - Initial settlements of structures on clay U.S.A., A.S.C.E., JSMF Division, 5M-10, 1971.
- DASCAL, O. and TOURNIER, J.P. - Embankments on soft and sensitive clay foundation, U.S.A., A.S.C.E., JGE Division, GT3, 1975.
- GIBSON, R.E. and LUMB, P. - Numerical solution of some problems in the consolidation of clay, London, Proceedings of the Institution of Civil Engineers VOL2, N°2, 1953.
- JOHNSON, S.J. - Foundation precompression with vertical sand drains, U.S.A., A.S.C.E., JSMF Division SM1, 1970.
- KRIZEK, R.J. and KRUGMANN, P.K. - Precompression analysis for highway embankments, U.S.A., A.S.C.E., Journal of Geotechnical Division, 1974.
- KRIZEK, R.J. and KRUGMANN, P.K. - Initial distribution of average excess pore water pressure due a trapezoidal load Tokyo, Soils and Foundations, VOL14, N°3, 1974.
- LABORATOIRE des PONTS et Chaussée - Étude de remblais sur sols compressibles França, 1968.
- LADD, C.C. and FOOT, R. - New design procedure for stability of

- MASLOV, N.N. and LYONG, L.B.

soft clays, U.S.A., A.S.C.E., Journal of Geotechnical Division, GT-7, 1974.
- MOORE, L.H.

Increase in strength and bearing capacity with time of clayed soils under load, Moscow, Soil Mechanics and Foundation Engineering, VOL 9, N°1, 1972.
- SCHIFFMAN, R.L.; CHEN, A.T.F. and JORDAN, J.C.

Analysis of consolidation theories, U.S.A., A.S.C.E., JSMF Division, SMI, 1969.
- SELBY, S.M.

Standard Mathematical Tables, U.S.A., 15th edition, 1967.
- SMITH, I.M. and HOBBS, R.

Biotanalysis of consolidation beneath embankments, London, Geotechnique, VOL 16, N°1, 1976.
- STEINBRENNER, W.

Tafeln zur setzungsberechnung, Berlin, Die Strasse VOL 1, 1934.
- TERZAGHI, K.

From Theory to Practice in Soil Mechanics U.S.A., John Wiley and Sons, 1960.
- WU, T.H., THAYER, W.B. and LIN, S.S.

Stability of embankment on clay, U.S.A., A.S.C.E., JGE Division, GT9, 1975.



## APÊNDICES

Estão relacionadas a seguir as listagens dos programas principais, SAND e DETR, e das vinte e quatro subrotinas. A linguagem utilizada é o FORTRAN IV.

## APÊNDICE A - SUBROTINAS

APROX  
COEF  
DETFS  
DISP  
EFGEN  
FUNCT  
GAIN  
GENER  
GENS  
GRAMP  
INIT  
INTEG  
LAGR  
MAMUL  
MATR  
MINV  
MODAL  
MPRD  
PORE  
RESTO  
RROOT  
SETL  
STAB  
VARYR

APÊNDICE B - PROGRAMA SAND

APÊNDICE C - PROGRAMA DETR

```

*****
*                                     SUBROTINA   APROX.                                     *
*                                                                              *
* N DE  ESTA SUBROTINA FAZ A TRANSFORMACAO DA CARGA REAL EM UM NUMERO  *
* CARGAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS.                                     *
* PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA PORE :             *
* D -ALTURA DAS FAIXAS DE CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA .          *
*****

```

VOLTAR A CALCULAR A AREA ENTRE AS DUAS LINHAS HORIZONTAIS QUE  
DELIMITAM A PROXIMA FAIXA DE CARGA.

```

ALPHA(L)=A/(2.*ABS(D))
IF(L.EQ.N) GO TO 11
13 IF(ALPHA(L).EQ.0.) L=L-1
IF(MM.EQ.0) GO TO 12
L=L+1
GO TO 2
11 IF(YMAX.LE.Y(1)) GO TO 12
D=-D
GO TO 13
12 D=ABS(D)
RETURN
END
SUBROUTINE COEF (UAVD,UAVE,OMEGA,PHI,LI,OMED,PHID,IEND)
*****
*
* SUBROTINA COEF.
*
* ESTA SUBROTINA DETERMINA OS PARAMETROS DO SOLO PARA O CASO
* EM QUE ELES SAU VARIAVEIS.OBSERVAR QUE LI E UM IDENTIFICADOR; SE
* LI=3,CALCULAR PHID= PHI(ANTERIOR) - PHI(ATUAL) E OMED= OMEGA(ANTE-
* RIOR) - OMEGA(ATUAL).
* PARAMETROS DESTA SUBROTINA QUE VOLTARAO AO PROGRAMA PRINCIPAL:
* OMEGA= PARAMETRO DO ADENSAMENTO PARA FLUXO RADIAL.
* PHI = PARAMETRO DO ADENSAMENTO PARA FLUXO VERTICAL.
* OMED = DIFERENCA ENTRE O OMEGA ANTERIOR E O ATUAL.
* PHID = DIFERENCA ENTRE O PHI ANTERIOR E O ATUAL.
*
*****
DIMENSION UAVD(1),UAVE(1),OMEGA(1),PHI(1),OMED(1),PHID(1)
DIMENSION SVM(12),PC(11),PC(11),PLOG(11),AA(1),BB(1)

COMMON/SACSE/KOC,ROCL,SVM,P,PC,PLOG,PO,PCO,IAV,IK,ISAT,AAV,AAR
COMMON/SACO1/AVD,KVO,KRO,EOPUS,PU,SKRM,SKVM,CCC,NNN,ICDEF
COMMON/SACO2/PCV(10),CVIN(10),PCR(10),CRIN(10),ICV,KOUNT
COMMON /RONA/ PQ,ALPHA

REAL K,KO,KR,KVO,KRO,KV

AS SEGUINTE FUNCVES SERAO USADAS NO CALCULO DO COEFICIENTE DE PER-
MEABILIDADE :
CONK -SERA USADA SE K FOR VARIAVEL E AV FOR CONSTANTE.
VARK -SERA USADA SE K E AV FOREM VARIAVEIS.
PSI -SERA USADA PARA CALCULAR O PARAMETRO FINAL QUE VOLTARA
AO PROGRAMA PRINCIPAL.

CONK(KO,SKM)=KO*EXP(-SKM*DISU)
VARK(KO,SKM)=KO*(PP/PQ)**(-SKM)
PSI(AA,K)=ALPHA*K*AA/AV

OS SEGUINTE PARAMETROS SERAO CALCULADOS:
ALPHA -FATUR DE GAS. SE ISAT=0 TEREMOS ALPHA=1.;CASO CONTRARIO
ALPHA SERA CALCULADO.
DISU -PRESSAO NEUTRA MEDIA DISSIPADA,QUE DEVERA SER TRANSFE-
RIDA PARA A PRESSAO EFETIVA.
OMEGA =FATUR DE GAS * COEF.ADENS. /(DELTA R)**2 ;
PHI =FATUR DE GAS * COEF.ADENS. /(DELTA Y)**2 ;

IF(KOUNT.EQ.0) GO TO 20
ALPHA=1.
IF(IAV.EQ.1) PQ=CCC/AVD

DETERMINAR AS NOVAS PRESSOES EFETIVAS A PARTIR DA SOMA DA PRESSAO
DE COBRIMENTO EXISTENTE,PO,E A PRESSAO NEUTRA MEDIA DISSIPADA,DISU.

20 DO 5 I=1,IEND
KK=ICDEF
DISU=UAVD(I)-UAVE(I)
PP=PQ+DISU
AV=AVD
KV=KVO
KR=KRO
IF(KK.EQ.4) GO TO 6
IF(IAV.EQ.0) GO TO 6
IF(PP.GT.PQ) GO TO 31
KK=1
GO TO 6
31 AV=CCC/PP
6 IF(ISAT.EQ.0) GO TO 60
AUX=AV

```

```

IF(PP,LT,PCO) AUX=AUX*ROC
ALPHA=1./((1.+EOPUS/(AUX*(PU+UAVE(I))**2))
60 IF(I.GT.NNN) GO TO 7

```

CALCULAR OS PARAMETROS PARA O CASO DE FLUXO RADIAL.

```

GO TO (11,12,13,14),KK
12 KR=CONK(KRO,SKRM)
GO TO 11
13 KR=VARK(KRO,SKRM)
11 A=PSI(AAR,KR)
GO TO 30

```

DETERMINAR, POR INTERPOLACAO DE LAGRANGE, O COEFICIENTE DE ADENSA-  
MENTO, PARTINDO DE VALORES LIDOS, CRIN.

```

14 BB(1)=ALOG(PP)
CALL LAGR(BB,AA,1,1,PCR,CRIN,ICV)
A=ALPHA*AA(1)
30 IF(LI.EQ.3) OMED(I)=OMEGA(I)-A
OMEGA(I)=A

```

CALCULAR OS PARAMETROS PARA O CASO DE FLUXO VERTICAL.

```

7 GO TO (1,2,3,4),KK
2 KV=CONK(KVO,SKVM)
GO TO 1
3 KV=VARK(KVO,SKVM)
1 A=PSI(AAV,KV)
GO TO 40

```

DETERMINAR, POR INTERPOLACAO DE LAGRANGE, O COEFICIENTE DE ADENSA-  
MENTO, PARTINDO DE VALORES LIDOS, CVIN.

```

4 BB(1)=ALOG(PP)
CALL LAGR(BB,AA,1,1,PCV,CVIN,ICV)
A=ALPHA*AA(1)
40 IF(LI.EQ.3) PHID(I)=PHI(I)-A
PHI(I)=A
5 CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE DETFS (XC,YC,R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FS)

```

*****
*
*          SUBROTINA  DETFS.
*
*  ESTA SUBROTINA DETERMINA O FATOR DE SEGURANCA DE UM ATERRO
*  CONSTRUIDO SOBRE UM SUBSOLO COMPRESSIVEL.
*  O FATOR DE SEGURANCA SERA CALCULADO PELA RAZAO ENTRE O MOMENTO
*  RESISTENTE E O MOMENTO ATUANTE, EM RELACAO AO CENTRO DO ARCO.
*  A RUPTURA, POR HIPOTESE, OCORRERA AO LONGO DE UM ARCO CIRCULAR.
*  AS RESISTENCIAS AO CISALHAMENTO, AO LONGO DESTA ARCO, SERAO OBTIDAS
*  POR INTERPOLACAO DE LAGRANGE, A PARTIR DE VALORES LIDOS EM PONTOS
*  ARBITRARIOS.
*  A ANALISE DA ESTABILIDADE SERA FEITA EM TERMOS DE TENSOES
*  TOTAIS.
*  PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA VARYR :
*  FSI -FATOR DE SEGURANCA CALCULADO.
*
*****

```

```

DIMENSION XINF(1),YINP(1),SU(1),XS(22),YS(22),X(2)
DIMENSION WWW(2),XAUX(10),YAUX(10),SINUS(2),COSIN(2)

```

REAL MD,MR

```

COMMON/INDET/ RHU(19),TAU(19),PSI(19)
COMMON/SAPOD/ IOUTP,W,H,GLOAD,CLOAD,NARC,NRAD
COMMON/SADET/ XSTAB(51),YSTAB(11),DX,DY,YWM,TGPHI

```

FUNCOES DECLARACAO USADAS NESTA SUBROTINA.

```

FUNA(A,B)  =(XC+A*AA)/B
FUNB(B)    =AB*AB+(RX-AA*AA)/B
FUNC(A,B,C)=A+B*(C-A)

```

OS SEGUINTEES PARAMENTROS SERAO CALCULADOS :

RHO -INCLINACAO DA RETA QUE UNE DOIS PONTOS CONSECUTIVOS DO  
CONTORNO DO ATERRO.  
PSI -VALOR DE YINP PARA XINP=0.

TAU =FATOR CALCULADO, QUE SERA IGUAL A  $1. + RHO * RHO$ .

```
ANARC=2*NARC
MXM=MX-2
RR=R*R
XX=XC*XC
RX=RR-XX
YY=YC*YC
LAST=0
```

DO DETERMINAR O PUNTO DE INTERSECCAO ENTRE O CIRCULO E A SUPERFICIE DO TERRENO.

```
AA=SQRT(RR-YY)
XS(1)=XC-AA
XG=XC+AA
IF(XG.GE.XINP(MINP)) LAST=1
```

DO DETERMINAR O PUNTO DE INTERSECCAO ENTRE O CIRCULO E A SUPERFICIE DO ATERRO.

```
I=0
J=2
1 I=I+1
AA=YC-PSI(I)
AB=FUNA(RHO(I),TAU(I))
AA=FUNB(TAU(I))
IF(AA.LT.0.) GO TO 1
AA=SQRT(AA)
XT=AB-AA
IF(XT.GE.XINP(I+1))GO TO 1
XS(2)=XT
YS(2)=XT*RHO(I)+PSI(I)
```

CALCULAR O MOMENTO RESISTENTE, MR, DENTRO DO ATERRO, DEVIDO AO ARCO COMPREENDIDO ENTRE OS PUNTOS (XS(1),YS(1)=0.) E (XS(2),YS(2)).  
CALCULAR O MOMENTO ATUANTE, MD, DEVIDO A REGIAO DO ATERRO LIMITADA PELO ARCO DE CIRCULO E PELA RETA QUE UNE OS PUNTOS (XS(1),YS(1)=0.) E (XS(2),YS(2)).

```
BETA1=0.5*ARSIN(YC/R)
BETA2=0.5*ARSIN((YC-YS(2))/R)
MR=2.*RR*CLOAU*(BETA1-BETA2)
A=XS(1)-XS(2)
A=SQRT(A*A+YS(2)*YS(2))
MD=(A*A*A*COS(BETA1+BETA2))/2.
IF(LAST.EQ.0) GO TO 2
```

IGUALAR OS PONTOS (XS,YS) AOS PONTOS (XINP,YINP).

```
I=I+1
DO 3 K=I,MINP
J=J+1
XS(J)=XINP(K)
3 YS(J)=YINP(K)
31 LAST=J
GO TO 7
```

DO DETERMINAR O SEGUNDO PUNTO DE INTERSECCAO ENTRE O ARCO E A SUPERFICIE DO ATERRO, CASO ELE EXISTA.  
ARMAZENAR EM (XS,YS) TODOS OS PONTOS COMPREENDIDOS ENTRE ESTE SEGUNDO PUNTO E O PUNTO (XS(2),YS(2)).

```
2 XT=AB+AA
IF(XT.LE.XINP(I+1)) GO TO 4
5 I=I+1
J=J+1
XS(J)=XINP(I)
YS(J)=YINP(I)
IF(I.EQ.MINP) GO TO 31
IF(XINP(I+1).LT.XG) GO TO 6
IF(YINP(I+1).LT.YC) GO TO 5
6 AA=YC-PSI(I)
AB=FUNA(RHO(I),TAU(I))
AA=FUNB(TAU(I))
AA=SQRT(AA)
GO TO 2
4 J=J+1
XS(J)=XT
YS(J)=XT*RHO(I)+PSI(I)
```

CALCULAR OS MOMENTOS RESISTENTE E ATUANTE, DEVIDO AO ARCO COMPREENDIDO ENTRE OS PONTOS (XS(J),YS(J)) E (XG,YG=0,).

```
BETA2=0.5*ARSIN((YC-YS(J))/R)
LAST=J+1
XS(LAST)=XG
YS(LAST)=0.
MR=MR+2.*RR*GLOAD*(BETA1-BETA2)
A=XG-XS(J)
A=SQRT(A*A+YS(J)*YS(J))
MD=MD-(A*A*A*COS(BETA1+BETA2))/2.
```

SE ACHA NO PONTO (XS(1),YS(1)=0,).

```
7 XX=3.*XC-XS(1)
DO 8 I=3,LAST
J=I-1
A=XS(1)*(YS(I)-YS(J))-XS(J)*YS(I)+XS(I)*YS(J)
MD=MD+(XX-XS(J)-XS(I))*A
8 CONTINUE
```

CALCULAR OS MOMENTOS RESISTENTES DEVIDO A PARTE DO ARCO QUE PASSA PELO SUBSOLO, AS RESISTENCIAS AO CISALHAMENTO, AO LONGO DOS 2\*NARC SUB-ARCOS, SERAO CONSTANTES PARA CADA SUB-ARCO E, SERAO OBTIDAS POR INTERPOLACAO LINEAR EM RELACAO AOS QUATRO PONTOS MALHA QUE ENVOLVEM O PONTO MEDIO DE CADA SUB-ARCO.

```
IF(H.EQ.0.) GO TO 100
IF(MYE.EQ.1) GO TO 20
```

CONSIDERAR O CASO EM QUE O PONTO MEDIO DO SUB-ARCO ESTA FORA DO DOMINIO DOS VALORES LIDOS DA RESISTENCIA.

```
DARC=(3.1415927-4.*BETA1)/ANARC
RARC=RR*DARC
BETA=2.*BETA1-DARC/2.
DO 9 L=1,NARC
BETA=BETA+ DARC
A=R*COS(BETA)
X(1)=XC-A
X(2)=XC+A
A=R*SIN(BETA)-YC
J=A/DY+1.
FY=(A-YSTAB(J))/DY
DO 10 K=1,2
I=X(K)/DX
IF(I.LE.MXM)GO TO 11
```

FAZER A INTERPOLACAO PARA O PONTO MEDIO DO SUB-ARCO. DUAS INTERPOLACOES LINEARES SERAO FEITAS NA DIRECAO X, E UMA INTERPOLACAO LINEAR SERA FEITA NA DIRECAO Y.

```
IJ=J+(MX-1)*MYE
JJ=IJ+1
AA=SU(IJ)
AB=SU(JJ)
GO TO 12
11 IJ=J+I*MYE
JJ=IJ+MYE
I=I+1
FX=(X(K)-XSTAB(I))/DX
AA=FUNC(SU(IJ),FX,SU(JJ))
IJ=IJ+1
JJ=JJ+1
AB=FUNC(SU(IJ),FX,SU(JJ))
12 MR=MR+RARC*FUNC(AA,FY,AB)
10 CONTINUE
9 CONTINUE
GO TO 100
20 RARC=RR*(3.1415927-4.*BETA1)
MR=MR+SU(1)*RARC
100 MD=MD*GLOAD/6.
```

CALCULAR O FATOR DE SEGURANCA. SE OCORRER DIVISAO POR ZERO ESTE FS SERA FEITO IGUAL A 1.0E50.

```
IF(MD.EQ.0) RUNA=1.
IF(RUNA.NE.1.) GO TO 40
```

FS=1.0E50  
 RETURN  
 40 FS=MR/MD

DETERMINAR O MOMENTO RESISTENTE A PARTIR DO ANGULO DE ATRITO DO MATERIAL DO TAPETE DRENANTE.

```

IF(YWM.EQ.0.)RETURN
IF(FS.LT.0.001)FS=1.
FAC=TGPHI/FS
RMR=MR
KOUNT=1
XAUX(1)=XS(1)
YAUX(1)=0.
AB=YC-YWM
AB=SQRT(RR-AB*AB)
XAUX(2)=XC-AB
YAUX(2)=YWM
IF(XAUX(2).GE.XS(2))GO TO 41
XAUX(2)=XS(2)
YAUX(2)=YS(2)
41 BETA2=0.5*ARSIN((YC-YAUX(2))/R)
XAUX(3)=XAUX(2)
K=3
I=1
43 I=I+1
42 IF(XAUX(K)=XINP(I))44,45,43
45 YAUX(K)=YINP(I)
GO TO 44
44 YAUX(K)=RHO(I-1)*XAUX(K)+PSI(I-1)
46 K=K+1
IF(XAUX(1).LE.XINP(I)) GO TO 47
XAUX(K)=XINP(I)
YAUX(K)=YINP(I)
I=I+1
GO TO 46
47 XAUX(K)=XAUX(1)
YAUX(K)=RHO(I-1)*XAUX(1)+PSI(I-1)
XAUX(K+1)=XAUX(1)
YAUX(K+1)=YAUX(1)
WW=0.
DO 48 J=1,K
L=J+1
WW=WW-XAUX(J)*YAUX(L)+YAUX(J)*XAUX(L)
48 CONTINUE
WWW(KOUNT)=WW*GLUAD/2.
AA=XAUX(1)-XAUX(2)
BB=YAUX(2)-YAUX(1)
CC=SQRT(AA*AA+BB*BB)
SINUS(KOUNT)=BB/CC
COSIN(KOUNT)=AA/CC
RMR=RMR-2.*RR*CLUAD*(BETA1-BETA2)
IF(KOUNT.EQ.2) GO TO 49
IF(XS(LAST).EQ.XINP(MINP)) GO TO 49
KOUNT=2
XAUX(1)=XC+AB
YAUX(1)=YWM
IF(XAUX(1).LE.XS(LAST-1)) GO TO 50
XAUX(1)=XS(LAST-1)
YAUX(1)=YS(LAST-1)
50 BETA2=0.5*ARSIN((YC-YAUX(1))/R)
XAUX(2)=XS(LAST)
YAUX(2)=0.
XAUX(3)=XAUX(2)
K=3
GO TO 42

```

FAZER A ITERACAO FINAL PARA O CALCULO DO VALOR CORRETO DO FATOR DE SEGURANCA.

```

49 MR=RMR
DO 51 I=1,KOUNT
MR=MR+FAC*WWW(KOUNT)*R/(COSIN(KOUNT)+FAC*SINUS(KOUNT))
51 CONTINUE
FSULD=FS
FS=MR/MD
IF(ABS(FS-FSULD).LT.0.001) RETURN
FAC=TGPHI/FS
GO TO 49
END

```

SUBROUTINE DISP(U,LI,OMEGA,PHI,T,UAVE,LIFT,MYE,IEND,XT,SV,SR)

# SUBROTINA DISP.

ESTA SUBROTINA CALCULA O EXCESSO DE PRESSAO NEUTRA NO TEMPO T, TRATANDO A EQUACAO DO ADENSAMENTO COMO UM PROBLEMA DE AUTO VALOR. AS CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO SERAO CONSIDERADAS CONSTANTES A CADA ETAPA. PARAMETROS DESTA SUBROTINA QUE VOLTARAO AO PROGRAMA PRINCIPAL: U - EXCESSO DE PRESSAO NEUTRA A SER CALCULADO, PARA OS VALORES DE LI=1,5 OU 6, ESTE VETOR CONTERA O VALOR DO EXCESSO DE PRESSAO NEUTRA RESIDUAL A SER CONSIDERADO NA NOVA ADICAO DE CARGA. UAVE - VALOR MEDIO DO EXCESSO DE PRESSAO NEUTRA, PARA AS VERTICAIS XT.

DIMENSION U(1),PHI(1),OMEGA(1),UAVE(1),XT(1),SV(1),SR(1)  
DIMENSION EIGV(10),EIGR(10),AUX(160),XV(100),XVI(100),XR(100)  
DIMENSION XRI(100),E(200),F(200),A(1200),B(1200),VJ(11),RJ(11)  
DIMENSION W(300),G(280)

EQUIVALENCE (G(1),A(501))

COMMON/SAPOD/IDOUTP,WW,H,GLOAD,CLOAD,NARC,NRAD  
COMMON/SADI1/LAYER,IBCV,IBCR,MRE,M,N,IDC,NDR,ISUM  
COMMON/SADI2/FIMPV,FIMPR,RC,RK,C,RO,RE,TA,ISP,IVAR,SRM(15)  
COMMON/RONA1/EIGV,EIGR,XV,XR,XVI,XRI,AUX  
COMMON/RONA2/A,B

## IDENTIFICADOR UTILIZADO :

- LI-IDENTIFICADOR DA SUBROTINA.
- LI=1 -DETERMINAR OS VETORES A E B PARA A ADICAO DE CARGA.
- LI=2 -DETERMINAR A PRESSAO NEUTRA DEVIDO A CARGAS CONSTANTES A CADA PASSO.
- LI=3 -DETERMINAR OS VETORES A E B PARA OS TEMPOS ENTRE AS APLICACOES DE CARGA, PARA O CASO EM QUE OS PARAMETROS DO SOLO SAO VARIAVEIS.
- LI=4 -DETERMINAR AS PRESSOES NEUTRAS, ESTE E O SEGUNDO OU O SEGUINTE USO DESTA SUBROTINA NO CASO DE RAMPA DE CARREGAMENTO(CARGA CRESCENDO LINEARMENTE COM O TEMPO).
- LI=5 -DETERMINAR AS PRESSOES NEUTRAS, ESTE E O PRIMEIRO USO DESTA SUBROTINA PARA A PRIMEIRA ETAPA DE CARGA.
- LI=6 -DETERMINAR AS PRESSOES NEUTRAS, ESTE E O PRIMEIRO USO DESTA SUBROTINA NO CASO DE RAMPA DE CARREGAMENTO.

LIM=LI  
IF(LI,LT,5)GO TO 2  
IF(LAYER,LT,3)LAYER=2

CHAMAR A SUBROTINA MODAL PARA AS DETERMINACOES : DOS AUTOVALORES, DA MATRIZ MODAL E DO INVERSO DA MATRIZ MODAL, PARA OS CASOS DE FLUXO VERTICAL E DE FLUXO RADIAL.

CALL MODAL (LAYER, IBCV, M, FIMPV, RC, RK, O, H, EIGV, XV, XVI, AUX)  
IF(IDC.EQ.1)GO TO 1  
CALL MODAL (1, IBCR, N, FIMPR, RC, RK, RO, RE, EIGR, XR, XRI, AUX)

1 LIM=1

DETERMINAR AS MATRIZES DIAGONAIS "E" E "F".

2 CALL EFGEN(PHI,T,EIGV,IVAR,IEND,M,F,LI)  
IF(IDC.EQ.1)GO TO 3  
CALL EFGEN(OMEGA,T,EIGR,IVAR,NDR,N,E,LI)

## OBSERVAR QUE :

M -NUMERO DE PONTOS EM CADA VERTICAL XT.  
N -NUMERO DE VERTICAIS DENTRO DA ZONA DE INFLUENCIA DO DRENO.  
NOTAR QUE AS RESERVAS DE MEMORIA SAO DIMENSIONADAS PARA A CONSIDERACAO DE NO MAXIMO, 20 INSTALACOES DE DRENO, NAS VERTICAIS XT, E DE NO MAXIMO 10 ETAPAS DE ADICAO DE CARGA PARA A OBTENCAO DA CARGA DE REFERENCIA SOBRE O MACICO COMPRESSIVEL.

3 GO TO (4,5,6,7),LIM

\*\*\*\*\* LI = LIM = 1 \*\*\*\*\*

OBSERVAR QUE, NESTE CASO, LI PODE TER OS VALORES 1,5 OU 6.



DETERMINAR O VETOR B PARA A LIFT-ESIMA ADICAO DE CARGA.

```

4  IB=(LIFT-1)*M*IE
   IE=0
   DO 10 K=1, IEND
   DO 11 I=1, M
   IA=(K-1)*MYE+1
   II=I-M
   IB=IB+1
   IE=IE+1
   B(IB)=0.
   DO 12 J=1, M
   II=II+M
   IA=IA+1
12  B(IB)=B(IB)+XVI(II)*U(IA)
11  B(IB)=B(IB)/F(IE)
10  CONTINUE
   IF(IDC.EQ.1)GO TO 13

```

DETERMINAR O VETOR A PARA A LIFT-ESIMA ADICAO DE CARGA.

```

   IS=(LIFT-1)*N*NDR
   DO 14 I=1, N
   II=I-N
   IE=II
   IA=II+IS
   AA=0.
   DO 15 J=1, N
   II=II+N
15  AA=AA+YRI(II)
   DO 16 K=1, NDR
   IE=IE+N
   IA=IA+N
16  A(IA)=AA/E(IE)
14  CONTINUE
13  IF(ISP.EQ.0)RETURN
   IF(LI.EQ.6)GO TO 7

```

\*\*\*\*\* LI = LIM = 2 \*\*\*\*\*

```

5  NM=N*M
   II=MYE*MRE
   DO 50 I=1, ISUM
50  U(I)=0.
   DO 51 J=1, IEND
   DO 52 I=1, NM
52  AUX(I)=0.
   RJAVE=1.
   ID=(J-1)*M+1
   IE=(J-1)*N+1

```

CONSIDERAR A INFLUENCIA DAS LIFT-CARGAS.

```

   DO 53 K=1, LIFT
   IB=ID+M*IEND*(K-1)
   CALL MAMUL(XV,F,B,VJ,M,IB,ID)

```

TESTAR SE EXISTE SOMENTE FLUXO VERTICAL.

```

   IF(J.GT.NDR)GO TO 54
   IB=IE+N*NDR*(K-1)
   CALL MAMUL(XR,E,A,RJ,N,IB,IE)

```

CALCULAR A MEDIA RADIAL.

```

   RJAVE=0.
   DO 55 I=1, N
55  RJAVE=RJAVE+RJ(I)*SRM(I)

```

DETERMINAR A MATRIZ AUXILIAR AUX, SE ISP=1, E ARMAZENA-LA NA MATRIZ W. NOTAR QUE OS ELEMENTOS DE W SERAO AS PRESSOES NEUTRAS NOS MYE\*MRE PONTOS DO DRENO DE AREIA, INSTALADO NA VERTICAL XT. A MATRIZ W SERA CALCULADA, IMPRESSA E DESTRUIDA A CADA CICLO DESTE LOOP 51.

```

   IF(ISP.EQ.0)GO TO 54
   II=0
   DO 56 I=1, N
   DO 56 L=1, M

```

```

II=II+1
56 AUX(II)=AUX(II)+RJ(I)*VJ(L)

```

INCLUIR A CONDIÇÃO DE LIVRE DRENAGEM NA FRONTEIRA SUPERIOR. A CONDIÇÃO DE LIVRE DRENAGEM NA FRONTEIRA INFERIOR SERÁ CONSIDERADA FORA DO LOOP 53. OBSERVAR QUE, DEPOIS DE LIFT CICLOS DO LOOP 53, O VETOR U VOLTARÁ AO PROGRAMA PRINCIPAL.

```

54 II=(J-1)*MYE+1
U(II)=0.
DO 57 I=1,M
II=II+1
57 U(II)=U(II)+VJ(I)*RJAVE
53 CONTINUE
IF(IBC.V.EQ.3)GO TO 58
II=J*MYE
U(II)=FIMPV*U(II-1)
58 IF(ISP.EQ.0)GO TO 59
IF(J.LE.NDR)GO TO 60

```

IMPRIMIR AS PRESSÕES NEUTRAS DOS PONTOS DA VERTICAL XT(J) PARA O CASO DE FLUXO VERTICAL SOMENTE.

```

WRITE(IOUTP,93)
WRITE(IOUTP,91)T,XT(J)
II=(J-1)*MYE
DO 61 I=1,MYE
II=II+1
61 WRITE(IOUTP,92)U(II)
WRITE(IOUTP,93)
GO TO 59

```

IMPRIMIR AS PRESSÕES NEUTRAS DOS PONTOS DA VERTICAL XT(J) PARA O CASO DE FLUXO VERTICAL + RADIAL.

```

60 CALL RESTO(AUX,W,IBC.V,IBCR,FIMPV,FIMPR,MYE,MRE,M,N)
WRITE(IOUTP,93)
WRITE(IOUTP,94)T,XT(J)
DO 62 I=1,MYE
62 WRITE(IOUTP,95)(W(K),K=I,III,MYE)
WRITE(IOUTP,93)

```

DETERMINAR A PRESSÃO NEUTRA MÉDIA NOS M+1 PONTOS DA VERTICAL XT.

```

59 II=(J-1)*MYE
UAVE(J)=0.
DO 63 I=1,MYE
II=II+1
63 UAVE(J)=UAVE(J)+U(II)*SV(I)
51 CONTINUE
RETURN

```

\*\*\*\*\* LI = LIM = 3 \*\*\*\*\*

DETERMINAR O VETOR B.

```

6 II=IEND*M
IB=0
DO 20 K=1,LIFT
DO 20 I=1,II
IB=IB+1
20 B(IB)=F(I)*B(IB)
IF(IDC.EQ.1)RETURN

```

DETERMINAR O VETOR A.

```

II=NDR*N
IA=0
DO 22 K=1,LIFT
DO 22 I=1,II
IA=IA+1
22 A(IA)=E(I)*A(IA)
RETURN

```

\*\*\*\*\* LI = LIM = 4 \*\*\*\*\*

```

7 KSTART=1+NDR
IF(IDC.EQ.1)GO TO 70
III=MYE*MRE

```

GERAR A MATRIZ G PARA O CASO DE FLUXO RADIAL + VERTICAL.

CALL GRAMP(G,2,E,F,T,TA,EIGV,EIGR,PHI(1),OMEGA(1),C,M,N)

CALCULAR AS PRESSUES NEUTRAS NOS M\*N PONTOS DO DRENO DE AREIA INSTALADO NA VERTICAL XT.

```

DO 71 K=1,NDR
II=0
DO 72 J=1,N
IB=(K-1)*M
DO 72 I=1,M
IG=I-M
IX=J-N
IA=(K-1)*N
IB=IB+1
II=II+1
AS=0.
DO 73 L=1,N
IG=IG+M
IX=IX+N
IA=IA+1
73 AS=AS+G(IG)*XR(IX)*A(IA)
W(II)=AS*B(IB)
72 CONTINUE
CALL MPRD (XV,W,AUX,M,M,N,1,1,1)

```

REARMAZENAR A MATRIZ AUX NA MATRIZ W, LEVANDO EM CONSIDERACAO AS CONDICUES DE FRONTEIRA.

CALL RESTO(AUX,W,IBCV,IBCR,FIMPV,FIMPR,MYE,MRE,M,N)  
IF(ISP.EQ.0)GO TO 74

SE ISP=1, IMPRIMIR A MATRIZ W, CUJOS ELEMENTOS SAO AS PRESSUES NEUTRAS NOS (MYE\*MRE) PUNTOS DO DOMINIO DE SOLUCAO.

```

WRITE(IOUTP,93)
WRITE(IOUTP,94)T,XT(K)
DO 75 I=1,MYE
75 WRITE(IOUTP,95)(W(J),J=I,III,MYE)
WRITE(IOUTP,93)
74 II=(K-1)*MYE+1
CALL MPRD(W,SK,U,MYE,MRE,1,1,1,II)

```

CALCULAR A PRESSAO NEUTRA MEDIA NA VERTICAL XT(K).

```

II=II-1
UAVE(K)=0.
DO 76 I=1,MYE
II=II+1
76 UAVE(K)=UAVE(K)+U(II)*SV(I)
71 CONTINUE
70 IF(KSTRT.GT.IEND)RETURN

```

GERAR A MATRIZ G PARA O CASO DE FLUXO VERTICAL SOMENTE E CALCULAR AS PRESSUES NEUTRAS.

```

CALL GRAMP(G,1,E,F,T,TA,EIGV,EIGR,PHI(1),OMEGA(1),C,M,N)
DO 77 K=KSTRT,IEND
IA=(K-1)*MYE+1
U(IA)=0.
UAVE(K)=0.
DO 78 I=1,M
IB=(K-1)*M
IA=IA+1
IX=I-M
U(IA)=0.
DO 79 J=1,M
IX=IX+M
IB=IB+1
79 U(IA)=U(IA)+XV(IX)*G(J)*B(IB)
UAVE(K)=UAVE(K)+SV(I+1)*U(IA)
78 CONTINUE

```

CALCULAR AS PRESSUES NEUTRAS NA FRONTEIRA INFERIOR.

```

IF(IBCV.EQ.3)GO TO 80
IA=IA+1
U(IA)=FIMPV*U(IA-1)

```

```

80 IF (ISP.EQ.0)GU TU 77
WRITE(10UTP,93)
WRITE(10UTP,91)T,XT(K)
II=(K-1)*MYE
DO 81 I=1,MYE
II=II+1
81 WRITE(10UTP,92)U(II)
WRITE(10UTP,93)
77 CONTINUE

```

```
91 FORMAT(T8,'PRESSUES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM SOMENTE FLUXO VERTIC  
   1AL (TON/M2)'),'//',T25,'T= ',F5.0,T51,'X/W= ',F5.3,/,)  
92 FORMAT(37X,F6.3)  
93 FORMAT(/)  
94 FORMAT(T8,'PRESSUES NEUTRAS NAS VERTICAIS COM FLUXO RADIAL+ VERTI  
   1CAL (TON/M2)'),'//',T25,'T= ',F5.0,T51,'X/W= ',F5.3,/,)  
95 FORMAT(9X,F6.3,8X,F6.3,8X,F6.3,8X,F6.3,8X,F6.3,8X,F6.3,)  
    RETURN  
    END  
    SUBROUTINE EFGEN(PSI,T,EIG,IVAR,MM,NN,D,L1)
```

ESTA SUBROTINA GERA A MATRIZ DIAGONAL,DEPENDENTE DO TEMPO,QUE  
USADA NO PROCESSO DE ADENSAMENTO.  
PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA DISP :  
D -MATRIZ DIAGONAL GERADA.

```

*****
DIMENSION PSI(1),EIG(1),D(1)

```

CONSIDERAR CONSTANTE O FATOR DE ADENSAMENTO NO CASO DE  $LI=4$  OU  $LI=6$ , JA QUE ISTO CORRESPONDE A CONDICAO DE RAMPA DE CARREGAMENTO.

```

      IF(T.NE.O.)GO TO 7
      LAST=MM*NN
      DO 8 I=1,LAST
8      D(I)=1.O
      RETURN
7      IF(LI.EQ.4)GO TO 4
      IF(LI.EQ.6)GO TO 4
      IF(IVAR.EQ.O)GO TO 1

```

CONSIDERAR VARIÁVEIS OS PARÂMETROS DO SOLO.

```

      II=0
      DO 2 J=1,MM
      PSI T=PSI(J)*T
      DO 2 I=1,NN
      II=II+1
      D(II)=EXP(PSI I *EIG(I))
2    CONTINUE
      RETURN

```

CONSIDERAR CONSTANTES OS PARAMETROS DO SOLO.

```

1  PSIT=PSI(1)*T
   DO 3 I=1,NN
   D(I)=EXP(PSIT*EIG(I))
   IF(MM.LT.2) GO TO 3
   II=I
   DO 6 J=2,MM
   II=II+NN
6  D(II)=D(I)
3  CONTINUE
   RETURN

```

CONSIDERAR A CUNDICAO DE RAMPA DE CARREGAMENTO COM O FATOR DE ADEN-  
SAMENTO CONSTANTE.

```
4 PSIT=PSI(1)*T
   DO 5 I=1,NN
   A=PSIT*EIG(I)
```

```

D(I)=0.
IF(A.GT.(-100))D(I)=EXP(A)
5 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE FUNCT (THETA,ETA,K,SIGX,SIGY,TAU)

```

# SUBROTINA FUNCT.

```

ESTA SUBROTINA CALCULA O VALOR DOS INTEGRANDOS COM ARGUMENTO
THETA,DAS EQUACUES DAS TENSOES,SIGMA X,SIGMA Y E TAU XY, ATUANTES
NO MACICO COMPRESSIVEL.
PARAMETROS DESTA SUBROTINA QUE VOLTARAO A SUBROTINA PORE :
SIGX -VALOR DO INTEGRANDO DA EQUACAO DA TENSÃO NORMAL HORIZ.
SIGY -VALOR DO INTEGRANDO DA EQUACAO DA TENSÃO NORMAL VERT.
TAU -VALOR DO INTEGRANDO DA EQUACAO DA TENSÃO CISCALHANTE.

```

```

COMMON/ POFUN/ Q(129),ETH(129)

```

```

TE=ETA*THETA
ETE=EXP(TE)
C=(ETH(K)+1./ETH(K))/2.
S=(ETH(K)-1./ETH(K))/2.
CTE=(ETE+1./ETE)/2.
STE=(ETE-1./ETE)/2.
D=Q(K)/(C+C*THETA*THETA)
FA=C*THETA*S
FB=THETA*TE
FC=THETA*C
FD=TE*CTE
FE=TE*STE
SIGX=-D*(FA*(CTE+FE)-FC*(2.*STE+FD))
SIGY=-D*(FA*(CTE-FE)+FC*FD)
TAU=+D*(-FA*FD+FC*(CTE+FE))
IF(ETA.EQ.1.) RETURN
AUX=2.*Q(K)*CTE/ETH(K)
SIGX=SIGX+AUX
SIGY=SIGY+AUX
RETURN
END
SUBROUTINE GAIN (UA,R,SU,MYE,MXT,MXE,MX,NIM,CO,CP,III)

```

# SUBROTINA GAIN.

```

ESTA SUBROTINA CALCULA O GANHO DE RESISTENCIA DO MACICO COM-
PRESSIVEL,DURANTE O PROCESSO DE ADENSAMENTO, PELO AUMENTO DA TENSÃO
EFETIVA NO SUBSULO. ESTE CALCULO SE BASEIA NO CONHECIMENTO DA RE-
SISTENCIA INICIAL E NO VALOR DA RAZÃO C/P,DO SOLO COMPRESSIVEL,NOS
MX*MYE PONTOS (XE,YE) DA MALHA GERADA NO PROGRAMA PRINCIPAL.
PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA AO PROGRAMA PRINCIPAL :
SU -RESISTENCIA AO CISCALHAMENTO,ACRESCIDA DO GANHO DE RESIS-
TENCIA DEVIDO AO ADENSAMENTO.

```

```

DIMENSION UA(1),R(1),SU(1),MXT(1),MXE(1),CO(1),CP(1)
K=0

```

```

III =IDENTIFICADOR DA PRESSÃO NEUTRA DISSIPADA,UA,NOS PONTOS(XT,YE)
III=1 -TODOS OS ELEMENTOS DE UA SERAO NULOS.
III=0 -ALGUNS OU TODOS OS ELEMENTOS DE UA NAO SERAO NULOS.

```

```

IF(III.EQ.0) GO TO 1
DO 2 I=1,MX
DO 2 J=1,MYE
K=K+1
SU(K)=CO(J)
2 CONTINUE
RETURN
1 IUBE=0
IUND=0
IRND=0
DO 3 JJ=1,NIM
IUBS=IUBE+1
IUBE=IUBE+MYE*MXT(JJ)
IUST=IUND+1
IUND=IUND+MYE*MXE(JJ)
IRST=IRND+1

```

```

IRND=IRND+MXT(JJ)*MXE(JJ)
CALL MPRD (UA,R,SU,MYE,MXT(JJ),MXE(JJ),IUBS,IRST,IUST)
3 CONTINUE
DO 4 I=1,MX
DO 4 J=1,MYE
K=K+1
SU(K)=CO(J)+SU(K)*CP(J)
4 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE GENER(P,F,X,N)

```

# SUBROTINA GENER.

ESTA SUBROTINA GERA OS COEFICIENTES DA EQUACAO CARACTERISTICA DA MATRIZ TRIDIAGONAL, P, USADA NO PROCESSO DE ADENSAMENTO. ESTES COEFICIENTES SERAO ARMazenADOS NO VETOR "A".  
PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA MODAL :  
X - VETOR QUE CONTEM AS N RAIZES DA EQUACAO CARACTERISTICA.

```

DIMENSION P(1),A(25),F(1),X(1)
IC=0
F(1)=0.
F(2)=1.0
IF=2
NF=N

```

CALCULAR O VETOR F PARA OS ELEMENTOS, 3 ATE N+2 .

```

DO 1 I=1,NF
IF=IF+1
IP=2*I
F(IF)=P(IP-1)*F(IF-2)+P(IP)*F(IF-1)
1 CONTINUE
4 IC=IC+1
A(IC)=F(IF)
IF(IC.EQ.N)GO TO 3
NF=NF-1

```

CALCULAR O VETOR F PARA OS ELEMENTOS, N+3 ATE N(N+2).

```

F(IF+1)=0.
IF=IF+2
II=IF-NF-3
IP=2*IC
F(1F)=1.
DO 2 I=1,NF
IF=IF+1
II=II+1
IP=IP+2
F(IF)=P(IP-1)*F(IF-2)+P(IP)*F(IF-1)+F(II)
2 CONTINUE
GO TO 4
3 A(IC+1)=1.

```

CHAMAR A SUBROTINA RROOT PARA A DETERMINACAO DAS RAIZES REAIS DA EQUACAO CARACTERISTICA, QUE SERAO ARMazenADAS EM X .

```

CALL RROOT(A,X,N)
RETURN
END

```

SUBROUTINE GENS(S,M,KEN,WO,DEL)

# SUBROTINA GENS.

ESTA SUBROTINA GERA AS CONSTANTES DA REGRA ESTENDIDA DE SIMPSON OU DO TRAPEZIO, USADAS NO PROCESSO DE INTEGRACAO NUMERICA. CADA MOLECULA (CONSTANTE) GERADA SERA CONSIDERADA DEPENDENTE APENAS DO NUMERO DE SUB-INTERVALOS, M-1.  
PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA AO PROGRAMA PRINCIPAL :  
S - MOLECULA MATEMATICA GERADA .

```

DIMENSION S(1)
IF(M.LE.1) RETURN
IF(KEN.NE.0.) GO TO 2
MM=M-1

```

```
FAC=MM
IF(M.EQ.(M/2)*2) GO TO 3
```

SE M=1 FOR PAR, GERAR AS CONSTANTES DA REGRA DE SIMPSON.

```
1  FAC=1./(3.*FAC)
    I=1
    S(1)=FAC
    I=I+1
    S(1)=4.*FAC
    I=I+1
    S(1)=FAC
    IF(I.EQ.M) RETURN
    S(1)=2.*FAC
    GO TO 1
```

SE M=1 FOR IMPAR, GERAR AS CONSTANTES DA REGRA DO TRAPEZIO.

```
3  FAC=1./FAC
    S(1)=FAC/2.
    S(M)=FAC/2.
    IF(MM.LT.2) RETURN
    DO 4 I=2,MM
4  S(I)=FAC
    RETURN
```

SE KEN.NE.0, AS CONSTANTES SERAO CALCULADAS PARA O CASO DE SIMETRIA RADIAL. ESTE CALCULO SE BASEARA NO PROCESSO DE INTEGRACAO NUMERICA, USANDO A FORMULA DOS TRES PONTOS PIVOTAIS NAO IGUALMENTE ESPACADOS NA ESCALA ARITMETICA.

```
2  I=1
    MM=M-2
    AI=WO
    R3=AI*AI
    DD=1./(1.-R3*K3)
    S(1)=0.
    IF(M.NE.(M/2)*2) GO TO 6
```

USAR A REGRA DO TRAPEZIO PARA O PRIMEIRO INTERVALO, SE M=1 FOR IMPAR

```
    D=DD*DEL
    S(1)=D*R3
    AI=AI+DEL
    R3=AI*AI
    S(2)=D*R3
    IF(M.EQ.2) RETURN
    I=2
```

TE APLICAR REPETIDAMENTE A FORMULA DOS TRES PONTOS PIVOTAIS IGUALMENTE ESPACADOS NA ESCALA DA RAIZ QUADRADA.

```
6  DD=DD/3.
    DO 7 J=I,MM,2
    R1=R3
    AI=AI+DEL
    R2=AI*AI
    AI=AI+DEL
    R3=AI*AI
    D=R3-R1
    A=D/(R2-R1)
    D=D*DD
    S(J)=S(J)+D*R1*(3.-A)
    S(J+1)=D*R2*A*A/(A-1.)
    S(J+2)=D*R3*(2.*A-3.)/(A-1.)
7  CONTINUE
    RETURN
    END
```

SUBROUTINE GRAMP(G,KEN,E,F,T,TA,EIGV,EIGR,PHI,OMEGA,C,M,N)

SUBROTINA GRAMP.

ESTA SUBROTINA GERA A MATRIZ G USADA NA CONSIDERACAO DE RAMPA DE CARREGAMENTO.

OBSERVAR QUE :

SE KEN=1, FLUXO VERTICAL SOMENTE SERA CONSIDERADO.

SE KEN=2, FLUXO VERTICAL E RADIAL SERA CONSIDERADO.

PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA DISP :

G -MATRIZ CALCULADA.

```

*****
DIMENSION G(1),E(1),F(1),EIGV(1),EIGR(1)
GO TO (1,2),KEN

CONSIDERAR SOMENTE FLUXO VERTICAL .

1 DO 101 I=1,M
  G(I)=F(I)
  IF(TA.EQ.0.)GO TO 101
  FACD=EIGV(I)*PHI
  FACT=(1.-C)/(TA*FACD)
  EXPON=1.
  IF(T.GT.TA)EXPON=EXP(FACD*(T-TA))
  G(I)=G(I)*(C+FACT)-FACT*EXPON
101 CONTINUE
RETURN

CONSIDERAR FLUXO VERTICAL E RADIAL.

2 IG=0
DO 110 J=1,N
DO 110 I=1,M
  IG=IG+1
  G(IG)=F(I)*E(J)
  IF(TA.EQ.0.)GO TO 110
  FACD=EIGV(I)*PHI+EIGR(J)*OMEGA
  FACT=(1.-C)/(TA*FACD)
  EXPON=1.
  IF(T.GT.TA)EXPON=EXP(FACD*(T-TA))
  G(IG)=G(IG)*(C+FACT)-FACT*EXPON
110 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE INIT (XINP,YINP,MINP,XC,YC,YY,ZZ,DMIN)
*****
SUBROTINA INIT.
*****
ESTA SUBROTINA CALCULA AS COORDENADAS DE PARTIDA DO CENTRO DO
CIRCULO DE RUPTURA (XC,YC), CASO O VALOR DE XC LIDO, SEJA ZERO.
PARAMETROS DESTA SUBROTINA QUE VOLTARAO AO PROGRAMA PRINCIPAL:
XC,YC -COORDENADAS DO CENTRO DO CIRCULO CRITICO.
RHO(I) -INCLINACAO DA LINHA QUE UNE DOIS PONTOS CONSECUTIVOS
DO CONTORNO DO POLIGONO DE CARREGAMENTO.
TAU(I) -CORRESPONDE A 1.+RHO(I)**2.
PSI(I) -VALOR DE YINP, QUANDO XINP= 0.
OBSERVAR QUE RHO,TAU E PSI SO SERAO USADOS NA SUBROT. DETFS .
*****
DIMENSION XINP(1),YINP(1)
COMMON/SAPOD/ IOUTP,W,H,GLOAD,CLoad,NARC,NRAD
COMMON/INDET/ RHO(19),TAU(19),PSI(19)

XX=XINP(MINP)-DMIN
YY=YINP(1)
DO 1 I=2,MINP
  J=I-1
  RHO(J)=(YINP(I)-YINP(J))/(XINP(I)-XINP(J))
  TAU(J)=1.+RHO(J)*RHO(J)
  PSI(J)=YINP(J)-RHO(J)*XINP(J)
  IF(YINP(I).GT.YY) YY=YINP(I)
1 CONTINUE
YY=YY-ZZ
IF(XC.NE.0.)GO TO 2
YC=YY
R=YY+H
A=YY-YINP(1)
RR=R*R
XC=(XX+SQRT(RR-YY*YY)+SQRT(RR-A*A))/2.
2 RETURN
END
SUBROUTINE INTEG (ETA,XI,B,AR)
*****
SUBROTINA INTEG.
*****
ESTA SUBROTINA CALCULA O VALOR DA INTEGRAL DAS EQUACOES DAS
TENSOES, QUANDO A VARIÁVEL DE INTEGRAÇÃO, THETA, VARIA ENTRE OS LIMI-
TES 12 E INFINITO.

```



PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE PASSABA A SUBROTINA PORRE :  
 AR = VETOR CONSTITUIDO DE 7 ELEMENTOS, QUE SERA USADO NA AVALIAÇÃO DAS INTEGRAIS.

DIMENSION AR(1)

COMMON/POAPI/ ALPHA(30),L

PI=3.14159265358979

ETAP=1.+ETA

ETAM=1.-ETA

DO 1 I=1,7

1 AR(1)=0.

DO 2 I=1,L

AMX=ALPHA(I)\*X1

IF (ABS(AMX).LT.1.E-15) GO TO 3

AR(1)=AR(1)+PI-ATAN(ETAM/AMX)-ATAN(ETAP/AMX)

IF (AMX.LT.0.) AR(1)=AR(1)-2\*PI

3 APX=ALPHA(I)\*X1

IF (ABS(APX).LT.1.E-15) GO TO 4

AR(1)=AR(1)+PI-ATAN(ETAM/APX)-ATAN(ETAP/APX)

IF (APX.LT.0.) AR(1)=AR(1)-2\*PI

4 SIAMX=SIN(AMX\*B)

COAMX=COS(AMX\*B)

SIAPX=SIN(APX\*B)

COAPX=COS(APX\*B)

DPM=1./((ETAP\*ETAP+AMX\*AMX)

DPP=1./((ETAP\*ETAP+APX\*APX)

DMM=1./((ETAM\*ETAM+AMX\*AMX)

DMP=1./((ETAM\*ETAM+APX\*APX)

SM1=DPM\*(ETAP\*SIAMX+AMX\*COAMX)

CM1=DPM\*(ETAP\*COAMX-AMX\*SIAMX)

SP1=DPP\*(ETAP\*SIAPX+APX\*COAPX)

CP1=DPP\*(ETAP\*COAPX-APX\*SIAPX)

SM2=DMM\*(ETAM\*SIAMX+AMX\*COAMX)

CM2=DMM\*(ETAM\*COAMX-AMX\*SIAMX)

SP2=DMP\*(ETAM\*SIAPX+APX\*COAPX)

CP2=DMP\*(ETAM\*COAPX-APX\*SIAPX)

AR(2)=AR(2)+SM2+SP2

AR(3)=AR(3)+SM1+SP1

AR(4)=AR(4)+DPM\*(ETAP\*SM1+AMX\*CM1)+DPP\*(ETAP\*SP1+APX\*CP1)

AR(5)=AR(5)+CM2-CP2

AR(6)=AR(6)+CM1-CP1

AR(7)=AR(7)+DPM\*(ETAP\*CM1-AMX\*SM1)+DPP\*(-ETAP\*CP1+APX\*SP1)

2 CONTINUE

EXAP=EXP(-ETAP\*B)/2.

EXAM=EXP(-ETAM\*B)/2.

AR(1)=AR(1)/2.

AR(2)=EXAM\*AR(2)\*ETAM

AR(3)=EXAP\*AR(3)

AR(4)=(EXAP\*AR(4)+B\*AR(3))\*2.\*ETA

AR(5)=EXAM\*AR(5)\*ETAM

AR(6)=EXAP\*AR(6)

AR(7)=(EXAP\*AR(7)+B\*AR(6))\*2.\*ETA

AR(6)=AR(6)\*ETAM

RETURN

END

SUBROUTINE LAGR (X,Y,M,JST,XX,YY,N)

SUBROTINA LAGR.

ESTA SUBROTINA INTERPOLA OS VALORES DA FUNÇÃO Y(X), A PARTIR

DOS VALORES CONHECIDOS YY(XX), PELO USO DO POLINOMIO DE LAGRANGE.

PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA AO PROGRAMA PRINCIPAL :

Y = VETOR RESULTANTE DOS VALORES INTERPOLADOS DA FUNÇÃO.

DIMENSION X(1),Y(1),XX(1),YY(1),RN(51)

JS=JST-1

DO 1 J=1,M

JJ=JS+J

```

1 Y(JJ)=0.
DO 3 K=1,N
DO 4 J=1,M
4 RN(J)=1.
RD=1.
DO 2 I=1,N
IF(1.EQ,K)GO TO 2
DO 5 J=1,M
5 RN(J)=RN(J)*(X(J)-XX(I))
RD=RD*(XX(K)-XX(I))
2 CONTINUE
RD=YY(K)/RD
DO 6 J=1,M
JJ=JS+J
6 Y(JJ)=Y(JJ)+RN(J)*RD
3 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE MAMUL(A,D,B,C,N,IS,II)

```

# SUBROTINA MAMUL.

ESTA SUBROTINA FAZ A MULTIPLICACAO DAS MATRIZES A,D E B, RESULTANDO NA MATRIZ C.

A FORMULA GERAL DESTES PRODUTOS E:

$$C(I) = \sum_{K=1}^N A(J+(K-1)*N) * B(IS+K) * D(II+K-1).$$

OBSERVAR QUE AS MATRIZES ESTAO ARMAZENADAS UNIDIMENSIONALMENTE. A MATRIZ A TEM N\*N ELEMENTOS E OS VETORES B,D E C TEM N ELEMENTOS CADA UM.

PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA DISP:

C - PRODUTO DAS MATRIZES A,B E D.

```

*****
DIMENSION A(1),B(1),C(1),D(1)
DO 1 I=1,N
IA=I-N
IB=IS-1
C(I)=0.
ID=II-1
DO 1 K=1,N
IA=IA+N
IB=IB+1
ID=ID+1
C(I)=C(I)+A(IA)*B(IB)*D(ID)
1 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE MATR (IS,IE,M,XV,A,XM)

```

# SUBROTINA MATR.

ESTA SUBROTINA GERA A MATRIZ XM, CUJOS ELEMENTOS SAO POTENCIAS INTEIRAS DAS DIFERENCAS ENTRE OS ELEMENTOS XV E A.

OS ELEMENTOS DA MATRIZ XM SAO ARMAZENADOS UNIDIMENSIONALMENTE, COMO SEGUE:

$$XM(1) = (XV(IS) - A) ** 0$$

$$XM(2) = (XV(IS) - A) ** 1$$

$$XM(3) = (XV(IS) - A) ** 2$$

-----

$$XM(M) = (XV(IS) - A) ** (M-1)$$

$$XM(M+1) = 1.$$

$$XM(M+2) = (XV(IS+1) - A) ** 1$$

-----

$$XM(M*(IE-IS+1)) = (XV(IE) - A) ** (M-1)$$

OBSERVAR QUE A SUBTRACAO DE A E FEITA PARA AUMENTAR A PRECISAO NA GERACAO DA MATRIZ XM.

PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA AO PROGRAMA PRINCIPAL:

XM - MATRIZ GERADA A PARTIR DE XV.

```

*****
DIMENSION XV(1),XM(1)

```

```

K=0
DO 1 I=IS,IE
K=K+1
XM(K)=1.
XV(I)=XV(I)-A

```

LEVAR EM CONSIDERACAO O CASO DE M=1.

```

IF(M.EQ.1) GO TO 1
DO 2 J=2,M
L=K
K=K+1
2 XM(K)=XM(L)*XVT
1 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE MINV(A,N,D)

```

# SUBROTINA MINV.

ESTA SUBROTINA INVERTE UMA MATRIZ QUALQUER, A, POR MEIO DO ME-  
 TODO STANDARD DE GAUSS-JORDAN.  
 PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA AO PROGRAMA PRINCIPAL:  
 A - MATRIZ LIDA, DESTRUIDA NO CALCULO E SUBSTITUIDA PELO SEU  
 INVERSO.

```

DIMENSION A(1200), L(25), M(25)

```

PESQUISAR O MAIOR ELEMENTO.

```

D=1.0
NK=-N
DO 80 K=1,N
NK=NK+N
L(K)=K
M(K)=K
KK=NK+K
BIGA=A(KK)
DO 20 J=K,N
IZ=N*(J-1)
DO 20 I=K,N
IJ=IZ+I
10 IF(ABS(BIGA)-ABS(A(IJ)))15,20,20
15 BIGA=A(IJ)
L(K)=I
M(K)=J
20 CONTINUE

```

FAZER A MUDANCA ENTRE LINHAS.

```

J=L(K)
IF(J=K)35,35,25
25 KI=K-N
DO 30 I=1,N
KI=KI+N
HOLD=-A(KI)
JI=KI-K+J
A(KI)=A(JI)
30 A(JI)=HOLD

```

FAZER A MUDANCA ENTRE COLUNAS.

```

35 I=M(K)
IF(I=K)45,45,38
38 JP=N*(I-1)
DO 40 J=1,N
JK=NK+J
JI=JP+J
HOLD=-A(JK)
A(JK)=A(JI)
40 A(JI)=HOLD

```

DIVIDIR AS COLUNAS PELO SIMETRICO DO "PIVOT". O VALOR DO "PIVOT"  
 ESTA ARMAZENADO EM BIGA.

```

45 IF(BIGA)48,46,48
46 D=0.0
RETURN
48 DO 55 I=1,N
IF(I=K)50,55,50
50 IK=NK+I
A(IK)=A(IK)/(-BIGA)
55 CONTINUE

```

REDUZIR A MATRIZ.

```

DO 65 I=1,N
IK=NK+I
IJ=I-N
DO 65 J=1,N
IJ=IJ+N
IF(I-K)60,65,60
60 IF(J-K)62,65,62
62 KJ=IJ-I+K
A(IJ)=A(IK)*A(KJ)+A(IJ)
65 CONTINUE

```

DIVIDIR A LINHA POR PIVOT .

```

KJ=K-N
DO 75 J=1,N
KJ=KJ+N
IF(J-K)70,75,70
70 A(KJ)=A(KJ)/B1GA
75 CONTINUE

```

FAZER O PRODUTO ENTRE "PIVOTS".

```

D=D*B1GA
A(KK)=1.0/B1GA
80 CONTINUE

```

FAZER A MUDANCA FINAL ENTRE LINHAS E ENTRE COLUNAS.

```

K=N
100 K=K-1
IF(K)150,150,105
105 I=L(K)
IF(I-K)120,120,108
108 JQ=N*(K-1)
JR=N*(I-1)
DO 110 J=1,N
JK=JQ+J
HOLD=A(JK)
JI=JR+J
A(JK)=-A(JI)
110 A(JI)=HOLD
120 J=M(K)
IF(J-K)100,100,125
125 KI=K-N
DO 130 I=1,N
KI=KI+N
HOLD=A(KI)
JI=KI-K+J
A(KI)=-A(JI)
130 A(JI)=HOLD
GO TO 100
150 RETURN
END

```

SUBROUTINE MODAL (LAYER,IBC,N,FIMP,RC,RK,XO,XE,EIG,X,XI,F)

SUBROTINA MODAL.

ESTA SUBROTINA, EM CONJUNTO COM AS SUBROTINAS GENER, RROOT E MINV, EXECUTARA AS OPERACOES SEGUINTE:

- 1) GERAR A MATRIZ P DE COEFICIENTES ;
- 2) DETERMINAR A EQUACAO CARACTERISTICA DESTA MATRIZ ;
- 3) CALCULAR OS AUTOVALORES DA MATRIZ P ;
- 4) GERAR A MATRIZ MODAL X ; E
- 5) INVERTER A MATRIZ MODAL .

A DETERMINACAO DA MATRIZ P DEPENDE DAS CONDICAOES DE FRONTEIRA DADAS POR LAYER, IBC, CHI, RC, RK, XO E XE .

PARAMETROS DESTA SUBROTINA QUE PASSARAO A SUBROTINA DISP.

X - MATRIZ MODAL FORMADA PELOS AUTOVECTORES DA EQ. CARACTER.

XI - INVERSO DA MATRIZ MODAL, X .

EIG - VETOR CONSTITUIDO PELOS AUTOVALORES DA EQ. CARACTER.

DIMENSION P(50), D(25), F(1), EIG(1), X(1), XI(1)

IF(LAYER.NE.2) GO TO 1

IF(IBC.NE.2) GO TO 2

AS FRONTEIRAS DO DOMINIO DE SOLUCAO SERAO AS SEGUINTE:

XO - FRONTEIRA INFERIOR.

```

XO=0. SE LAYER FOR MAIOR QUE 1.
XO=RAIU DU SMEAR SE IBC FOR IGUAL A 4.
XO=RAIU DU DRENO SE IBC FOR IGUAL A 5.
XE -FRONTEIRA SUPERIOR.
XE=H. SE LAYER FOR MAIOR QUE 1.
XE=RAIU DE INFLUENCIA SE LAYER FOR MAIOR QUE 1.

```

```

AN=N+1
AN=3.141592653589793/AN
KJ=0
DO 3 J=1,N
AJ=J
EIG(J)=-2.+2.*COS(AJ*AN)
DO 3 K=1,N
KJ=KJ+1
AK=K
X(KJ)=SIN(AK*AJ*AN)
3 CONTINUE
GO TO 4
2 IF(IBC.NE.3)GO TO 1

```

CALCULAR DIRETAMENTE OS AUTOVALORES E A MATRIZ MODAL PARA LAYER=2  
 E IBC=0. NOTAR QUE N CORRESPONDE AO NUMERO DE PONTOS NODAIS NO SISTEMA  
 DE NUMERACAO DO PROGRAMA.

```

AN=2*N
AN=3.141592653589793/AN
KJ=0
DO 5 J=1,N
AJ=2*J-1
EIG(J)=-2.+2.*COS(AJ*AN)
DO 5 K=1,N
KJ=KJ+1
AK=K
X(KJ)=SIN(AK*AJ*AN)
5 CONTINUE
GO TO 4

```

GERAR AS MATRIZES P E D PARA OS CASOS ONDE IBC FOR DIFERENTE DE 2  
 E 3. OBSERVAR QUE A MATRIZ D E SOMENTE UMA MATRIZ AUXILIAR.

```

1 D(1)=1.0
P(1)=0.0
P(2)=2.0
IF(IBC.LT.4)GO TO 6

```

GERAR AS MATRIZES P E D PARA O CASO DE DRENAGEM RADIAL.

```

DEL=N
W2=SQRT(XO)
DEL=(SQRT(XE)-W2)/DEL
W2=W2+DEL
W22=W2*W2
IF(IBC.EQ.4) P(2)=2.-FIMP*(1.-DEL/(2.*W2))
P(2)=P(2)/W22
DO 7 I=2,N
W1=W2
W2=W2+DEL
WS=W1+W2
W11=W22
W22=W2*W2
W12=W11*W22
IE=2*I
P(IE-1)=-WS*WS/(4.*W12*W1*W2)
P(IE)=2./W22
D(1)=D(I-1)*(1.-DEL/(2.*W2))/W22
7 CONTINUE
P(IE-1)=-WS/(W1*W12)
D(N)=2.*D(N-1)/W22
GO TO 8

```

GERAR AS MATRIZES P E D PARA O CASO DE DRENAGEM VERTICAL.

```

6 INT=N
IF(LAYER.GT.2)INT=LAYER-2
DO 9 I=2,INT
IE=2*I
P(IE-1)=-1
P(IE)=2.
D(I)=1.

```

```

9 CONTINUE
IF (INT.NE.N) GO TO 10
P(IE)=2.-FIMP
GO TO 8

```

CALCULAR OS ELEMENTOS DE P E D PARA O CASO DE SOLO ESTRATIFICADO COM DUAS CAMADAS .

```

10 PD=-RC*RC
PE=2.*RC
FIN=PE/(RC+RK)
P(IE+1)=FIN
P(IE+2)=FIN*(1.+RK)
D(INT+1)=FIN
P(IE+3)=-FIN*RC*RK
P(IE+4)=PE
D(INT+2)=FIN*RC
INT=INT+3
DO 11 I=INT,N
IE=2*I
P(IE-1)=PD
P(IE)=PE
D(I)=RC*D(I-1)
11 CONTINUE
IF (IBC.NE.3) GO TO 12
P(IE-1)=2.*PD
D(N)=2.*D(N)
GO TO 8
12 IF (IBC.EQ.1) P(IE)=RC*(2.-FIMP)

```

CHAMAR A SUBROTINA GENER PARA GERAR A EQUACAO CARACTERISTICA E CALCULAR OS AUTOVALORES, EIG.

```

8 CALL GENER(P,I,EIG,N)

```

CALCULAR OS AUTOVECTORES A PARTIR DAS MATRIZES P E D E DOS AUTOVALORES EIG .

```

MEND=N-1
NN=2*N
DO 15 K=1,N
NK=N*K
X(NK)=1.
X(NK-1)=P(NN)+EIG(K)
15 CONTINUE
DO 16 ME=2,MEND
NN=NN-2
DO 16 K=1,N
NK=N*K-ME
X(NK)=P(NN+1)*X(NK+2)+(P(NN)+EIG(K))*X(NK+1)
16 CONTINUE

```

MULTIPLICAR A MATRIZ X PELA MATRIZ D E ARMAZENAR O PRODUTO EM X .

```

I=0
DO 20 J=1,N
DO 20 K=1,N
I=I+1
20 X(I)=X(I)*D(K)
4 NN=N*N
DO 17 I=1,NN
XI(I)=X(I)
17 CONTINUE

```

CHAMAR A SUBROTINA MINV PARA DETERMINAR O INVERSO DA MATRIZ MODAL.

```

CALL MINV(XI,N,DET)
RETURN
END

```

SUBROUTINE MPRD(A,B,R,N,M,L,IAS,IBS,IRS)

```

*****
*
*               SUBROTINA  MPRD.
*
*   ESTA SUBROTINA MULTIPLICA A MATRIZ A(N X M) PELA MATRIZ B
*   (M X L) E ARMAZENA O PRODUTO NA MATRIZ R(N X L).
*   JA QUE TODAS AS MATRIZES SERAO ARMAZENADAS UNIDIMENSIONALMENTE
*   A FORMULA GERAL PARA O PRODUTO SERA :
*   R(IR)=R(J+(K-1)*N+IRS-1)=SUM(I=1,M) DE A(J+(I-1)*N+IAS-1)*B(I+
*   (K-1)*M+IBS-1).
*
*****

```

PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA DISP :  
R -MATRIZ PRODUTO .

```

*****
DIMENSION A(1),B(1),R(1)
IR=IRS-1
KM=IBS-M-1
DO 1 K=1,L
KM=KM+M
DO 1 J=1,N
IR=IR+1
IA=J+IAS-N-1
IB=KM
R(IR)=0.
DO 1 I=1,M
IA=IA+N
IB=IB+1
R(IR)=R(IR)+A(IA)*B(IB)
1 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE PURE (XINP,YINP,M,NST,CX,IX,CY,IY,U,ABAR,BBAR)
*****
SUBROTINA PORE.
*****
ESTA SUBROTINA AVALIA O EXCESSO DE PRESSAO NEUTRA EM UMA CA-
MADA DE SOLO COMPRESSIVEL. ESTE CALCULO SERA FEITO MEDIANTE A DE-
TERMINACAO DAS TENSOES NORMAIS E CISALHANTES USANDO-SE AS CONDICAOES
DE PLANO-DEFORMACAO E DE CARREGAMENTO SIMETRICO NA TEORIA DA ELAS-
TICIDADE, E USANDO-SE, TAMBEM, OS PARAMETROS A E B DE SKEMPTON.
O COEFICIENTE DE POISSON E ADOTADO SER 0.5. CONSIDERA-SE TAM-
BEM QUE O SOLO COMPRESSIVEL ESTA ASSENTE EM UMA CAMADA PERFEITAMEN-
TE RIGIDA E RUGOSA.
PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA AO PROGRAMA PRINCIPAL :
U -EXCESSO DE PRESSAO NEUTRA NOS POROS DO MACICO COMPRES.
*****
DIMENSION XINP(1),YINP(1),CX(1),CY(1),U(1)
DIMENSION SX(220),SY(220),TA(220),QX(129),QY(129),QT(129)
DIMENSION SI(3),SUM(3),R(3),T(3),DIF(3),AR(7),SUMS(3),ABSD(3)

COMMON/SAPOD/IDUTP,W,H,GLDAD,CLOAD,NARC,NRAD
COMMON/POAPI/ALPHA(30),L
COMMON/POFUN/UST(129),ETHST(129)

VOLTAR AO PROGRAMA PRINCIPAL SE O NUMERO DE PONTOS QUE CARACTERIZA
A CARGA FOR MENOR OU IGUAL A 1.

IF(M.GT.1) GO TO 101
DO 100 I=1,220
100 U(I)=0.
RETURN

APROXIMAR A CARGA REAL POR NST FAIXAS DE CARGA DE ESPESSURA DST.
101 CALL APROX(XINP,YINP,M,NST,DST)
WRITE(IDUTP,94)L
DO 10 I=1,L
WRITE(IDUTP,95)I,ALPHA(I)
10 ALPHA(I)=ALPHA(I)/H

DEFINIR AS CONSTANTES USADAS NO CALCULO DAS TENSOES .
DELTA=0.0001
DEL=0.001
DELT=DELTA
PI=3.14159265358979
IMAX=128
AINT=1./128.
KEND=IMAX+1
PMAK=NST
PMAK=ABS(PMAK*PI/2.)
JEND=12
FAC=2.*GLDAD*DST/PI
ZETA=W/H
IXIY=IX*IY
BRAN=2.

DEFINIR A CONSTANTE PARA A DETERMINACAO DA PRESSAO NEUTRA.

```

CONST=0.8660254\*(ABAR-1./3.)+1./2.

DEFINIR O VALOR DE PARTIDA DAS TENSOES .

```

DO 21 I=1,IXIY
  SX(I)=0.
  SY(I)=0.
21 TA(I)=0.
  IER=0

```

INICIAR O PROCESSO DE INTEGRACAO NUMERICA.  
 USAR A REGRA DE SIMPSON SE XI FOR MENOR QUE BRAN=2.  
 USAR A FORMULA DE FILON SE XI FOR MAIOR OU IGUAL A BRAN=2.  
 OS LIMITES DE INTEGRACAO SAO ZERO E JEND=12 .

```

DO 5 ISTEP=1,JEND
  A=ISTEP-1
  B=ISTEP
  BA=1.
  IF(ISTEP.EQ.2)DELT=DEL

```

CALCULAR OS PARAMETROS USADOS REPETIDAMENTE NA SUBROTINA FUNCT .

```

  THETA=A*AJNT
  DO 2 K=1,KEND
    THETA=THETA+AJNT
    ETHST(K)=EXP(THETA)
    QST(K)=0.
    DO 2 I=1,L
      QI=ALPHA(I)
      AT=QI*THETA
      ABSAT=ABS(AT)
      IF(ABSAT.LT.0.001) GO TO 3
      QI=QI*SIN(ABSAT)/AT
    3 IF(AT.LT.0.) QI=-QI
    2 QST(K)=QST(K)+QI

```

INTEGRAR NUMERICAMENTE ENTRE OS LIMITES A E B E ARMAZENAR OS RESULTADOS NA SEQUENCIA UNIDIMENSIONAL SX,SY E TAU .

```

DO 5 J=1,IY
  ETU=CY(J)
  ETA=1.-ETU
  DO 51 JQX=1,KEND
    51 QX(JQX)=1.E15
    CALL FUNCT(A,ETA,1,QX(1),QY(1),QT(1))
    CALL FUNCT(B,ETA,KEND,QX(KEND),QY(KEND),QT(KEND))
    DO 5 I=1,IX
      LL=(I-1)*IY+J
      XI=CX(I)*ZETA

```

INICIAR A INTEGRACAO NUMERICA.

```

41 DO 41 K=1,3
  SI(K)=0.
  XIA=XI*A
  XIB=XI*B
  SIXIA=SIN(XIA)
  SIXIB=SIN(XIB)
  COXIA=COS(XIA)
  COXIB=COS(XIB)
  IF(XI.LT.BRAN) GO TO 1
  DIF(1)=QX(KEND)*SIXIB-QX(1)*SIXIA
  DIF(2)=QY(KEND)*SIXIB-QY(1)*SIXIA
  DIF(3)=QT(1)*COXIA-QT(KEND)*COXIB
  1 R(1)=QX(1)*COXIA+QX(KEND)*COXIB
  R(2)=QY(1)*COXIA+QY(KEND)*COXIB
  R(3)=QT(1)*SIXIA+QT(KEND)*SIXIB

```

AVALIAR A INTEGRAL EM INTERVALOS DIVIDIDOS EM PARTES IGUAIS.

```

  NHALF=1
  N=2
  6 AN=N
  HH=BA/AN
  XK=A+HH
  XINC=2.*HH
  DO 44 K=1,3
  44 T(K)=0.

```



CALCULAR O VALOR DOS INTEGRANDOS AINDA NAO CALCULADOS E ARMAZENAR O RESULTADO EM QX,QY E QT .

```

IDEL=IMAX/NHALF
IT=-1/2*IMAX/N+1
DO 8 K=1,NHALF
XK=XK+XINC
IT=IT+IDEL
IF(QX(IT).EQ.1.E15)CALL FUNCT(XK,ETA,IT,QX(IT),QY (IT),QT(IT))
XIX=XI*XK
CDXIX=COS(XIX)
T(1)=T(1)+QX(IT)*CDXIX
T(2)=T(2)+QY(IT)*CDXIX
T(3)=T(3)+QT(IT)*SIN(XIX)
8 CONTINUE
IF(XI.GE.BRAN) GO TO 13

```

USAR A REGRA DE SIMPSON PARA A INTEGRACAO NUMERICA .

```

HH=HH/3.
DO 46 K=1,3
46 SUM(K)=HH*(R(K)+4.*T(K))
GO TO 4

```

USAR A FORMULA DE FILON PARA A INTEGRACAO NUMERICA .

```

13 XIH=XI*HH
XXIH=XI*XI*HH
SIX=SIN(XIH)
COX=COS(XIH)
C=(SIX/XIH-COX)*4.
D=XIH+SIX*COX-2.*SIX*SIX/XIH
E=1.+COX*COX-2.*SIX*COX/XIH
DO 47 K=1,3
47 SUM(K)=(D*DIF(K)+E*R(K)+C*T(K))/XXIH

```

A COMPARAR A PRECISAO DESEJADA COM O VALOR DA INTEGRAL LIMITADA POR E B .

```

4 IF(NHALF.EQ.1) GO TO 16
SUMS(1)=SX(LL)+SUM(1)
SUMS(2)=SY(LL)+SUM(2)
SUMS(3)=TA(LL)+SUM(3)
DO 48 K=1,3
ABSD(K)=ABS(SUM(K)-SI(K))
IF(ABSD(K).GT.ABS(DELT*SUM(K))) GO TO 16
48 CONTINUE
IF(ISTEP.EQ.1) GO TO 17

```

COMPARAR A PRECISAO DESEJADA COM A INTENSIDADE DA MAXIMA CARGA .

```

DO 49 K=1,3
IF(ABSD(K).GT.DELTA*PMAX) GO TO 16
49 CONTINUE
GO TO 17

```

```

16 NHALF=N
N=2*NHALF
IF(N.LE.IMAX) GO TO 19
IF(IER.NE.0.) GO TO 191
IER=1
WRITE(IOUTP,98)

```

ESCREVER UMA MENSAGEM,SE A PRECISAO DESEJADA NAO FOI ENCONTRADA.

```

191 WRITE(IOUTP,99)LL,ETO,CX(I),XI,A,B,SUM(1),SI(1),SUM(2),SI(2),
* SUM(3),SI(3)
GO TO 17

```

EXECUTAR O PROXIMO TESTE DE PRECISAO .

```

19 DO 50 K=1,3
SI (K)=SUM(K)
50 R(K)=R(K)+2.*T(K)
GO TO 6
17 SX(LL)=SUMS(1)
SY (LL)=SUMS(2)
TA(LL)=SUMS(3)
5 CONTINUE

```

CALCULAR AS TENSOES NO MACICO NAO INCLUINDO O FATOR FAC .  
USAR A FORMULA MODIFICADA PARA O CALCULO DAS TENSOES NA SUPERFICIE .

```

DO 15 J=1,IY
ETU=CY(J)
ETA=1.-ETU
DO 15 I=1,IX
XI=CX(I)*ZETA
LL=(I-1)*IX+J
IF(ETA.NE.1.) GO TO 30
SX(LL)=SX(LL)-SY(LL)
SY(LL)=0.
DO 32 IS=1,L
ABSAL=ABS(ALPHA(IS))
IF(XI/ABSAL-1.)33,34,32
33 SY(LL)=SY(LL)-0.785398163397448*ALPHA(IS)/ABSAL
34 SY(LL)=SY(LL)-0.785398163397448*ALPHA(IS)/ABSAL
32 CONTINUE
SX(LL)=SX(LL)+SY(LL)
TA(LL)=0.
GO TO 31

```

CALCULAR AS TENSOES SX,XY E TA .

```

30 CALL INTEG(ETA,XI,B,AR)
SX(LL)=SX(LL)-AR(1)+AR(2)-(3.-ETA)*AR(3)+AR(4)
SY(LL)=SY(LL)-AR(1)-AR(2)-(1.+ETA)*AR(3)-AR(4)
TA(LL)=TA(LL)+AR(5)+AR(6)-AR(7)

```

CALCULAR AS TENSOES NORMAIS E A CISALHANTE, FINAIS, ATUANTES NO MACICO COMPRESSIVEL. CALCULAR TAMBEM AS TENSOES PRINCIPAIS S1 E S2 .  
OBSERVAR QUE AS TENSOES DE TRACAO SAO POSITIVAS .

```

31 SSUM=(SX(LL)+SY(LL))/2.
SDIF=(SX(LL)-SY(LL))/2.
ROOT=SQRT(SDIF*SDIF+TA(LL)*TA(LL))
SX(LL)=FAC*SX(LL)
SY(LL)=FAC*SY(LL)
TA(LL)=FAC*TA(LL)
S1=FAC*(SSUM+ROOT)
S2=FAC*(SSUM-ROOT)

```

CALCULAR O EXCESSO DE PRESSAO NEUTRA U .

```

U(LL)=-BBAR*(S2+(S1-S2)*CONST)
15 CONTINUE

```

\*\*\*\*\* DECLARACOES FORMAT \*\*\*\*\*

```

93 FORMAT(//////)
94 FORMAT(T12, 'NO CALCULO DAS TENSOES NO SUBSOLO COMPRESSIVEL, ESTA
1 CARGA',/, T12, 'FOI APROXIMADA POR', I2, ' CARGAS UNIFORMEMENTE DIST
2 RIBUIDAS',/, T12, 'QUE SE ESTENDEM DESDE X=0 ATE X=ALPHA(I). SE ALP
3 HA(I) FOR',/, T12, 'NEGATIVO, ESTA CARGA SERA SUBTRAIDA.',/)
95 FORMAT(T26, 'ALPHA(', I2, ')=', F6.3, ' METROS',/)
98 FORMAT(T12, 'NO CALCULO DAS TENSOES, A PRECISAO DESEJADA NAO FOI OB
1 TIDA',/, I1X, 'DURANTE O PROCESSO DE INTEGRACAO NUMERICA, PARA O(S)',
2 ' SEGUINTE(S) PONTO(S):',/,
3 T3 'NU ETU CX XI A B SUM1 SI1 SUM2 SI2'
4 ' SUM3 SI3',/, T2, ' * * * * *')
5 ' * * * * *')
99 FORMAT(1X, I3, 5F6.3, 6F7.5,/,)

```

RETURN

END

SUBROUTINE RESTO(AUX,W,IBCV,IBCR,FIMPV,FIMPR,MYE,MRE,M,N)

SUBROTINA RESTO.

ESTA SUBROTINA ARMAZENA OS ELEMENTOS DA MATRIZ AUX(M X N) NA  
MATRIZ W(MYE X MRE), LEVANDO EM CONSIDERACAO AS CONDICAOES DE FRON-  
TEIRA, IBC.  
PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA DISP :  
W -MATRIZ FORMADA PELOS ELEMENTOS DA MATRIZ AUX .

DIMENSION AUX(1),W(1)

ARMAZENAR AUX EM N SEM CONSIDERAR AS CONDICÖES DE FRONTEIRA:

```
IG=0
DO 10 J=1,N
  II=J*MYE+1
DO 10 I=1,M
  II=II+1
  IG=IG+1
10 W(II)=AUX(IG)
```

CONSIDERAR AS CONDICÖES DE DRENAGEM NA FRONTEIRA SUPERIOR.

```
II=1-MYE
DO 1 J=1,MRE
  II=II+MYE
1 W(II)=0.
```

CONSIDERAR AS CONDICÖES DE DRENAGEM NA FRONTEIRA INFERIOR.

```
IF(IBC.V.EQ.3)GO TO 2
II=MYE
DO 4 J=2,MRE
  II=II+MYE
4 W(II)=FIMPV*W(II-1)
```

CONSIDERAR AS CONDICÖES DE DRENAGEM NA REGIÃO DE INFLUENC. DO DRENO.

```
2 II=MYE+1
DO 5 I=2,MYE
  II=II+1
5 W(I)=FIMPR*W(II)
RETURN
END
```

SUBROUTINE RRUOT(COF,XR,M)

SUBROTINA RRUOT.

ESTA SUBROTINA CALCULA AS RAIZES REAIS DE UM POLINOMIO DE GRAU M. O POLINOMIO DEVERA TER A SEGUINTE FORMA :

$$F(X) = COF(1) + COF(2)*X + COF(3)*X^2 + \dots + COF(M+1)*X^M$$

PARÂMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA A SUBROTINA GENE 1  
XR - VETOR CUJOS ELEMENTOS SÃO AS RAIZES REAIS DO POLINOMIO DE GRAU M.

DIMENSION COF(1),XR(1),A(25),B(25),C(25)

EPS=1.0E-5

N=M

NN=M+1

X=0.

GERAR OS VETORES AUXILIARES A,B,C,CADA UM COM M+1 ELEMENTOS.

```
DO 1 J=1,NN
  A(J)=COF(J)
1 CONTINUE
2 B(NN)=A(NN)
  C(NN)=A(NN)
4 I=NN
DO 3 J=2,N
  I=I-1
  B(I)=A(I)+X*B(I+1)
  C(I)=B(I)+X*C(I+1)
3 CONTINUE
  B(1)=A(1)+X*B(2)
```

USAR A REGRA DE NEWTON PARA O CALCULO DAS RAIZES REAIS :

$X(J+1) = X(J) - F(X(J)) / \text{DIVIDIDO PELA DERIVADA DE } F(X) \text{ EM } X(J).$

OBTER OS VALORES DA FUNÇÃO E DE SUA DERIVADA EM  $X(J)$ , A PARTIR DO ESQUEMA DE HORNER.

AS RAIZES SERÃO SEMPRE APROXIMADAS A PARTIR DE VALORES INFERIORES. A RAIZ DETERMINADA ANTERIORMENTE SERÁ USADA COMO UMA POSSÍVEL RAIZ DO POLINOMIO REDUZIDO, PARA INICIAR O PROCESSO DE APROXIMAÇÃO.

DX=-B(1)/C(2)

X=X+DX

IF(ABS(DX).GT.EPS\*ABS(X))GO TO 4

XR(N)=X

DEFINIR OS COEFICIENTES DO POLINOMIO REDUZIDO .

```

DO 6 J=1,N
A(J)=B(J+1)
6 CONTINUE
NN=N
N=N-1
IF,N.GT.1)GO TO 2
XR(1)=-A(1)/A(2)

```

ARMAZENAR AS RAIZES EM ORDEM CRESCENTE E FAZER A ITERACAO FINAL USANDO O POLINOMIO ORIGINAL .

```

MM=M-1
DO 7 K=1,MM
9 I=M+1
DO 8 J=2,M
I=I-1
B(I)=COF(I)+XR(K)*B(I+1)
C(I)=B(I)+XR(K)*C(I+1)
8 CONTINUE
B(1)=COF(1)+XR(K)*B(2)
DX=-B(1)/C(2)
XR(K)=XR(K)+DX
IF(ABS(DX).GT.EPS*ABS(XR(K))) GO TO 9
7 CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE SETL (U,SETTL,IEND,KKK,MYE,F,FUP,FLO,KIAV)

```

*****
*
*               SUBROTINA  SETL.
*
*   ESTA SUBROTINA CALCULA OS RECALQUES DA CAMADA COMPRESSIVEL,
* OBSERVANDO QUE :
*   SE F=1, OS RECALQUES DE ADENSAMENTO SERAO CALCULADOS.
*   SE F.GT.1, OS RECALQUES TOTAIS SERAO CALCULADOS.
* ONDE F=1/B, E B E O PARAMETRO DE SKEMPTON PARA PRESSAO NEUTRA.
*   PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA AO PROGRAMA PRINCIPAL :
*   SETTLE - VETOR CUJOS ELEMENTOS SAO OS RECALQUES NAS IEND VERT.
*
*****

```

```

DIMENSION U(1),SETTL(1),SVM(12),P(11),PC(11),PLOG(11)
COMMON/ SACSE/ RUC,ROCL,SVM,P,PC,PLOG,PO,PCO,IAV,IK,ISAT,AAV,AAR

```

```

R=RUC
A=FUP
II=-MYE
JST=1
JND=KKK
JSS=0
DO 1 I=1,IEND
1 SETTLE(I)=0.
6 DO 2 I=1,IEND
II=II+MYE
IU=II
S=0.
JS=JSS
DO 3 J=JST,JND
IU=IU+1
JS=JS+1
GO TO (4,5),KIAV

```

CONSIDERAR OS PARAMETROS DO SOLO CONSTANTES, JA QUE KIAV=1.

```

4 S=S+F*SVM(JS)*U(IU)
GO TO 3

```

CONSIDERAR OS PARAMETROS DO SOLO VARIAVEIS, JA QUE KIAV=2 .

```

5 PP=P(J)+F*U(IU)
IF(PP.GT.PC(J)) GO TO 7
S=S+R*SVM(JS)*ALOG(PP/P(J))
GO TO 3
7 S=S+SVM(JS)*(ALOG(PP/PC(J))+R*PLOG(J))
3 CONTINUE
SETTL(I)=SETTL(I)+A*S
2 CONTINUE

```

CONSIDERAR A CAMADA INFERIOR NO CASO DE DUPLA CAMADA .

IF(JND.EQ.MYE) RETURN

A=FLO

R=ROCL

II=KKK-MYE-1

JST=KKK

JND=MYE

JSS=KKK

GO TO 6

END

SUBROUTINE STAB (XC,YC,R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FX,D,DM,YY)

SUBROTINA STAB.

ESTA SUBROTINA PROCURA AUTOMATICAMENTE O MENOR FATOR DE SEGURANCA, DE UM ATERRO SOBRE SOLO COMPRESSIVEL, PARTINDO DOS VALORES INICIAIS DE XC,YC E R .

ESTA PROCURA ENVOLVE MOVIMENTOS EXPLORATORIOS E MOVIMENTOS MODELO.

PARAMETRO DESTA SUBROTINA QUE VOLTARA AO PROGRAMA PRINCIPAL :  
FX =FATOR DE SEGURANCA MINIMO.

DIMENSION XINP(1),YINP(1),SU(1),X(2),Y(2),Z(2)

AVALIAR O FATOR DE SEGURANCA PARA OS VALORES INICIAIS DE XC,YC E R E OBSERVAR QUE X,Y E Z SAO VETORES AUXILIARES .

X(1)=YC

X(2)=XC

KEN=-1

11 KEN=KEN+1

DEL=D

CALL VARYR (X(1),X(2),R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FX,DM,YY)

4. FS=FX

DO 1 I=1,2

Y(1)=X(1)

1 Z(1)=X(1)

EXECUTAR OS MOVIMENTOS EXPLORATORIOS .

DO 2 I=1,2

Y(1)=Z(1)+DEL

CALL VARYR (Y(1),Y(2),R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FY,DM,YY)

IF(FY.LT.FS) GO TO 5

Y(1)=Z(1)-DEL

CALL VARYR (Y(1),Y(2),R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FY,DM,YY)

IF(FY.LT.FS) GO TO 5

Y(1)=Z(1)

GO TO 2

5 FS=FY

2 CONTINUE

IF(FS.LT.FX) GO TO 6

IF(DEL.LE.DM) GO TO 10

DEL=DEL/2.

GO TO 4

EXECUTAR OS MOVIMENTOS MODELO .

6 DO 3 I=1,2

A=Y(1)-X(1)

IF(A)7,8,9

7 A=-2.\*DEL

GO TO 8

9 A=2.\*DEL

8 B=X(1)

X(1)=Y(1)

Y(1)=B+A

3 CONTINUE

FX=FS

CALL VARYR (Y(1),Y(2),R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FS,DM,YY)

IF(FS-FX)6,4,4

INICIAR NOVA PROCURA, SE O CIRCULO QUE FORNECE O MENOR FATOR DE SEGURANCA EMERGE ANTES DO PE DO ATERRO .

10 IF(KEN.EQ.1) GO TO 12

FMIN=FX

```

13 YC=X(1)
   XC=X(2)
   IF(KEN.EQ.1) GO TO 14
   IF((XC+SQRT(R*R-YC*YC))-XINP(MINP))11,14,14
12 IF(FMIN.GT.FX) GO TO 13
   FX=FMIN
14 RETURN
   END
   SUBROUTINE VARYR (YC,XC,R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FS,DMIN,YY)
*****
*
*               SUBROTINA  VARYR.
*
*   ESTA SUBROTINA AVALIA O FATOR DE SEGURANCA PARA N RAD CIRCULOS
*   DE RUPTURA, COM O MESMO CENTRO XC,YC .
*   PARAMETROS DESTA SUBROTINA QUE VOLTARAO A SUBROTINA STAB :
*   FS -MENOR FATOR DE SEGURANCA DOS N RAD CIRCULOS TESTADOS.
*   R -RAIO DO CIRCULO QUE FORNECEU ESTE FS.
*****
   DIMENSION XINP(1),YINP(1),SU(1),F(10),C(6)
   COMMON/SAPOD/LOUTP,W,H,GLOAD,CLOAD,NARC,NRAD
   CONSIDERAR OS ARCUS CUJOS CENTROS ESTAO ABAIXO DE YY.
   IF(YC.LT.YY) GO TO 10
   DETERMINAR O MAXIMO E O MINIMO RAIO POSSIVEL.
   RMIN=YC
   IF(XC.LT.XINP(MINP)) GO TO 1
   AI=XC-XINP(MINP)+DMIN
   RMIN=SQRT(AI*AI+YC*YC)
1  RMAX=YC+H
   LIMITAR RMAX PARA QUE O CIRCULO DE RUPTURA NAO ULTRAPASSE O EIXO
   DE SIMETRIA.
   AI=YC-YINP(1)
   AI=SQRT(AI*AI+XC*XC)
   IF(RMAX.GT.AI) RMAX=AI
   IF(RMAX.GE.RMIN) GO TO 2
10  R=0.
   FS=1.0E35
   GO TO 3
2  R=RMAX
   DETERMINAR O FATOR DE SEGURANCA PARA O MAXIMO RAIO .
   CALL DETFS(XC,YC,R,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FS)
   IF(RMAX.LE.1.02*RMIN) GO TO 3
   NN=NRAD-1
   IF(NN.EQ.0) GO TO 3
   AI=NN
   DELTA=(RMAX-RMIN)/AI
   DETERMINAR OS FATORES DE SEGURANCA PARA OS CIRCULOS COM RAIO IGUAL
   A RR=RMIN +(I-1)*DELTA , E ARMAZENAM-LOS NO VETOR F.
   RR=1.00001*RMIN-DELTA
   DO 4 J=1,NN
   RR=RR+DELTA
   CALL DETFS (XC,YC,RR,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,F(J))
4  CONTINUE
   PROCURAR O MENOR FATOR DE SEGURANCA QUE VOLTARA A SUBROTINA STAB,
   JUNTAMENTE COM O RESPECTIVO RAIO.
   DO 5 I=1,NN
   IF(F(I).GE.FS) GO TO 5
   FS=F(I)
   AI=I-1
   R=RMIN+AI*DELTA
5  CONTINUE
3  RETURN
   END

```

## PROGRAMA PRINCIPAL SAND

ESTE PROGRAMA OTIMIZA A VELOCIDADE DE CONSTRUÇÃO DE UM ATERRO  
RODOVIÁRIO SOBRE UMA CAMADA DE SOLO MOLE MUITO COMPRESSÍVEL.  
O PROGRAMA ENVOLVE :

- 1) O CÁLCULO DAS TENSÕES E PRESSÕES NEUTRAS NO SUBSOLO;
  - 2) A DISSIPACÃO DESTAS PRESSÕES NEUTRAS, A MEDIDA QUE A CARGA  
AUMENTA LINEARMENTE COM O TEMPO ATÉ UM VALOR DE REFERÊN-  
CIA. TAL DISSIPACÃO AINDA PROSSEGUE APÓS A APLICAÇÃO  
DA REFERIDA CARGA;
  - 3) O CONSEQUENTE AUMENTO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO  
SOLO ; E
  - 4) A ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO ATERRO.
- A CARGA DO ATERRO ATUARÁ SOMENTE NA VERTICAL, E  
AS PRESSÕES NEUTRAS INDUZIDAS NO SUBSOLO, SERÃO CALCULADAS USANDO-SE  
A TEORIA DA ELASTICIDADE E OS PARÂMETROS A E B DE PRESSÃO NEUTRA  
DE SKEMPTON.
- A DISSIPACÃO DA PRESSÃO NEUTRA SEGUE UM MODELO DE FLUXO TRIDI-  
MENSIONAL; LEVA EM CONSIDERAÇÃO O EFEITO DA PRESENÇA DE GASES NOS  
VAZIOS DO SOLO; CONSIDERA TAMBÉM, A VARIABILIDADE DOS PARÂMETROS DE  
ADENSAMENTO DO SOLO.
- DEVIDO A DISSIPACÃO DA PRESSÃO NEUTRA, A PRESSÃO EFETIVA AU-  
MENTARÁ, CAUSANDO UMA CONSEQUENTE ELEVACÃO NA RESISTÊNCIA AO CISA-  
LHAMENTO DO SUBSOLO.
- O PROGRAMA PODE SER TRATADO SOB DOIS ASPECTOS DIFERENTES :
- A- OPCÃO 1 : ISP=0 - SERÃO DETERMINADOS OS TEMPOS PARA A  
CONSTRUÇÃO DAS NL ELEVACÕES DE CARGA, COM SUAS FORMAS CA-  
RACTERÍSTICAS. ESSES TEMPOS ASSEGURARÃO QUE A CAPACIDADE  
DE CARGA DO SUBSOLO NÃO SERÁ EXCEDIDA E, QUE UMA FRACÇÃO  
ESPECIFICADA DO RECALQUE FINAL TERÁ OCORRIDO.  
FINALIZANDO A EXECUÇÃO, CURVAS DE RECALQUE E DE GRAU DE  
ADENSAMENTO SERÃO TRACADAS, PARA VERTICAIS ESPECIFICADAS.
  - B- OPCÃO 2 : ISP=1 - AS ELEVACÕES DE CARGA E OS RESPECTIVOS  
TEMPOS PARA AS SUAS APLICAÇÕES SÃO DADOS DE ENTRADA, E O  
PROGRAMA DETERMINA A DISSIPACÃO DAS PRESSÕES NEUTRAS E OS  
RECALQUES PARA AS VERTICAIS PRE-ESTABELECIDAS.

REAL KVO,KV,KRO,KR

DIMENSION AX(5),CO(11),CP(11),IDEN(10),JSP(10),KK(20),MXE(4)  
DIMENSION MXS(4),MXT(4),OMED(20),OMEGA(20),P(11),PC(11),PHI(20)  
DIMENSION PHID(20),PLOG(11),R(510),ROW(100),RSP(100),SETC(20)  
DIMENSION SETI(20),SETR(20),SETRC(20),SETRI(20),SETRT(20)  
DIMENSION SETT(20),SPECS(10),SPECU(10),SR(15),SU(561),SV(11)  
DIMENSION SVM(12),SYMB(4),T(150),TB(50),TL(10),UA(220),UAVE(20)  
DIMENSION UAVED(20),UAVEM(20),UAVER(20),UB(220),UC(220),UD(220)  
DIMENSION UG(220),UU(220),XE(51),XINP(20),XME(660),XMT(100)  
DIMENSION XRP(20),XT(20),YE(11),YINP(20),YRP(20)

EQUIVALENCE (UA(1),XME(1)),(UB(1),XME(221))  
EQUIVALENCE (UC(1),XME(441)),(UD(1),XMT(1))

COMMON/SADI1/LAYER,IBCV,IBCR,MRE,M,N,IDC,NDR,ISUM  
COMMON/SADI2/FIMPV,FIMPR,RC,RK,C,RO,RE,TA,ISP,IVAR,SRM(15)  
COMMON/SAPOD/IOUTP,W,HH,GLOAD,CLOAD,NARC,NRAD  
COMMON/SACSE/ROC,ROCL,SVM,P,PC,PLOG,PO,PCO,IAV,IK,ISAT,AAV,AAR  
COMMON/SACO1/AVUC,KVO,KRO,EOPUS,PU,SKRM,SKVM,CCC,NNN,ICDEF  
COMMON/SACO2/PCV(10),CVIN(10),PCR(10),CRIN(10),ICV,KOUNT  
COMMON/SADET/XSTAB(51),YSTAB(11),DX,DY,YWM,TGPHI  
COMMON /RONA/ PQ,ALPHA  
COMMON/RONA1/EIGV,EIGR,XV,XR,XVI,XRI,AUX  
COMMON/RONA2/A,B

DATA (TB(I),I=1,45)/

1	0.	7.	14.	21.	28.	35.	42.	49.	56.
2	70.	84.	98.	112.	126.	140.	154.	168.	196.
3	224.	252.	280.	308.	336.	364.	392.	448.	504.
4	560.	616.	672.	728.	819.	910.	1001.	1092.	1274.
5	1456.	1638.	1820.	2184.	2548.	2912.	3276.	3640.	7280.

INPUT=5  
IOUTP=6

DETERMINAR A MALHA DE PONTOS UTILIZADA NO MÉTODO DAS DIFERENÇAS  
FINITAS E, NA ANÁLISE DA ESTABILIDADE.  
MYE -NÚMERO DE PONTOS NA DIREÇÃO Y INCLUINDO AS FRONTEIRAS.  
MRE -NÚMERO DE PONTOS NA DIREÇÃO R INCLUINDO AS FRONTEIRAS.

ITBL - NUMERO DE TEMPOS TB QUE SERAO CONSIDERADOS NO ADENSAMENTO.  
 ISP - IDENTIFICADOR DO PROGRAMA:  
 ISP=0 GERAR AS VERTICAIS XT E FAZER A ANALISE DA ESTABIL.  
 ISP=1 LER AS VERTICAIS ESPECIAIS XT E NAO FAZER A ANALISE  
 DA ESTABILIDADE.

```
999 READ(INPUT,191)MYE,MRE,ITBL,ISP
    IF(ITBL.LE.0)ITBL=45
    IF(ITBL.GT.45)ITBL=45
```

GERAR AS MOLECULAS MATEMATICAS,NA DIRECAO VERTICAL,PARA A REGRA  
 DE SIMPSON OU TRAPEZUIDAL.

```
CALL GENS(SV,MYE,0,0,0,0,0)
```

GERAR A SEGUIR AS PROFUNDIDADES YE.

```
MT=MYE-1
D=MT
D=1./D
DO 11 I=1,MT
  AI=I-1
11 YE(I)=AI*D
  YE(MYE)=1.
  IF(ISP.EQ.1)GO TO 1
```

LER O NUMERO DE PONTOS EQUIDISTANTES NA DIRECAO X,MX.  
 LER O NUMERO DE PONTOS,NI,QUE DEFINEM OS INTERVALOS.  
 LER OS LIMITES DOS INTERVALOS,AX,QUE SAO ADIMENSIONAIS,PARA SE  
 OBTER ESTES LIMITES EM METROS,BASTA MULTIPLICAR-LOS POR W.

```
READ(INPUT,191)MX,NI
NIM=NI-1
READ(INPUT,192)(AX(I),I=1,NI)
```

LER O NUMERO DE PONTOS NAO IGUALMENTE ESPACADOS,MXT,EM CADA INTER-  
 VALO,NA DIRECAO X.

```
READ(INPUT,191)(MXT(I),I=1,NIM)
IEND=0
```

GERAR AS ABCISSAS XT SOB FORMA DE PONTOS NAO IGUALMENTE ESPACADOS.

```
DO 21 J=1,NIM
  MT=MXT(J)
  ISTT=IEND+1
  IEND=IEND+MT
  D=2*MT
  AS=AX(J+1)+AX(J)
  AD=AX(J+1)-AX(J)
  DO 22 I=ISTT,IEND
    AI=2*(IEND-I)+1
    COARG=AI*3.14159265358979/D
22 XT(I)=(AD*COS(COARG)+AS)/2.
21 CONTINUE
GO TO 2
```

LER AS VERTICAIS ESPECIAIS,SE ISP=1.

```
1 READ(INPUT,191)IEND
  READ(INPUT,192)(XT(I),I=1,IEND)
GO TO 42
```

GERAR AS ABCISSAS EQUIDISTANTES NA DIRECAO X,XE,INCLUINDO OS LIMITES  
 AX(1) E AX(NI).  
 DETERMINAR O NUMERO DE ABCISSAS XE EM CADA INTERVALO,MXE.  
 NOTAR QUE,SE O LIMITE INFERIOR DO I-ESIMO INTERVALO,COINCIDE COM O  
 ULTIMO XE DO INTERVALO ANTERIOR,ESTE LIMITE SERA CONSIDERADO PERTEN-  
 CER AO INTERVALO QUE ELE ESTA INICIANDO.

```
2 MT=1
J=2
MM=MX-1
D=MM
D=(AX(NI)-AX(1))/D
XE(1)=AX(1)
DO 23 I=2,MM
  XE(I)=XE(I-1)+D
  IF(XE(I).LT.(AX(J)-0.001)) GO TO 23
```



MXE(J-1) = I-MT

MT=I

J=J+1

23 CONTINUE

XE(MX)=AX(NI)

MXE(J-1)=MX+1-MT

INICIAR AS DETERMINACOES DAS MATRIZES XMT,XME E R.

IEND=0

JEND=0

IRND=0

DO 41 J=1,NIM

GERAR A MATRIZ XMT A PARTIR DAS ABCISSAS XT E INVERTER XMT, QUE SERA ARMAZENADA NO LUGAR DA MATRIZ INICIAL.

ISTT=IEND+1

IEND=IEND+MXT(J)

CALL MATR (ISTT,IEND,MXT(J),XT,AX(J),XMT)

CALL MINV(XMT,MXT(J),DETER)

GERAR A MATRIZ XME A PARTIR DAS ABCISSAS XE.

JSTT=JEND+1

JEND=JEND+MXE(J)

CALL MATR (JSTT,JEND,MXT(J),XE,AX(J),XME)

MULTIPLICAR O INVERSO DA MATRIZ XMT PELA MATRIZ XME. ARMAZENAR O PRODUTO NA MATRIZ R INICIANDO COM O ELEMENTO R(IRST)

IRST=IRND+1

IRND=IRND+MXT(J)\*MXE(J)

CALL MPRD(XMT,XME,R,MXT(J),MXT(J),MXE(J),1,1,IRST)

41 CONTINUE

NOTAR QUE O VALOR FINAL DE IEND E IGUAL AO NUMERO TOTAL DE VERTICAIS XT.

42 AIEND=IEND

# LER OS DADOS DE UM CASO ESPECIFICO

H - ESPESSURA DA CAMADA DE SOLO COMPRESSIVEL.

RW - RAO DO DRENO.

RWE - RAZAO DO DRENO = RW/(RAIO DE INFLUENCIA,RE).

GLOAD - PESO ESPECIFICO DO SOLO DO ATERRO.

W - COMPRIMENTO DE REFERENCIA NA DIRECAO X.

XDR - DISTANCIA ENTRE O DRENO MAIS AFASTADO E O EIXO DE SIMETRIA.

CLOAD - RESISTENCIA NA DRENADA DO MATERIAL DO ATERRO.

YWM - ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE.

TGPHI - TANGENTE DO ANGULO DE ATRITO DA AREIA DO TAPETE DRENANTE.

OBSERVAR FINALMENTE:

SE H=99. O PROGRAMA CONSIDERARA NOVO CASO.

SE H=0. O PROGRAMA ESTARA TERMINADO.

```
100 READ(INPUT,192)H,RW,RWE,GLOAD,CLOAD,W,XDR,YWM,TGPHI
    IF(H.EQ.0.) CALL EXIT
    IF(H.EQ.99.) GO TO 999
    HH=H
```

DETERMINAR AS CONSTANTES IDC E NDR QUE SERAO USADAS NAS SUBROTINAS DISP E COEF.

IDC=1 SE HOVER SUMENTE FLUXO VERTICAL, EM TODAS AS VERTICAIS XT.

IDC=2 SE HOVER FLUXO VERTICAL+RADIAL EM ALGUMAS OU EM TODAS AS VERTICAIS XT.

NDR SERA O NUMERO DE VERTICAIS XT COM DRENAGEM VERTICAL E RADIAL.

IF(RWE.EQ.0.) GO TO 43

IF((XT(1)\*W).LE.XDR) GO TO 44

43 IDC=1

NDR=0

GO TO 45

44 IDC=2

IF(IEND.LT.2) GO TO 512

DO 46 I=2,IEND

```

IF((XT(I)*W).LE.XDR) GO TO 46
NDR=1-1
GO TO 45
46 CONTINUE
512 NDR=IEND

```

DETERMINAR OS INCREMENTOS NA DIRECAO VERTICAL DY,E NA RADIAL,DR.

```

45 DY=MYE-1
DY=H/DY
DYSQ=DY*DY

```

LER OS IDENTIFICADORES DE DRENAGEM,IBCV E IBCR :

```

IBCV=1 -DRENAGEM IMPEDIDA EM Y=H.
IBCV=2 -DRENAGEM LIVRE EM Y=H.
IBCV=3 -DRENAGEM NULA EM Y=H.
IBCR=4 -DRENAGEM IMPEDIDA("SMEAR") NA SUPERFICIE DO DRENO.
IBCR=5 -DRENAGEM LIVRE NA SUPERFICIE DO DRENO.

```

LER A LOCALIZACAO DA INTERFACE NO SUBSOLO("LAYER").CASO HAJA DUPLA CAMADA,"LAYER" SEJA MAIOR QUE 3 E MENOR QUE MYE-3, SENAO "LAYER"=0.

```

READ(INPUT,191)IBCV,IBCR,LAYER
N=MRE-1
M=MYE-2
IF(IBCV.EQ.3)M=MYE-1
IF(IBCV.EQ.2)FIMPV=0.
IF(IBCV.NE.1)GO TO 4

```

LER A ESPESSURA DA CAMADA DE DIFICIL DRENAGEM,HI,LOCALIZADA SOB A CAMADA COMPRESSIVEL,E,A RAZAO,ENTRE PERMEABILIDADES,RKV=K(SOLO MOLE)/K(CAMADA DE DIFICIL DRENAGEM), AMBAS NA VERTICAL.

```

READ(INPUT,192)HI,RKV
CHIV=RKV*HI/DY
FIMPV=CHIV/(1.+CHIV)
4 IF(RWE.EQ.0.)GO TO 7
RE=RW/RWE
AI=MRE-1
FIMPR=0.
RO=RW
QO=SQRT(RO)
QE=SQRT(RE)
DQ=(QE-QO)/AI
IF(IBCR.NE.4)GO TO 5

```

LER RSW=RAIO DO SMEAR/RAIO DO DRENO,E,A RAZAO,ENTRE PERMEABILIDADES RKR=K(SOLO MOLE)/K(ZONA DO SMEAR), AMBAS RADIAIS.

```

READ(INPUT,192)RSW,RKR
RO=RW*RSW
QO=SQRT(RO)
DQ=(QE-QO)/AI
CHIR=RKR*QO*ALOG(RSW)/(2.*DQ)
FIMPR=CHIR/(1.+CHIR)
5 DQSQ=DQ*DQ

```

TESTAR A PRESENCA DA CAMADA DE INTERFACE. CASO ELA EXISTA,LER AS RELACOES ABAIXO :

```

RK -K(CAMADA INFERIOR)/K(CAMADA SUPERIOR).
RC -CV(CAMADA INFERIOR)/CV(CAMADA SUPERIOR).
REO -EO(CAMADA INFERIOR)/EO(CAMADA SUPERIOR).
RAV -AVO(CAMADA INFERIOR)/AVO(CAMADA SUPERIOR).
RCC -CC(CAMADA INFERIOR)/CC(CAMADA SUPERIOR).
ROCL -CC(RECOMPRESSAO,CAMADA INFERIOR)/CC(CAMADA SUPERIOR).

```

```

7 IF (LAYER.LT.3) GO TO 6
READ(INPUT,192)RK,RC,REO,RAV,RCC,ROCL
IF(LAYER.GT.(MYE-3)) LAYER=0

```

LER OS IDENTIFICADORES PARA A CAMADA DE SOLO COMPRESSIVEL :

```

IVAR -IDENTIFICADOR DOS PARAMETROS DO SOLO.
      IVAR=0 PARAMETROS CONSTANTES NO PROCESSO DE ADENSAMENTO;
      IVAR=1 PARAMETROS VARIAVEIS NO PROCESSO DE ADENSAMENTO.
ISAT -IDENTIFICADOR DO GRAU DE SATURACAO.
      ISAT=0 SATURACAO TOTAL;
      ISAT=1 SATURACAO PARCIAL.
IAV -IDENTIFICADOR DO COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE.
      IAV=0 COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE CONSTANTE;
      IAV=1 COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE VARIAVEL.
ICV -IDENTIFICADOR DO COEFICIENTE DE ADENSAMENTO.

```

ICV=0 COEFICIENTES DE ADENSAMENTO SERAO CALCULADOS ;  
 ICV=7 VALORES VARIÁVEIS DE CV E CR SERAO LIDOS.  
 IK -IDENTIFICADOR DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE;  
 IK=0 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE CONSTANTE;  
 IK=1 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE VARIÁVEL.

LER OS PARAMETROS DE ADENSAMENTO DA CAMADA DE SOLO COMPRESSIVEL, HAVENDO DUPLA CAMADA ESTES PARAMETROS PERTENCERAO A CAMADA SUPERIOR :

EO -INDICE DE VAZIOS INICIAL.  
 KVD -COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE VERTICAL, INICIAL.  
 KRU -COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE RADIAL, INICIAL.  
 AVO -COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE, INICIAL.  
 ASKPTN E  
 BSKPTN -COEFICIENTE DE SKEMPTON PARA PRESSAO NEUTRA.  
 CC -INDICE DE COMPRESSIBILIDADE.  
 ROC -(INDICE RECOMPRESSAO)/CC, NO CASO DE PRE-ADENSAMENTO.  
 GAMMA -PESO ESPECIFICO SUBMERSO DA CAMADA COMPRESSIVEL.  
 P -PRESSAO EFETIVA INICIAL, DE COBRIMENTO.  
 PC -PRESSAO DE PRE-COMPRESSAO.  
 CV -COEFICIENTE DE ADENSAMENTO, PARA DRENAGEM VERTICAL.  
 CR -COEFICIENTE DE ADENSAMENTO, PARA DRENAGEM RADIAL.  
 S -GRAU DE SATURACAO.  
 PU -PRESSAO NEUTRA INICIAL DO GAS NOS POROS.  
 SKV -COEFICIENTE ANGULAR DA CURVA E VERSUS  $K(\log)$ , VERTICAL.  
 SKR -COEFICIENTE ANGULAR DA CURVA E VERSUS  $K(\log)$ , RADIAL.

```
6 READ(INPUT,191) IVAR,IAV,ICV
IF(ICV.NE.0)IVAR=1
READ(INPUT,192) EO,ASKPTN
ALPHA=1.
BSKPTN=1.
IF(IAV.EQ.1)GU TO 350
READ(INPUT,193)AVO
GO TO 563
```

LER CC, ROC E GAMMA.  
 SE GAMMA NAO FUR ZERO, AS TENSOES EFETIVAS INICIAIS, P, SERAO CALCULADAS PARA CADA PROFUNDIDADE YE.  
 SE GAMMA = 0., AS TENSOES EFETIVAS INICIAIS E AS DE PRE-COMPRESSAO SERAO LIDAS COMO DADOS DE ENTRADA.

```
350 READ(INPUT,192)CC,ROC,GAMMA
IF(GAMMA.EQ.0.)GU TO 561
```

CALCULAR AS TENSOES EFETIVAS INICIAIS.  
 AS TENSOES MEDIAS SERAO REPRESENTADAS POR PO E PCO.

```
AD=DY*GAMMA
P(1)=AD
PC(1)=AD
PLOG(1)=0.
PO=GAMMA*H/2.
PCO=PO
AI=0.
DO 565 I=2,MYL
AI=AI+AD
P(I)=AI
PC(I)=AI
PLOG(I)=0.
565 CONTINUE
GO TO 563
```

LER AS TENSOES EFETIVAS INICIAIS E AS DE PRE-COMPRESSAO.

```
561 READ(INPUT,192)P(1),PC(1)
PO=SV(1)*P(1)
PCO=SV(1)*PC(1)
DO 562 I=2,MYL
READ(INPUT,192)P(I),PC(I)
PO=PO+SV(I)*P(I)
PCO=PCO+SV(I)*PC(I)
PLOG(I)=ALOG(PC(I)/P(I))
562 CONTINUE
IF(P(1).EQ.0.)P(1)=P(2)
IF(PC(1).EQ.0.)PC(1)=PC(2)
PLOG(1)=ALOG(PC(1)/P(1))
```

LER OS PARAMETROS CV, CR E AVO SE IVAR=0.  
 LER OS PARAMETROS DE ADENSAMENTO NECESSARIOS, SE IVAR=1.

```

563 IF(IVAR.EQ.1)GO TO 564
  READ(INPUT,193)CV,CR
  GO TO 30
564 IF(ICV.EQ.0)GO TO 572
  DO 573 I=1,ICV
573 READ(INPUT,193)PCV(I),CVIN(I),PCR(I),CRIN(I)
  GO TO 574
572 READ(INPUT,193)KVO,KRO
574 IF(IAV.EQ.1)GO TO 566
  AVOC=AVO
  PO=0.
  PCO=0.
566 READ(INPUT,191)ISAT,IK
  IF(ISAT.EQ.0)GO TO 567
  READ(INPUT,192)S,PU,HC,BSKPTN
SET PAGE

```

CONSIDERAR SATURACAO PARCIAL SE ISAT=1. ENTAO CALCULAR:  
 $PU = PATM. + GAMAGUA * H / 2.$  (TON/M2) ,ONDE GAMAGUA=1.0 E  $PATM.=10.333$  .

```

  IF(PU.EQ.0.) PU=10.333+1.0*H/2.
  EOPUS=EO*PU*(1.-S*(1.-HC))
567 IF(IK.EQ.1)READ(INPUT,192)SKV,SKR
  30 CONTINUE

```

LER AS NC RESISTENCIAS INICIAIS CO E AS RAZOES C/P,CP,NAS PROFUN-  
 DIDADES ARBITRARIAS Y,  
 SE NC.EQ.MYE,AS PROFUNDIDADES SERAO ASSUMIDAS IGUAIS A H\*YE,  
 SE NC.NE.MYE,OS VALORES CO E CP NAS PROFUNDIDADES H\*YE SERAO  
 OBTIDOS POR INTERPOLACAO. NESTE CASO OS VALORES LIDOS SERAO DESTRUINDOS

```

  IF(ISP.EQ.1) GO TO 585
  READ(INPUT,191) NC
  DO 580 I=1,NC
  READ(INPUT,192) Y,UA(I),UB(I)
580 YRP(I)=Y/H
  IF(NC.EQ.MYE) GO TO 581
  CALL LAGR(YE,CO,MYE,1,YRP,UA,NC)
  CALL LAGR(YE,CP,MYE,1,YRP,UB,NC)
  GO TO 582
581 DO 583 I=1,MYE
  CO(I)=UA(I)
583 CP(I)=UB(I)

```

DEFINIR OS VETORES XSTAB E YSTAB NECESSARIOS NA ANAL.DA ESTABIL.

```

582 DO 584 I=1,MX
584 XSTAB(I) = W * XE(I)
  DX=XSTAB(2)-XSTAB(1)
  DO 586 I=1,MYE
586 YSTAB(I)=H*YE(I)
585 CONTINUE

```

LISTAR OS DADOS LIDOS E OS VALORES CALCULADOS ATE AGORA.

```

  WRITE(IOUTP,901)
  WRITE(IOUTP,1000)
  WRITE(IOUTP,1001)
  WRITE(IOUTP,1002)
  WRITE(IOUTP,901)
  WRITE(IOUTP,900)
  IF(ISP.EQ.1) WRITE(IOUTP,800)
  WRITE(IOUTP,903)
  WRITE(IOUTP,900)
  WRITE(IOUTP,904)
  WRITE(IOUTP,905)(YE(I),I=1,MYE)
  WRITE(IOUTP,801)
  WRITE(IOUTP,806)
  WRITE(IOUTP,906)(XT(I),I=1,IEND)
  WRITE(IOUTP,801)
  IF(ISP.EQ.1)GO TO 52
  WRITE(IOUTP,902)
  WRITE(IOUTP,908)
  WRITE(IOUTP,808)(XE(I),I=1,MX)
  WRITE(IOUTP,909)
  DO 51 I=1,NIM
  MM=MXT(I)-1
51 WRITE(IOUTP,910)MM,AX(I),AX(I+1)
  WRITE(IOUTP,801)
52 IF(RWE.EQ.0.)GO TO 53

```

```

DO 70 I=1,MRE
AI=I-1
AI=QO+AI*DQ
UA(I)=AI*AI
70 CONTINUE
WRITE(IOUTP,911)
WRITE(IOUTP,912)(UA(I),I=1,MRE)
53 WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,913)
WRITE(IOUTP,914)H,W
WRITE(IOUTP,902)
IF(LAYER,LT,3)GO TO 54
AI=YE(LAYER)*H
WRITE(IOUTP,915)AI,RK,RC,REO
IF(IAV.EQ.0) GO TO 551
WRITE(IOUTP,715)RCC,ROCL
GO TO 552
551 WRITE(IOUTP,815)RAV
552 WRITE(IOUTP,902)
54 WRITE(IOUTP,816) ASKPTN,BSKPTN
IF(BSKPTN.EQ.1.) GO TO 55
WRITE(IOUTP,917)S,HC,PU
SET PAGE
WRITE(IOUTP,902)
55 WRITE(IOUTP,918)EO
IF(IAV.EQ.1)GO TO 553
WRITE(IOUTP,818)AVO
GO TO 554
553 WRITE(IOUTP,919)CC,ROC
WRITE(IOUTP,819)
DO 555 I=1,MYE
AI=YE(I)*H
WRITE(IOUTP,719)AI,P(I),PC(I)
555 CONTINUE
WRITE(IOUTP,619)
WRITE(IOUTP,901)
554 IF(IVAR.EQ.1)GO TO 556
WRITE(IOUTP,934)CV,CR
GO TO 57
556 IF(ICV.EQ.0)GO TO 575
WRITE(IOUTP,820)
DO 576 I=1,ICV
576 WRITE(IOUTP,720)PCV(I),CVIN(I),PCR(I),CRIN(I)
GO TO 57
575 WRITE(IOUTP,920)KVO,KRO
IF(IK.EQ.1)WRITE(IOUTP,921)SKV,SKR
57 WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,922)
IF(RWE.EQ.0)GO TO 60
WRITE(IOUTP,923)RW,RWE,RE
WRITE(IOUTP,902)
IF(BCR.EQ.5)GO TO 59
WRITE(IOUTP,924)RSW,RKR
GO TO 60
59 WRITE(IOUTP,925)
60 IF(BCV.NE.1)GO TO 61
WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,926)HI,RKV
GO TO 64
61 IF(BCV.EQ.3)GO TO 63
WRITE(IOUTP,927)
GO TO 64
63 WRITE(IOUTP,928)
64 WRITE(IOUTP,929)XDR
WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,901)
IF(ISP.EQ.1) GO TO 587
WRITE(IOUTP,901)
DO 588 I=1,MYE
588 WRITE(IOUTP,902) YSTAB(I),CO(I),CP(I)
587 WRITE(IOUTP,901)

```

GERAR AS MOLECULAS MATEMATICAS NA DIRECAO RADIAL,SR, PARA A REGRA DO TRAPEZIO OU DE SIMPSON.  
 CALCULAR AS MOLECULAS MODIFICADAS NA DIRECAO RADIAL,SRM,E NA VERTICAL,SVM.  
 REDEFINIR ROCL=INDICE DE RECOMPRESSAO DA CAMADA INFERIOR DIVIDIDO PELO INDICE DE COMPRESSAO DA CAMADA INFERIOR.  
 DEFINIR OS PARAMETROS KKK,KIAY,NNN,FUP,FLO,SKVM,SKRM,CCC,AAV,AAR E ICDEF QUE SERAO NECESSARIOS NAS SUBROTINAS SETL E COEF.

REDEFINIR OS PARAMETROS PCV,PCR,CVIN E CRIN SE ICV.NE.0.

```

AI=1.+EO
AAV=AI/(1.0 * DYSQ)
IF(RWE.EQ.0.) GO TO 521
AAR=AI/(1.0 * 4.*DQSQ)
WD=QD/QE
DEL=DQ/QE
CALL GENS(SR,MRE,1,WD,DEL)
SRM(1)=SR(2)+FIMPR*SR(1)
DO 88 I=3,MRE
88 SRM(I-1)=SR(I)
521 KKK=MYE
KIAV=IAV+1
NNN=NDR
AD=H
IF(LAYER.GE.3) GO TO 524
DO 523 I=1,MYE
523 SVM(I)=SV(I)
GO TO 522
524 KKK=LAYER
CALL GENS(SVM,KKK,0,0.0,0.0)
MM=MYE-LAYER+1
CALL GENS(UA,MM,0,0.0,0.0)
II=LAYER
DO 525 I=1,MM
II=II+1
525 SVM(II)=UA(I)
AS=1.+EO*RED
IF(RCC.NE.0) RUCL=ROCL/RCC
AD=H+YE(LAYER)
522 ICUEF=1
IF(1K.EQ.1) ICUEF=2+IAV
IF(ICV.EQ.0) GO TO 530
ICUEF=4
DO 529 I=1,ICV
PCV(I)=ALOG(PCV(I))
CVIN(I)=CVIN(I)/DYSQ
IF(NDR.EQ.0) GO TO 529
PCR(I)=ALOG(PCR(I))
CRIN(I)=CRIN(I)/(4.*DQSQ)
529 CONTINUE
530 IF(IAV.EQ.1) GO TO 527

```

CALCULAR OS PARAMETROS FUP E FLO SE IAV=0.

```

FUP=AD*AVO/AI
IF(LAYER.GE.3) FLU=(H-AD)*AVO*RAV/AS
IF(1K.EQ.0) GO TO 520
SKVM=2.302585*AVU/SKV
IF(NDR.EQ.0) GO TO 520
SKRM=2.302585*AVU/SKR
GO TO 520

```

CALCULAR OS PARAMETROS FUP E FLO SE IAV=1.

```

527 CCC=0.4342945*CC
AVOC=CCC/PCD
IF(PCD.GT.PD) AVOC=AVOC*(PCD/PD)**ROC
FUP=AD*CCC/AI
IF(LAYER.GE.3) FLO=(H-AD)*CCC*RCC/AS
IF(1K.EQ.0) GO TO 520
SKVM=CC/SKV
IF(NDR.NE.0) SKRM=CC/SKR

```

\*\*\*\*\* CARGA DE REFERENCIA \*\*\*\*\*

CARGA DE REFERENCIA SERA A CARGA FINAL QUE ATUARA SOBRE O MACICO DE SOLO COMPRESSIVEL.  
LER AS CARACTERISTICAS DA CARGA DE REFERENCIA :

- XINP E
- YINP -COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREG.
- MINP -NUMERO DE PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO.
- NS -NUMERO DE FAIXAS, DE CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA, QUE A CARGA REAL SERA APROXIMADA.

```

520 READ(INPUT,191)MINP,NS
WRITE(1OUTP,935)
WRITE(1OUTP,930)GLOAD,CLOAD,YWM,TGPHI
DO 101 I=1,MINP

```

```

101 READ(INPUT,194) XINP(I),YINP(I)
    WRITE(IOUTP,931)XINP(I),YINP(I)
    WRITE(IOUTP,916) ASKPTN,BSKPTN

```

CALCULAR AS PRESSUES NEUTRAS NOS PONTOS QUE COMPOEM A MALHA NO MACIÇO COMPRESSIVEL. ELAS SERVIRAO DE BASE PARA O CALCULO DO GRAU DE ADENSAMENTO.

```
CALL PORE (XINP,YINP,MINP,NS,XT,IEND,YE,MYE,UB,ASKPTN,BSKPTN)
```

CALCULAR A PRESSAO NEUTRA MEDIA,UAVER E OS RECALQUES FINAIS DE ADENSAMENTO,SETRC,OS IMEDIATOS,SETRI,E OS TOTAIS,SETRT.

```

II=0
DO 102 I=1,IEND
  UAVER(I)=0.
  DO 102 J=1,MYE
    II=II+1
    UU(II)=UB(II)
102  UAVER(I)=UAVER(I)+UB(II)*SV(J)
    CALL SETL(UB,SETRC,IEND,KKK,MYE,1.,FUP,FLO,KIAV)
    IF(BSKPTN.NE.1.) GO TO 513
    DO 514 I=1,IEND
      SETRT(I)=SETRC(I)
514  SETRI(I)=0.
      GO TO 515
513  FAC=1./BSKPTN
      CALL SETL(UB,SETRT,IEND,KKK,MYE,FAC,FUP,FLO,KIAV)

```

DEFINIR OS TEMPOS INICIAIS :

TL(1) -TEMPO DE APLICACAO DA PRIMEIRA CARGA.  
 TB(1) -TEMPO,CONTADO A PARTIR DE TL, EM QUE A CARGA COLOCADA PERMANECE INALTERADA.  
 T(1) -TEMPO TOTAL CONTADO A PARTIR DO INICIO DA CONSTRUCAO.

```

515 WRITE(IOUTP,932) IEND
    DO 71 I=1,IEND
      AI=W*XT(I)
      WRITE(IOUTP,933)AI,UAVER(I),SETRC(I),SETRT(I)
71  CONTINUE
    ISUM=MYE*IEND
    LIFT=1
    LL=LIFT+1
    ITB=1
    IT=1
    TL(1)=0.
    TB(1)=0.
    T(1)=0.

```

LER O NUMERO DE VEZES,NL,QUE A CARGA SOBRE O ATERRO PODERA SER ALTERADA, A FIM DE SER OBTIDA A CARGA DE REFERENCIA. LER TAMBEM, O IDENTIFICADOR IDEN, OBSERVANDO QUE :

SE IDEN(1).LT.0,AS PRESSOES NEUTRAS,DEVIDO A PRIMEIRA CARGA,SERAO NULAS.

SE IDEN(1).EQ.0. AS PRESSOES NEUTRAS DEVIDO A I-ESIMA CARGA,SERAO CALCULADAS POR MEIO DA SUBROTINA PORE.

SE IDEN(1).EQ.1,AS PRESSOES NEUTRAS,DEVIDO A I-ESIMA CARGA,SERAO IGUALADAS AQUELAS DEVIDO A CARGA DE REFERENCIA.

```

READ(INPUT,191) NL,(IDEN(I),I=1,NL)
NLS=NL
NLRO=NL
WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,936) NL
WRITE(IOUTP,902)
IF(ISP.EQ.0) GO TO 103
READ(INPUT,192) (TL(I),I=1,NL)
WRITE(IOUTP,937)
DO 106 I=1,NL
106 WRITE(IOUTP,938)I,TL(I)
    WRITE(IOUTP,902)
    T(1)=TL(1)+TB(1)
    GO TO 105

```

\* \*\*\*\*\* PRIMEIRA CARGA \*\*\*\*\*

E O PRIMEIRO PASSO PARA SE OBTER A CARGA DE REFERENCIA SOBRE O ATERRO.

LER OS PARAMETROS A SEREM USADOS NA ANALISE DA ESTABILIDADE :

TA -TEMPO AVALIADO DE CONSTRUCAO;

SPECS - RECALQUE ESPECIFICADO PARA ESTA PRIMEIRA CARGA;  
 SPECU - PERCENTAGEM DO NUMERO TOTAL DE VERTICAIS, NAS QUAIS, A PRESSAO NEUTRA MEDIA NAO DISSIPADA DEVERA SER MENOR DO QUE 5% DA PRESSAO NEUTRA MEDIA TOTAL, PARA QUE AS CARGAS SUBSEQUENTES SEJAM DESCONSIDERADAS;  
 FSI - FATOR DE SEGURANCA PARA ESTA PRIMEIRA CARGA;  
 DMAX - MAXIMU INTERVALO USADO NA PROCURA DO MINIMO FATOR DE SEGUR;  
 DMIN - MINIMU INTERVALO CORRESPONDENTE;  
 ZZ - MAXIMU YINP MENOS O MINIMO YC PERMISSIVEL;  
 NARC - METADE DO NUMERO DE SUBARCOS USADOS NA SUBROTINA DETFS;  
 NRAD - NUMERU DE RAIDS-TESTE USADOS PARA CADA CENTRO (XC,YC);  
 IAB - IDENTIFICADOR DOS PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA.  
 IAB=0 USAR ASKPTN E BSKPTN COMO DEFINIDOS ANTERIORMENTE;  
 IAB.NE.0 LER OS NOVOS VALORES DE ASKPTN E BSKPTN.

103 READ(INPUT,192)FSI,SPECS(1),SPECU(1),TA,DMAX,DMIN,XC,YC,ZZ  
 READ(INPUT,191)NARC,NRAD  
 IF(DMAX.GT.DMIN) GO TO 401  
 DMAX= H/2.  
 DMIN= H/20.

401 WRITE(IOUTP,940) TA  
 WRITE(IOUTP,940) NARC,NRAD,DMAX,DMIN  
 105 READ (INPUT,191) MINP,NS,IAB

LER OS PONTOS QUE DEFINEM ESTA PRIMEIRA CARGA.

DO 506 I=1,MINP  
 506 READ(INPUT,192)XINP(I),YINP(I)  
 IF(IAB.NE.0) READ(INPUT,192) ASKPTN,BSKPTN  
 IF(ISP.EQ.1) GO TO 107

CHAMAR AS SUBROTINAS PARA A ANALISE DA ESTABILIDADE.

CALL INIT (XINP,YINP,MINP,XC,YC,YY,ZZ,DMIN)  
 CALL GAIN (UA,R,SU,MYE,MXT,MXE,MX,NIM,CO,CP,1)  
 CALL STAB (XC,YC,RR,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FS,DMAX,DMIN,YY)  
 DO 570 I=1,ISUM  
 570 UA(I)=0.  
 WRITE(IOUTP,940)  
 WRITE(IOUTP,942) T(IT),LIFT,FS,FSI,XC,YC,RR  
 IF(FS.GE.FSI) GO TO 107  
 WRITE(IOUTP,943)

TERMINAR O PROGRAMA, SE O FATOR DE SEGURANCA DESTA PRIMEIRA CARGA NAO FOI ALCANCADO NO TEMPO TA.

CALL EXIT  
 107 WRITE(IOUTP,902)

\*\*\*\*\* PRESSAO NEUTRA RESIDUAL \*\*\*\*\*

E A PRESSAO NEUTRA EXISTENTE ANTES DA APLICACAO DA PRIMEIRA CARGA. AS PRESSOES NEUTRAS RESIDUAIS DAS CARGAS APLICADAS, SERAO AUTOMATICAMENTE LEVADAS EM CONSIDERACAO, QUANDO DA APLIC. DAS CARGAS SEGUINTE. LER O IDENTIFICADOR, IRP, DA PRESSAO NEUTRA RESIDUAL:  
 IRP=0 -NAO HA PRESSAO NEUTRA RESIDUAL.  
 IRP=1 -PRESSAO NEUTRA RESIDUAL SERA LIDA NOS PONTOS (XT,YE).  
 IRP=2 -PRESSAO NEUTRA RESIDUAL SERA LIDA EM PONTOS ARBITRARIOS.

READ(INPUT,191)IRP  
 IF(IRP=1)109,110,111

NAO EXISTE PRESSAO NEUTRA RESIDUAL.

109 DO 112 J=1,ISUM  
 112 UC(J)=0.  
 GO TO 108

PRESSAO NEUTRA RESIDUAL EM PONTOS (XT,YE).

110 READ(INPUT,192)(UC(I),I=1,ISUM)  
 WRITE(IOUTP,944)(YE(J),J=1,MYE)  
 II=1-MYE  
 IJ=0  
 DO 113 I=1,IEND  
 II=II+MYE  
 IJ=IJ+MYE  
 113 WRITE(IOUTP,945)I,XT(I),(UC(J),J=II,IJ)  
 WRITE(IOUTP,902)  
 GO TO 108



PRESSAO NEUTRA RESIDUAL EM PONTOS ARBITRARIOS, A RESPECTIVA PRESSAO NOS PONTOS (XT, YE) DA MALHA, SERA OBTIDA POR INTERPOLACAO DE LAGRANGE.

```

111 WRITE(IOUTP,946)
    I=1
    J=1
    READ(INPUT,192)X,Y,UA(1),COUNT
    WRITE(IOUTP,947)X,Y,UA(1)
    XRP(1)=X/W
    YRP(1)=Y/H
    IF(COUNT.EQ.0.)GO TO 115
    DO 114 J=1,ISUM
114 UC(J)=UA(I)
    GO TO 108
115 READ(INPUT,192)X,Y,U,COUNT
    WRITE(IOUTP,947)X,Y,U
    X=X/W
    Y=Y/H
    IF(X.EQ.XRP(I)) GO TO 116
    IJ=(I-1)*MYE+1
    CALL LAGR(YE,UC,MYE,IJ,YRP,UA,J)
    I=I+1
    XRP(I)=X
    J=0
116 J=J+1
    YRP(J)=Y
    UA(J)=U
    IF(COUNT.EQ.0.) GO TO 115
    IJ=(I-1)*MYE+1
    CALL LAGR(YE,UC,MYE,IJ,YRP,UA,J)
    IJ=I-IEND
    DO 117 JJ=1,MYE
    II=JJ-MYE
    IJ=IJ+IEND
    DO 118 J=1,I
    II=II+MYE
118 UA(J)=UC(II)
117 CALL LAGR(XT,UD,IEND,IJ,XRP,UA,I)
    IJ=0
    DO 119 JJ=1,IEND
    II=JJ-IEND
    DO 119 J=1,MYE
    IJ=IJ+1
    II=II+IEND
    UC(IJ)=UD(II)
119 CONTINUE

```

ESCREVER AS CARACTERISTICAS DESTA PRIMEIRA CARGA E CALCULAR AS PRESSOES NEUTRAS MEDIAS PELA SUBROTINA PORE.

```

108 REWIND 1
    WRITE(IOUTP,901)
    WRITE(IOUTP,939) LIFT,TL(LIFT)
    WRITE(IOUTP,930)GLOAD,CLOAD,YWM,TGPHI
    DO 120 I=1,MINP
120 WRITE(IOUTP,931) XINP(I),YINP(I)
    WRITE(IOUTP,916) ASKPTN,BSKPTN
    WRITE(IOUTP,902)
    IF(IDEN(1)) 73,74,516
    74 IDEN(1)=MINP
    73 CALL PORE (XINP,YINP,IDEN(1),NS,XT,IEND,YE,MYE,UB,ASKPTN,BSKPTN)
    WRITE(IOUTP,902)
516 IF(ISP.EQ.1) GO TO 510
    WRITE(IOUTP,941) FSI,SPECS(LIFT),SPECU(LIFT),IEND
    WRITE(IOUTP,900)
    WRITE(IOUTP,942) T(IT),LIFT,FS,FSI,XC,YC,RR

```

CALCULAR OS RECALQUES IMEDIATOS,SETI, SE B.NE.1.  
 NOTAR QUE,SE IKP=0 A PRESSAO NEUTRA MEDIA,UAVED, SERA CALCULADA A PARTIR DE UB; CASO CONTRARIO, A PARTIR DE UB+UC .

```

510 IF(BSKPTN.NE.1.) GO TO 402
    DO 403 I=1,IEND
403 SETI(I)=0.
    GO TO 405
402 CALL SETL (UB,SETC,IEND,KKK,MYE,1.,FUP,FLO,KIAV)
    AI=1./BSKPTN
    CALL SETL(UB,SETT,IEND,KKK,MYE,AI,FUP,FLO,KIAV)
    DO 404 I=1,IEND

```

```

404 SETI(I)=SETT(I)-SETC(I)
405 II=0
DO 121 I=1,IEND
SETC(I)=0.
SETT(I)=SETI(I)
UAVE(I)=0.
UAVED(I)=0.
UAVEM(I)=0.
WRITE(1) SETI(I),SETC(I),SETT(I),UAVE(I)
DO 122 J=1,MYE
II=II+1
UD(II)=UB(II)+UC(II)
UAVED(I)=UAVED(I)+UD(II)*SV(J)
UM(II)=UB(II)/BSKPTN+UC(II)
UAVEM(I)=UAVEM(I)+UM(II)*SV(J)
UC(II)=UB(II)
122 UB(II)=UD(II)
121 CONTINUE

```

CALCULAR OS PARAMETROS PHI E OMEGA QUE SERAO USADOS NA SUBROT.DISP.

```

IF(IVAR.NE.0.)GO TO 124
PHI(1)=CV/DYSW
OMEGA(1)=0.
IF(CRWE.NE.0.)OMEGA(1)=CR/(4.*DQSQ)
GO TO 123
124 KOUNT=1
CALL COEF(UAVEM,UAVED,OMEGA,PHI,1,OMED,PHID,IEND)
KOUNT=0

```

INICIAR O PROCESSO DE ADENSAMENTO.

```

123 IF (ISP.EQ.1) WRITE(IDUTP,901)
CALL DISP(UB,5,OMEGA,PHI,0.,UAVE,1,MYE,IEND,XT,SV,SR)

```

\*\*\*\*\* SEGUNDA CARGA OU CARGA SEGUINTE \*\*\*\*\*

E D SEGUNDO OU O PROXIMO PASSO, A FIM DE SE OBTER A CARGA DE REFERENCIA SOBRE O ATERRO.

LER AS CARACTERISTICAS DESTA CARGA :

MINP -NUMERO DE PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO.

NS -NUMERO DE FAIXAS, DE CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA, QUE A CARGA SERA APROXIMADA.

IAB -IDENTIFICADOR DOS PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA.

XINP E

YINP -COORDENADAS DOS PONTOS DO POLIGONO DE CARREGAMENTO.

DEFINIR O INDICADOR IAB=ISP.

IAB=0 -FAZER A ANALISE DA ESTABILIDADE;

IAB=1 -NÃO FAZER A REFERIDA ANALISE.

LER OS PARAMETROS USADOS NA ANALISE DA ESTABILIDADE :

FSI -FATOR DE SEGURANCA MINIMO.

SPECS -PERCENTAGEM ESPECIFICADA DO RECALQUE A SER ATINGIDA.

SPECU -PERCENTAGEM DO NUMERO TOTAL DE VERTICAIS, NAS QUAIS, O GRAU DE ADENSAMENTO DEVERA SER SUPERIOR A 95%.

TMIN -TEMPO MINIMO DECORRIDO, CONTADO A PARTIR DA APLICACAO DA CARGA, PARA QUE A PRIMEIRA ANALISE DA ESTABILIDADE SEJA EFETUADA.

XC,YC -COORDENADAS DO CENTRO DO PRIMEIRO ARCO TESTE.

ZZ -O MAXIMO YINP MENOS O MINIMO YC PERMISSIVEL.

OBSERVAR QUE :

LIFT -REPRESENTA A CARGA ATUAL ; E

LL -REPRESENTA A CARGA SEGUINTE .

```

128 IF(LL.GT.NL) GO TO 129
READ(INPUT,191)MINP,NS,IAB
DO 130 I=1,MINP
130 READ(INPUT,192) XINP(I),YINP(I)
IF(IAB.NE.0) READ(INPUT,192) ASKPTN,BSKPTN
IAB=ISP
IF(ISP.EQ.1) GO TO 518
READ(INPUT,192) FSI,SPECS(LL),SPECU(LL),TMIN,XC,YC,ZZ
CALL INIT(XINP,YINP,MINP,XC,YC,YY,ZZ,DMIN)
GO TO 129
518 TSTEP=TL(LL)-TL(LIFT)
129 ITB=ITB+1
IF(ITB.GT.ITBL) GO TO 200

```

VARIAR OS TEMPOS NO PROCESSO DE ADENSAMENTO, E CALCULAR OS PARAMETROS VARIAVEIS DO SOLO COMPRESSIVEL.

```

TD=TB(ITB)
IT=IT+1
IF(ISP.EQ.0) GO TO 131
IF(LL.GT.NL) GO TO 131
IF(TSTEP.LT.TD) TD=TSTEP
131 T(IT)=TL(LIFT)+TD
CALL DISP(UB,2,OMEGA,PHI,TD,UAVE,LIFT,MYE,IEND,XT,SV,SR)

O VETOR UB CONTEM AS PRESSOES NEUTRAS NO TEMPO T(IT).
O VETOR UAVE CONTEM AS PRESSOES NEUTRAS MEDIAS CALCULADAS DE UB.
O VETOR UA CONTEM AS PRESSOES NEUTRAS DISSIPADAS ATE O TEMPO T(IT).

IF(IVAR.EQ.0) GO TO 232
CALL COEF(UAVLM,UAVE,OMEGA,PHI,3,OMED,PHID,IEND)
CALL DISP(UB,3,OMED,PHID,TD,UAVE,LIFT,MYE,IEND,XT,SV,SR)
232 IF(LL.GT.NL) GO TO 133
IF(ISTAB.EQ.1) GO TO 133
IF(TD.LT.TMIN) GO TO 133
DO 72 J=1,ISUM
UA(J)=UM(J)-UB(J)
72 CONTINUE
CALL GAIN(UA,K,SU,MYE,MXT,MXE,MX,NIM,CO,CP,0)
CALL STAB(XC,YC,KR,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FS,DMAX,DMIN,YY)
IF(FS.LT.FSI) GO TO 75
ISTAB=1
75 WRITE(IOUTP,942) T(IT),LL,FS,FSI,XC,YC,RR

CALCULAR OS RECALQUES E OS GRAUS DE ADENSAMENTO.
CONTAR O NUMERO DE VERTICAIS QUE POSSUEM O GRAU DE ADENSAMENTO
MAIOR QUE 95%.

133 UCHEK=0.
DO 132 J=1,ISUM
UA(J)=UD(J)-UB(J)
132 CONTINUE
CALL SETL(UA,SETC,IEND,KKK,MYE,1.,FUP,FLO,KIAV)
DO 134 I=1,IEND
SETI(I)=SETI(I)+SETC(I)
IF(UAVE(I).LT.0.05*UAVED(I)) UCHEK=UCHEK+1.
UAVE(I)=(UAVED(I)-UAVE(I))/UAVER(I)
WRITE(I) SETI(I),SETC(I),SETT(I),UAVE(I)
134 CONTINUE

FAZER OS SEGUINTE TESTES :
SE A FRACAO ESPECIFICADA DO RECALQUE JA OCORREU,PASSAR PARA A
CARGA SEGUINTE.
SE O TEMPO AVALIADO DE CONSTRUCAO JA SE PASSOU, CONSIDERAR ESSA
CARGA COMO SENDO A ULTIMA.
SE O GRAU DE ADENSAMENTO FOR SUFICIENTE PARA UM NUMERO DE VERTI-
CAIS MAIOR OU IGUAL A SPECU*IEND, O PROCESSO DE ADENSAMENTO
TERMINARA.

IF(LIFT.EQ.NL) GO TO 129
IF(ISP.EQ.0) GO TO 135
IF(TD-TSTEP)129,137,129
135 IF(ISTAB.EQ.0) GO TO 138
IF(SETC(1).GT.SPECS(LIFT)*SETRC(1)) GO TO 137
138 IF(T(IT).GT.TA) GO TO 137
IF(UCHEK.LT.AIEND*SPECU(LIFT)) GO TO 129
NL=LIFT
III=UCHEK+0.1
WRITE(IOUTP,948) III,IEND,TL(LIFT),LIFT
GO TO 129
139 NL=LIFT
WRITE(IOUTP,949) T(IT),TA,FS,SETC(1),LIFT
GO TO 129
137 LIFT=LL
LL=LIFT+1
ITB=1
TL(LIFT)=T(IT)
IT=IT+1
T(IT)=TL(LIFT)
WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,900)
WRITE(IOUTP,939) LIFT,TL(LIFT)
WRITE(IOUTP,930) GLOAD,CLOAD,YWM,TGPHI
DO 140 I=1,MINP
140 WRITE(IOUTP,931) XINP(I),YINP(I)
WRITE(IOUTP,916)ASKPTN,BSKPTN
WRITE(IOUTP,902)

```

CALCULAR AS PRESSOES NEUTRAS DEVIDO A COLOCACAO DA NOVA CARGA.  
 CALCULAR OS RECALQUES IMEDIATOS SETI SE BSKPTN.NE.1.  
 NOTAR QUE T(IT-1) E TL(LIFT) SAO OS MESMOS TEMPOS.  
 A PRESSAO NEUTRA NEGATIVA, DEVIDO A RETIRADA DE CARGA, SERA NEGLIGEN-  
 CIADA NO CALCULO DOS RECALQUES IMEDIATOS.  
 UMA VEZ ADOTADO QUE A EXPANSAO SERA NULA, AS PRESSOES NEUTRAS NEGA-  
 TIVAS, DEVIDO A REMOCAO DA CARGA, TERAO VALORES NO MAXIMO IGUAIS A  
 PRESSAO NEUTRA NAU DISSIPADA IMEDIATAMENTE ANTES DA REMOCAO DA CARGA.

```

IF(IDEN(LIFT).EQ.0) GO TO 76
DO 77 I=1, ISUM
  UA(I)=UU(I)
77 CONTINUE
GO TO 78
76 CALL PORE (XINP, YINP, MINP, NS, XT, IEND, YE, MYE, UA, ASKPTN, BSKPTN)
78 IF(ISP.EQ.1) GO TO 511
  WRITE(IOUTP,941) FSI, SPECS(LIFT), SPECU(LIFT), IEND
  WRITE(IOUTP,940)
  WRITE(IOUTP,942) T(IT), LIFT, FS, FSI, XC, YC, RR
511 IF(BSKPTN.EQ.1) GO TO 143
  CALL SETL(UA, SETRI, IEND, KKK, MYE, 1., FUP, FLO, KIAV)
  AI=1./BSKPTN
  CALL SETL(UA, SETT, IEND, KKK, MYE, AI, FUP, FLO, KIAV)
  DO 141 I=1, IEND
    SETRI(I)=SETT(I)-SETRI(I)
    IF(SETRI(I).GT.SETI(I)) SETI(I)=SETRI(I)
    SETT(I)=SETI(I)+SETC(I)
141 CONTINUE
143 II=0
DO 144 I=1, IEND
  WRITE(1) SETI(I), SETC(I), SETT(I), UAVE(I)
  UAVE(I)=0.
  UAVED(I)=0.
  UAVEM(I)=0.
DO 144 J=1, MYE
  II=II+1
  UT=UB(II)+UA(II)-UC(II)
  IF(UT.LT.0.) UT=0.
  UAVE(I)=UAVE(I)+UT*SV(J)
  UB(II)=UT-UB(II)
  UC(II)=UA(II)
  UD(II)=UD(II)+UB(II)
  UAVED(I)=UAVED(I)+UD(II)*SV(J)
  UM(II)=UD(II)+(1./BSKPTN-1.)*UA(II)
  UAVEM(I)=UAVEM(I)+UM(II)*SV(J)
144 CONTINUE
  LLL=LIFT-1
  CALL DISP(UB, 3, OMEGA, PHI, TD, UAVE, LLL, MYE, IEND, XT, SV, SR)
  IF(IVAR.EQ.0) GO TO 244
  CALL COEF(UAVEM, UAVE, OMEGA, PHI, 1, OMED, PHID, IEND)
244 CALL DISP(UB, 1, OMEGA, PHI, 0., UAVE, LIFT, MYE, IEND, XT, SV, SR)
GO TO 128
200 NLM=NLRO-NL
  IF(NLM.LE.1) GO TO 201
  NLDIF=NLRO-LL
DO 202 I=1, NLDIF
  LL=LL+1
  READ(INPUT,191) MINP, NS, IAB
DO 203 J=1, MINP
203 READ(INPUT,192) XINP(J), YINP(J)
  READ(INPUT,192) FSI, SPECS(LL), SPECU(LL), TMIN, XC, YC, ZZ
202 CONTINUE
201 LOCK 1
  REWIND 1
  REWIND 2

```

\*\*\*\*\* SAIDA DOS RESULTADOS \*\*\*\*\*

ESCREVER O TITULO PARA A SAIDA DOS RESULTADOS DO PROCESSO DE ADENS.  
 OBSERVAR QUE:

SE ISP=0, OS RESULTADOS SAIRAO PARA AS VERTICAIS XE, ESCOLHIDAS.  
 SE ISP=1, OS RESULTADOS SAIRAO PARA TODAS AS VERTICAIS XT.

```

WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,950)
WRITE(IOUTP,850)
IF(ISP.EQ.1) GO TO 217
READ(INPUT,191) JEND
READ(INPUT,191) (JSP(K), K=1, JEND)

```

```

DO 218 I=1,JEND
K=JSP(I)
218 XRP(I)=W*XE(K)

```

DETERMINAR OS INDICES MXS E A MATRIZ RSP, QUE E UMA SUBMATRIZ DE R.  
A MATRIZ RSP SERA USADA NO MOMENTO DA INTERPOLACAO ENTRE AS VERTI-  
CAIS XT, A FIM DE SE OBTEN A INFORMACAO DESEJADA NOS PONTOS XRP.

```

IRE=0
IRS=0
K=1
MM=MXE(1)
MT=MXT(1)
DO 210 JJ=1,NIM
210 MXS(JJ)=0
JJ=1
DO 211 I=1,MX
IF(JSP(K).EQ.1) GO TO 214
IRE=IRE+MXT(JJ)
GO TO 215
214 DO 212 J=1,MT
IRS=IRS+1
IRE=IRE+1
212 RSP(IRS)=R(IRE)
MXS(JJ)=MXS(JJ)+1
IF(K.EQ.JEND) GO TO 213
K=K+1
215 IF(MM.NE.1) GO TO 211
JJ=JJ+1
MT=MXT(JJ)
MM=MM+MXE(JJ)
211 CONTINUE

```

CASO EM QUE ISP=1 :

```

217 JEND=IEND
DO 219 I=1,JEND
219 XRP(I)=W*XT(I)
213 WRITE(10UTP,951) (XRP(I),I=1,JEND)
DO 250 I=1,JEND
250 XRP(I)=XRP(I)/W
WRITE(10UTP,900)
MM=2
IF(BSKPTN.NE.1.) MM=4
MT=MM*JEND

```

LER DO ARQUIVO 1, AS INFORMACOES UAVE, SETC, SETI E SETT DAS VERT. XT.  
OBSERVAR QUE :

SE ISP=1, ESTAS INFORMACOES DEVERAO SER ESCRITAS.  
SE ISP=0, FAZER AS INTERPOLACOES, USANDO A MATRIZ RSP E, ENTAO, ES-  
CREVER AS INFORMACOES.  
ARMAZENAR AS INFORMACOES NO ARQUIVO 2 PARA POSTERIOR PLOTAGEM DOS  
GRAFICOS FINAIS. USAR UA E UB PARA A ARMAZENAGEM TEMPORARIA.

```

CONTO = 26
DO 220 J=1,IT
II=1
DO 221 I=1,IEND
READ(1,END=888) AI, UA(II+1), AA, UA(II)
IF(BSKPTN.EQ.1.) GO TO 224
UA(II+2)=AI
UA(II+3)=AA
224 II=II+MM
221 CONTINUE
IF(ISP.EQ.1) GO TO 225

```

FAZER AS INTERPOLACOES PARA OS PONTOS XRP POR MEIO DA MATRIZ RSP.  
NOTAR QUE :

AS INFORMACOES PARA AS VERTICAIS XT ESTAO ARMAZENADAS EM UA.  
AS INFORMACOES OBTIDAS POR INTERPOLACAO, PARA AS VERTICAIS XRP,  
ESTAO ARMAZENADAS EM UB.

```

IUBE=0
IUND=0
IRND=0
DO 216 JJ=1,NIM
IUBS=IUBE+1
IUBE=IUBE+MM*MXT(JJ)
IF(MXS(JJ).EQ.0) GO TO 216
IUST=IUND+1

```

```

IUND=IUND+MM*MXS(JJ)
IRST=IRND+1
IRND=IRND+MXT(JJ)*MXS(JJ)
216 CALL MPRD (UA,RSP,UB,MM,MXT(JJ),MXS(JJ),IUBS,IRST,IUST)
CONTINUE
GO TO 226

```

DEFINIR UB PARA O CASO DE ISP=1.

```

225 DO 222 I=1,MT
222 UB(I)=UA(I)
226 IF(J.EQ.1) GO TO 227
IF(I(J).NE.T(J-1)) GO TO 228
227 WRITE (IOUTP,952) T(J)
CONTD = CONTD + 6
228 WRITE(IOUTP,953) T(J)
DO 223 K=1,MM
WRITE(IOUTP,951) (UB(I), I=K,MT,MM)
223 CONTINUE
CONTD = CONTD + 8
IF(CTD = 74) 2232,2230,2230
2230 CONTD = 2
WRITE(IOUTP,2231)
2232 WRITE(2) (UB(I),I=1,MT)
IF (MM.NE. 4) WRITE(IOUTP,902)
220 CONTINUE
REWIND 1

```

\*\*\*\*\* ROTINA DE PLOTAGEM \*\*\*\*\*

LER OS SIMBOLOS DE PLOTAGEM :

```

1) BLANK - PARA OS ESPACOS EM BRANCO.
2) STAR - ASTERISTICOS(*).
3) GRID=I - PARA A ESCALA HORIZONTAL.
4) SYMB(1)=U - PARA OS GRAUS DE ADENSAMENTO.
5) SYMB(2)=C - PARA OS RECALQUES DE ADENSAMENTO.
6) SYMB(3)=O - PARA OS RECALQUES IMEDIATOS.
7) SYMB(4)=T - PARA OS RECALQUES TOTAIS.
LER O NUMERO DE LINHAS QUE SERAO IMPRESSAS,LEND.

```

```

888 CONTINUE
READ(INPUT,194) BLANK,STAR,GRID,(SYMB(I),I=1,MM)
READ(INPUT,191) LEND
KEND=T(IT)/7.+1.001
IF(LEND.GT.KEND) LEND=KEND
WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,853)
WRITE(IOUTP,753)
WRITE(IOUTP,653)

```

CALCULAR OS RECALQUES DE REFERENCIA PARA OS PONTOS XRP, A PARTIR DOS RECALQUES TOTAIS, SETRT, NOS PONTOS XT.

```

IF(ISP.EQ.0) GO TO 297
DO 298 I=1,LEND
298 SETR(I)=SETRT(I)
GO TO 299
297 IUBE=0
IUND=0
IRND=0
DO 406 I=1,NIM
IUBS=IUBE+1
IUBE=IUBE+MXT(I)
IF(MXS(I).EQ.0) GO TO 406
IUST=IUND+1
IUND=IUND+MXS(I)
IRST=IRND+1
IRND=IRND+MXT(I)*MXS(I)
CALL MPRD (SETRT,RSP,SETR,1,MXT(I),MXS(I),IUBS,IRST,IUST)
406 CONTINUE
299 DO 300 J=1,JEND
JS=(J-1)*MM+1

```

ESCREVER O TITULO PARA O GRAFICO DA J-ESIMA VERTICAL.

```

X=XRP(J)*W
WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,954) X,SETR(J)

```

REWIND 2

READ (2, END=887)(UB(I), I=1,MT)

GERAR A PRIMEIRA LINHA QUE SERA IMPRESSA.

LOUT=T(1)/7.+0.1

JT=2

K=T(2)/7.+0.1

DO 301 I=1,66

301 ROW(I)=STAR

DO 302 I=6,61,5

302 ROW(I)=GRID

JJ=JS

II=50.\*UB(JJ)+1.5

ROW(II)=SYMB(1)

DO 303 I=2,MM

JJ=JJ+1

II=50.\*UB(JJ)/SETR(J)+1.5

303 ROW(II)=SYMB(1)

ESCREVER A PRIMEIRA LINHA E LOGO EM SEGUIDA LIMPAR ROW(I).

WRITE(IOUTP,957)

WRITE(IOUTP,956) LOUT,(ROW(I),I=1,66)

DO 304 I=2,65

304 ROW(I)=BLANK

ROW(1)=STAR

ROW(66)=STAR

MK=MM

DETERMINAR AS LINHAS SEQUENTES QUE SERAO IMPRESSAS.

DO 306 L=2,LEND

LOUT=LOUT+1

IF(K.EQ.LOUT) GO TO 305

WRITE(IOUTP,956) LOUT,(ROW(I),I=1,66)

GO TO 306

305 JT=JT+1

IF(JT.GT.IT) JT=1

K=T(JT)/7.+0.1

LER OS DADOS ARMAZENADOS NO ARQUIVO 2 E DETERMINAR OS SIMBOLOS QUE SERAO IMPRESSOS.

309 READ (2, END=889)(UB(I), I=1,MT)

JJ=JS

IKK=MK+MM+1

II=50.\*UB(JJ)+1.5

ROW(II)=SYMB(1)

KK(IKK)=II

DO 307 I=2,MM

JJ=JJ+1

IKK=IKK+1

II=50.\*UB(JJ)/SETR(J)+1.5

ROW(II)=SYMB(1)

KK(IKK)=II

307 CONTINUE

IF(K.NE.LOUT) GO TO 310

JT=JT+1

K=T(JT)/7.+0.1

MK=MK+MM

GO TO 309

ESCREVER A L-ESIMA LINHA E LIMPAR ROW(I) DESDE O INDICE 2 ATE O 75.

310 WRITE(IOUTP,956) LOUT,(ROW(I),I=1,66)

DO 308 I=1,MK

II=KK(I)

308 ROW(II)=BLANK

ROW(1)=STAR

ROW(66)=STAR

MK=MM

306 CONTINUE

889 CONTINUE

GERAR E ESCREVER A ULTIMA LINHA.

DO 311 I=1,66

311 ROW(I)=STAR

DO 312 I=6,61,5

312 ROW(I)=GRID

300 LOUT=LOUT+1  
887 WRITE(LOUTP,956) LOUT,(ROW(I),I=1,66)  
CONTINUE  
CONTINUE

IF(NL.NE.NLS) CALL EXIT  
GO TO 100

\*\*\*\*\* DECLARACOES FORMAT \*\*\*\*\*

```

191 FORMAT(20I4)
192 FORMAT(10F8.3)
193 FORMAT(4E10.5)
194 FORMAT(7A1)
900 FORMAT(////////)
800 FORMAT(10(//))
901 FORMAT(1H1)
801 FORMAT(////////)
902 FORMAT(//)
903 FORMAT(T22,'*****',/
1 T22,'T59',/
2 T22,'SX,PROGRAMA PRINCIPAL SAND',T59,'*',/
3 T22,'T59',/
4 T22,'2X,ETAPAS DE CARGA E SOBRECARGA',T59,'*',/
5 T22,'T59',/
6 T22,'*****')
803 FORMAT(//)
904 FORMAT(T17,'*** MALHA EXISTENTE NO MACICO COMPRESSIVEL',/
1 //,T20,'PUNTOS (YE/H) EXISTENTES EM CADA VERTICAL:',/
905 FORMAT(1X,SF14.3)
906 FORMAT(1X,SF14.3)
806 FORMAT(T23,'VERTICAIS(XT/W) QUE COMPOEM A MALHA:',/
908 FORMAT(T12,'VERTICAIS (XE/W) NAS QUAIS A PRESSAO NEUTRA FOI'
1 'INTERPOLADA:',/
808 FORMAT(1X,SF14.3)
909 FORMAT(//)
1 T10,'NA INTERPOLACAO , FOI ADOTADA UMA COLOCACAO POLINOMIAL
1 DE GRAU:')
910 FORMAT(T19,'1,2X,ENTRE AS VERTICAIS (X/W)',2X,F5.3,' E ',F5.3)
911 FORMAT(T13,'VERTICAIS NO INTERIOR DA REGIAO DE INFLUENCIA DO DRENO
1 //,T13,'NAS QUAIS AS PRESSOES NEUTRAS RADIAIS FORAM CALCULADAS
2 //)
912 FORMAT(T8,'R (METROS)=',4X,5(F5.3,6X),/
913 FORMAT(//,T11,'*** PARAMETROS QUE CARACTERIZAM O MACICO COMPRESSIVE
1L ***',/
914 FORMAT(T24,'ESPESSURA TOTAL H= ',F6.3,' METROS',/
1 T14,'CUMPRIMENTO DE REFERENCIA NA DIRECAO X' W= ',F5.1,
2 ' METROS')
915 FORMAT(T12,'* CASO EM QUE O SUBSOLO E ESTRATIFICADO COM DUAS CAMAD
1 AS :',//T12,'A CAMADA DE INTERFACE ESTA ',F6.3,' METROS ABAIXO D
2 A SUPERFICIE',//1X,'AS RAZOES ENTRE OS PARAMETROS (CAMADA
3 'INFERIOR/CAMADA SUPERIOR) SAO: ',//T14,'- ENTRE
4 'COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE',6X,'RK= ',F6.3,//T14,'- ENTRE
5 'COEFICIENTES DE ADENSAMENTO',9X,'RC= ',F6.3,//T14,'- ENTRE
6 'INDICES DE VAZIOS INICIAIS',9X,'REO= ',F6.3,/)
815 FORMAT(T14,'- ENTRE COEFICIENTES DE COMPRESSIBILIDADE RAV= ',F6.
13,)
715 FORMAT(T14,'- ENTRE INDICES DE COMPRESSIBILIDADE RCC= ',F6.
13,//T14,'- ENTRE INDICE DE RECOMPRESSAO E CC ROCL= ',F6.3,/)
2)
916 FORMAT(//T12,'PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADOTADOS: A= ',F4.2,' , B
1 = ',F4.2,/)
816 FORMAT(T14,'PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADOTADOS: A= ',F4.2,' E B
1 = ',F4.2,/)
917 FORMAT(T24,'SATURACAO PARCIAL DO SUBSOLO, COM:',//T11,'- GRAU DE
1 SATURACAO S= ',F5.3,//T11,'- CONSTA
2 NTE DE HENRY PARA SOLUBILIDADE DE GASES HC= ',F5.3,//T11,'- PRESS
3 AO NEUTRA INICIAL DOS GASES NOS POROS PU= ',F6.3,' TON/M2')
918 FORMAT(T14,'PARAMETROS ESPECIFICOS DE ADENSAMENTO,ELES PERTENCERAO
1 //,T14,'A CAMADA SUPERIOR NO CASO DE ESTRATIFICACAO.',//T5,'- IN
2 DICE DE VAZIOS INICIAL',T65,'EO= ',F6.3,/)
818 FORMAT(T5,'- COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE INICIAL',T64,'AVO=
1 ',F5.3,/)
919 FORMAT(T5,'- INDICE DE COMPRESSIBILIDADE',T65,'CC= ',F5.3,//T5,'
1 - RAZAO ENTRE RECOMPRESSAO E INDICE DE COMPRESSIBILIDADE ROC= ',
2 F5.3,/)
819 FORMAT(T10,'DISTRIBUICAO DAS PRESSOES GEOSTATICAS NO SUBSOLO COMPR
1 ESSIVEL:',//T14,'- Y PROFUNDIDADE EM RELACAO AO NIVEL DO TERR
2 END.',//T14,'- P(I) PRESSAO EFETIVA INICIAL',//T14,'- PC(I) PR
3 ESSAO DE PRE-ADENSAMENTO',//T14,'Y (METROS)',T36,'P(TON/M2)',T56,'P

```



```

4C(TON/M2),/)
719 FORMAT(T16,F6.3,T37,F6.3,T58,F6.3, )
619 FORMAT(T7,'OBSERVACAO: OS VALORES DE P(1) E PC(1), LISTADOS ANTERIO
1RMENTE',/T19,'PODEM TER SIDO ALTERADOS PARA EVITAR DIVISAO POR',/T19
2'ZERO NO CALCULO DO PLOG(1),/ )
920 FORMAT(T7,'- COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE INICIAIS :',//T10,'PA
1RA FLUXO VERTICAL KVO=' ,E8.3, ' M/DIA',//T10,'PARA FLUXO RADIAL
2 KRU=' ,E8.3, ' M/DIA',/ )
820 FORMAT(T7,'- COEFICIENTES DE ADENSAMENTO LIDOS QUE CORRESPONDEM A
1TENSDES',/T9,'EFETIVAS ESPECIFICAS :',//T9,'PCV(TON/M2)',T26,'CVI
2N(M2/DIA)',T44,'PCR(TON/M2)',T60,'CRIN(M2/DIA)',/ )
720 FORMAT(T11,F6.3,T28,E8.3,T46,F6.3,T62,E8.3,/ )
921 FORMAT(T7,'- INCLINACAO DA CURVA E X K(LOG) :',//T10,
1'PARA FLUXO VERTICAL SKV=' ,F5.3, //T10,
2'PARA FLUXO RADIAL SKR=' ,F5.3, / )
922 FORMAT(T15,'*** CONDICoes DE DRENAGEM NO MACICO COMPRESSIVEL ***'
1,/)
923 FORMAT(T16,'RAIO DO POÇO DE DRENAGEM RW=' ,F6.3, ' METROS',//T1
16,'RAZAO DO DRENO (RW/RE) RWE=' ,F6.3, //T16,'RAIO DE INFLUENC
2IA DO DRENO RE=' ,F6.3, ' METROS',/ )
924 FORMAT(T14,'- DRENAGEM IMPEDIDA NA FRONTEIRA DO POÇO COM :',//T17
1,'RAIO DO "SMEAR"(RS)/RAIO DO POÇO(RW) RSW=' ,F5.3, //T17,'COEFICIE
2NTE DE PERMEABILIDADE RADIAL/ COEF',//T17,
3'PERMEABILIDADE INICIAL "SMEAR",T55,'RKR=' ,F6.3, / )
925 FORMAT(T14,'- DRENAGEM LIVRE NA FRONTEIRA DO POÇO',/ )
926 FORMAT(T14,'- DRENAGEM IMPEDIDA NA FRONTEIRA INFERIOR DO',//T17,'
1SUBSTRATO COMPRESSIVEL COM',//T17,'COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE
2VERTICAL',//T17,'COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE VERTICAL NO',//T1
37,'IMPEDIMENTO',T56,'RKV=' ,F6.3, //T17,'ESPESURA DA CAMADA DE IM
4PEDIMENTO HI=' ,F5.3, ' METROS',/ )
927 FORMAT(T14,'- DRENAGEM LIVRE NA FRONTEIRA INFERIOR DO',//T17,'SUB
1STRATO COMPRESSIVEL',/ )
928 FORMAT(T14,'- DRENAGEM NULA NA BASE DO SUBSOLO COMPRESSIVEL',/ )
929 FORMAT(T14,'- DRENAGEM NULA NA FRONTEIRA DE INFLUENCIA DO DRENO.
1',//T14,'- A ULTIMA VERTICAL COM DRENAGEM RADIAL, DISTA',F6.3,
2' METROS',//T17,'DO EIXO DE SIMETRIA DO ATERRO',/ )
930 FORMAT(T26,'CARACTERISTICAS DESTA CARGA',//T8,'1- PESO ESPECIFIC
10 NATURAL,T61,'GLOAD=' ,F5.3, ' TON/M3, //T8,'2- RESISTENCIA N
2AO DRENADA',T61,'CLOAD=' ,F6.3, ' TON/M2, //T8,'3- ESPESURA DO
3TAPETE DRENANTE',T63,'YWM=' ,F5.3, ' METROS',//T8,'4- TANGENTE DO
4ANGULO DE ATRITO INTERNO DO TAPETE DRENANTE TGHPI=' ,F5.3, //T7,
55- COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POLIGONO DE CARREGAMENTO',
6,//T20,'XINP(METROS)',T49,'YINP(METROS)',/ )
931 FORMAT(T23,F6.3,T52,F6.3, )
932 FORMAT(T12,'VALORES DAS PRESSOES NEUTRAS MEDIAS INICIAIS E DOS REC
1ALQUES',//T12,'NAS',T12,'VERTICAIS XT :',//T9,'- XT(1)
2DISTANCIA DA 1-ESIMA VERTICAL AO EIXO DE SIMETRIA',//T9,'- UAUVER(
31) PRESSAO NEUTRA MEDIA INICIAL NA 1-ESIMA VERTICAL',//T9,'- SETRC
4(1) RECALQUE DE ADENSAMENTO NA 1-ESIMA VERTICAL',//T9,'- T9,
5SETRT(1) RECALQUE TOTAL NA 1-ESIMA VERTICAL',//T11,'XT(METROS)',T2
67,'UAUVER(TON/M2)',T44,'SETRC(METROS)',T60,'SETRT(METROS)',/ )
933 FORMAT(T13,F6.3,T30,F6.3,T48,F5.3,T64,F5.3, )
934 FORMAT(T7,'- COEFICIENTE DE ADENSAMENTO PARA FLUXO VERTICAL CV=
1',E8.3, ' M2/DIA',//T7,'- COEFICIENTE DE ADENSAMENTO PARA FLUXO RADI
2AL CR=' ,E8.3, ' M2/DIA',/ )
935 FORMAT(
1T27,25(' '),/T27,'*',T51,'*',/T27,'* CARGA DE REFERENCIA
2' ,//T27,'*',T51,'*',/T27,25(' '),//T16,'E A CARGA FINAL QUE A
3TUARA NO MACICO COMPRESSIVEL',/ )
936 FORMAT(T13,'NUMERO PREVISTO PARA ETAPAS DE CARREGAMENTO PARA OBTEN
1CAU',//T13,'DA CARGA FINAL NO SUBSOLO COMPRESSIVEL NL=',T12, )
937 FORMAT(T24,'TEMPO DE ADICAO DAS ETAPAS DE CARGA',/ )
938 FORMAT(T33,'TL(12)=' ,F5.0, ' DIAS',/ )
939 FORMAT(
1T28,28(' '),/T28,'*',T55,'*',/T28,'* ETAPA DE CARGA
2' ,//T28,'*',T55,'*',/T28,28(' '),//T24,'T
3TEMPO DE APLICACAO TL=' ,F5.0, ' DIAS',/ )
940 FORMAT(T14,'TEMPO PREVISTO DE CONSTRUCAO DO ATERRO TA=' ,F5.0, ' O
1DIAS',// )
840 FORMAT(T8,'*** PARAMETROS QUE SERAO UTILIZADOS NA ANALISE DA ESTAB
1ILIDADE ***',/
2T25,'NARC=' ,T25,'NRAD=' ,T25,'DMAX=' ,F5.3, ' METROS',/
3T25,'DMIN=' ,F5.3, ' METROS',/ )
941 FORMAT(T7,'- FATOR DE SEGURANCA EXIGIDO',T65,'FSI=' ,F5.3, //T7,
1'FRACAO DO RECALQUE DE ADENSAMENTO QUE DEVERA OCORRER SPECS=
2F5.3, //T11,'ESTA ETAPA DE CARGA SERA CONSIDERADA A ULTIMA, SE, 95
3% DA PRESSAO',//T11,'NEUTRA MEDIA FOI DISSIPADA NAS',F5.3, ' ',
4T12,'VERTICAIS XT',/ )
942 FORMAT(T7,F5.0,4X,T25,5X,F5.3,6X,F5.3,6X,F6.3,6X,F6.3,6X,F6.3, )
943 FORMAT(T23,'*** MENSAGEM ***',//T21,'O PROGRAMA TERMINOU, JA QU
1E O FATOR DE SEGURANCA',//T21,'EXIGIDO NAO FOI ALCANCADO NEST

```

```

2E TEMPO T.))
944 FORMAT(T12,'AS PRESSOES NEUTRAS RESIDUAIS FORAM LIDAS NAS PROFUNDI
DADES: ',//,T5,'YE/H= ',11(F5.3,1X),//,T12,'E NAS SEQUINTES VERTI
CAIS: ',//,T4,'XT/W= ',//)
945 FORMAT(2X,I2,1X,F5.3,2X,11(1X,F5.3),//)
946 FORMAT(T14,'AS PRESSOES NEUTRAS RESIDUAIS FORAM LIDAS COMO SE SEGU
1E: ',//,T17,'X(METROS)',T40,'Y(METROS)',T63,'UC(TON/M2)',//)
947 FORMAT(18X,F6.3,16X,F6.3,18X,F5.3,//)
948 FORMAT(T11,'FUI OBTIDO UM GRAU DE ADENSAMENTO DE 95% EM ',I2,' DAS
1,I2,' VERTICAIS',//,T11,'XT, DEVIDO A CARGA APLICADA AOS T=
2,F5.0,' DIAS',//,T9,'*** ESTA ETAPA DE CARGA NUMERO ',I1,
3,' E CONSIDERADA SER A ULTIMA ***')
949 FORMAT(//,T11,'OBSERVE QUE NO TEMPO= ',F5.0,' DIAS QUE E MAIOR QUE
1O TEMPO DE ',T11,'CONSTRUCAO TA= ',F5.0,' DIAS, OS VALORES OBTIDO
2S PARA O FATOR',//,T11,'DE SEGURANCA FS= ',F5.3,' E/OU PARA O RE
3CALQUE DE ADENSAMEN',//,T11,'TO, SETC(1)= ',F5.3,' METROS, NAO SA
4TISFAZEM AS EXIGENCIAS',//,T11,'ESPECIFICADAS QUE DEVERIAM OCORRE
5R ANTES DO TEMPO DE CONS-',//,T11,'TRUCAO',//,T3,'*** ESTA ETA
6PA DE CARGA NUMERO ',I1,' E, PORTANTO, CONSIDERADA SER A ULTIMA **
7**')
950 FORMAT(//,T27,27(' '),//,T27,'*',T53,'*',//,T27,'* PROCESSO DE A
1DENSAMENTO*',//,T27,'*',T53,'*',//,T27,27(' '),//,T12,'INFORM
2ACOES A SEREM IMPRESSAS PARA AS VERTICAIS ESCOLHIDAS',//,T20,'UA
3VE - GRAU DE ADENSAMENTO (%)',//,T20,'SETC - RECALQUE DE ADEN
4SAMENTO (METROS)',//)
951 FORMAT(T20,'SETI - RECALQUE IMEDIATO (METROS)',//,T20,'SETT -
1RECALQUE TOTAL (METROS)',//,T7,'NOTA: AS DUAS ULTIMAS INFORMACOES
2, SETI E SETT, SUMENTE SERAO',//,T13,'ESCRITAS SE O SOLO FOR PARCI
3ALMENTE SATURADO (B.NE.1)',//,T24,'VERTICAIS XRP(METROS)'
4'ESCOLHIDAS',//)
951 FORMAT(7X,6(F6.3,6X),//)
952 FORMAT(//,T30,'*** T= ',F5.0,' DIAS ***',//,T27,'TEMPO DE APLI
1CACAO D CARGA',//)
953 FORMAT(//,T34,'T= ',F5.0,' DIAS',//)
953 FORMAT(17(//))
753 FORMAT(T27,27(' '),//,T27,'*',T53,'*',//,T27,'* PLOTAGEM DOS GRA
1FICOS*',//,T27,'*',T53,'*',//,T27,27(' '),//,T32,'SIMBOLOS UTI
2LIZADOS',//,T4,'U - CURVA DO GRAU DE ADENSAMENTO',//,T4,'C - CUR
3VA DO RECALQUE DE ADENSAMENTO EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FIN
4AL',//,T4,'U - CURVA DO RECALQUE IMEDIATO EM PERCENTAGEM DO RECAL
5QUE TOTAL FINAL',//,T4,'T - CURVA DO RECALQUE TOTAL EM PERCENTAGE
6M DO RECALQUE TOTAL FINAL',//)
953 FORMAT(T29,'COORDENADAS DO GRAFICO',//,T16,'ABCISSAS - VALORES
1DE U, C, O, T EM PERCENTAGEM (%)',//,T16,'ORDENADAS - VALORES
2DO TEMPO EM SEMANAS',//)
954 FORMAT(//,T13,'CURVAS PERTENCENTES A VERTICAL XRP= ',F6.3,'
1METROS',//,T13,'RECALQUE TOTAL FINAL NESTA VERTICAL SETR= ',F5.3,
3' METROS',//)
956 FORMAT(1X,I2,1X,66A1)
957 FORMAT(T4,'0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
11.1 1.2 1.3',//)
960 FORMAT(//,T24,'EXECUCAO DA ANALISE DA ESTABILIDADE',//,T6,'TEMPO
1ETAPA, FATOR DE FATOR DE',5X,'COORDENADAS DO',9X,'RAIO',//,
2T8,'T',T15,'DE SEGURANCA SEGURANCA CENTRO(METROS)',7X,
3,'R',//,T16,'(DIAS)',T13,'CARGA OBTIDO',5X,'EXIGIDO',7X,'XC',
410X,'YC',7X,'(METROS)',//)
961 FORMAT(T11,'*** RESISTENCIA AO CISALHAMENTO DO SUBSOLO COMPRESSIVE
1L ***',//,T16,'Y - PROFUNDIDADE EM RELACAO AO NIVEL DO TERRENO
2',//,T16,'C(I) - RESISTENCIA NAO DRENADA INICIAL',//,T16,'C / P - RAZ
3AO ENTRE A RESISTENCIA E A PRESSAO EFETIVA',//,T14,'Y(METROS)',T36
4,'CO(TON/M2)',T60,'C/P',//)
962 FORMAT(T16,F6.3,T38,F6.3,T59,F5.3, )
000 FORMAT(//,2(29X,20(' '),//,3(29X,3(' '),//,2(29X,20(' '),//,3(29X,3(' '),
14(46X,3(' '),//,2(29X,20(' '),//,6(29X,3(' '),//,3(29X,3(' '),//,
2'),14X,3(' '),//,2(29X,20(' '),//,6(29X,3(' '),//,3(29X,3(' '),//,
3'////////)
1001 FORMAT( T30, '*****', T47, '*****', /, T30, '*****', T47, '*****'
1 /, T30, '*****', T47, '*****', /, T30, '*****', T47, '*****'
2 /, T30, '*****', T47, '*****', /, T30, '*****', T47, '*****'
3 '*****', /, T30, '*****', '*****', /, T30, '*****'
4 '*****', /, T30, '*****', '*****', /, T30, '*****'
5 T41, '*****', /, T30, '*****', T42, '*****', /, T30, '*****'
6 T43, '*****', /, T30, '*****', T44, '*****', /, T30, '*****'
002 FORMAT(T30,17(' '),//,T30,18(' '),//,T30,'*****',T45,'*****',//,T30,'*****'
1,T46,'*****',//,5(29X,14X,'*****',//,T30,'*****',T46,'*****',//,T30,
2'*****',T45,'*****',//,T30,18(' '),//,T30,17(' '))
2231 FORMAT('1',//)

```

END

PROGRAMA PRINCIPAL DETR

ESTE PROGRAMA DETERMINA A RAZAO DO DRENO (RAIO DO DRENO DIVIDIDO PELO RAO DE INFLUENCIA). ESTA RAZAO E NECESSARIA PARA ASSEGURAR QUE UM RECALQUE ESPECIFICADO E/OU UM FATOR DE SEGURANCA CONTRA A RUPTURA SAO OBTIDOS EM UM TEMPO PRE-DETERMINADO.

O PROGRAMA ENVOLVE :

- 1) O CALCULO DAS TENSOES E PRESSOES NEUTRAS NO SUBSOLO;
- 2) A DISSIPACAO DESTAS PRESSOES NEUTRAS, A MEDIDA QUE A CARGA AUMENTA LINEARMENTE COM O TEMPO ATE UM VALOR DE REFERENCIA. TAL DISSIPACAO AINDA PROSSEGUE APOS A APLICACAO DA REFERIDA CARGA.
- 3) O CONSEQUENTE AUMENTO DA RESISTENCIA AO CISALHAMENTO DO SOLO ; E

4) A ANALISE DA ESTABILIDADE DO ATERRO.

O PROGRAMA PODE SER TRATADO SOB DOIS ASPECTOS DIFERENTES :

A - OPCAO 1 : ISP=0 - A ANALISE DA ESTABILIDADE SERA FEITA EM PRIMEIRO LUGAR, A LONGO PRAZO E, POSTERIORMENTE, NO TEMPO TA PARA VARIAS RAZOES DO DRENO.

A RAZAO DO DRENO REQUERIDA E A PRIMEIRA ENCONTRADA QUE ASSEGURA QUE O RECALQUE ESPECIFICADO E O FATOR DE SEGURANCA OCORRERAO NO TEMPO TA, DEVIDO O AUMENTO LINEAR DA RAMPA DE CARGA, QUE PERMANECE INALTERADA APOS O TEMPO DE CONSTRUCAO. A APLICACAO DA CARGA TOTAL NO TEMPO ZERO PODE SER CONSIDERADA PELA COLOCACAO DE  $C=1,0$ .

COM A RAZAO DE DRENO PRE-DETERMINADA, CURVAS DE RECALQUE E DE GRAU DE ADENSAMENTO MEDIO SERAO IMPRESSAS EM VERTICAIS PREVIAMENTE ESCOLHIDAS.

B - OPCAO 2 : ISP=1 - A ANALISE DA ESTABILIDADE E OMITIDA. O PROGRAMA DETERMINARA A RAZAO DE DRENO NECESSARIA PARA ASSEGURAR O RECALQUE ESPECIFICADO NO TEMPO TA.

SE O RECALQUE FOR SUFICIENTEMENTE PEQUENO, FAR-SE-A A ANALISE DE UMA CONDICAO DE RAMPA DE CARREGAMENTO ARBITRARIA, IMPOSTA PELO USUARIO.

ALEM DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA ISP=0, ADVIRAO TAMBEM OS VALORES DAS PRESSOES NEUTRAS NOS PONTOS, COM OU SEM DRENAGEM RADIAL, QUE COMPOEM A MALHA NO MACICO COMPRESSIVEL.

O "APPROACH" TEORICO E IDENTICO AO UTILIZADO NO PROGRAMA SAND.

```
DIMENSION AUX(220), AX(5), CO(11), CP(11), JSP(10), KK(8), MXT(4), MXE(4)
DIMENSION MXS(4), OMEGA(20), P(11), PC(11), PHI(20), PLOG(11), R(510)
DIMENSION RHU(10), RHOIN(10), RSP(100), ROW(100), SETR(20), SETRT(20)
DIMENSION SETT(20), SR(15), SU(561), SV(11), SVM(12), SYMB(4), T(50)
DIMENSION TB(50), UA(220), UAVE(20), UAVER(20), UB(220), XE(51)
DIMENSION XINF(20), XME(660), XMT(100), XRP(20), XT(20), YE(11)
DIMENSION YINF(20), YRP(20)
```

EQUIVALENCE (UA(1), XME(1)), (UB(1), XME(221)), (AUX(1), XME(441))

```
COMMON/ SAPOU/ IUUTP, W, HH, GLOAD, CLOAD, NARC, NRAD
COMMON/ SADI1/ LAYER, IBCV, IBCR, MRE, M, N, IDC, NDR, ISUM
COMMON/ SADI2/ FIMPV, FIMPR, RC, RK, C, RU, RE, TA, ISP, IVAR, SRM(15)
COMMON/ SACSE/ ROC, ROCL, SVM, P, PC, PLOG, PO, PCO, IAV, IK, ISAT, AAV, AAR
COMMON/ SADET/ XSTAB(51), YSTAB(11), DX, DY, YWM, TGPHI
```

DATA (TB(I), I=1,45)/

1	0.	7.	14.	21.	28.	35.	42.	49.	56.
2	70.	84.	98.	112.	126.	140.	154.	168.	196.
3	224.	252.	280.	308.	336.	364.	392.	448.	504.
4	560.	616.	672.	728.	819.	910.	1001.	1092.	1274.
5	1456.	1638.	1820.	2184.	2548.	2912.	3276.	3640.	7280.

DATA NRHO/6/, (RHO(I), I=1,6)/

1 0.00, 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20/  
 INPUT=5  
 IUUTP=6

DETERMINAR A MALHA DE PONTOS PARA O ESQUEMA DE DIFERENCAS FINITAS PARA A ANALISE DA ESTABILIDADE.

MYE - NUMERO DE PONTOS NA DIRECAO Y INCLUINDO AS FRONTEIRAS.

MRE - NUMERO DE PONTOS NA DIRECAO R INCLUINDO AS FRONTEIRAS.

IT - NUMERO DE TEMPOS TB A SEREM CONSIDERADOS.

ISP - IDENTIFICADOR DO PROGRAMA :

ISP=0 - USAR PONTOS PREDETERMINADOS NA DIRECAO X E FAZER A ANALISE DA ESTABILIDADE.

ISP=1 - LER PONTOS ESPECIAIS NA DIRECAO X E NAO FAZER A ANALISE DA ESTABILIDADE.

```

999 READ(INPUT,191)MYE,MRE,IT,ISP
   IF(IT.LE.0) IT=45
   IF(IT.GT.45) IT=45

```

GERAR AS MOLECULAS MATEMATICAS NA DIRECAO VERTICAL PARA A REGRA DO TRAPEZIO OU DE SIMPSON.

```
CALL GENS (SV,MYE,0,0,0,0,0)
```

GERAR O VETOR YE.

```

MT=MYE-1
D=MT
D=1./D
DO 11 I=1,MT
  AI=I-1
11 YE(I)=AI*D
  YE(MYE)=1.
  IF(ISP.EQ.1) GO TO 1

```

LER O NUMERO DE PONTOS EQUIDISTANTES, MX, NA DIRECAO X, LER O NUMERO DE INTERVALOS, NI, E OS LIMITES DOS INTERVALOS, AX. OS LIMITES DOS INTERVALOS SAO ADIMENSIONAIS. PARA SE OBTER ESTES VALORES EM METROS BASTA MULTIPLICAR-LOS PELO VALOR DE REFERENCIA W.

```

READ(INPUT,191) MX,NI
NIM=NI-1
READ(INPUT,192) (AX(I),I=1,NI)

```

LER O NUMERO DE PONTOS NAO IGUALMENTE ESPACADOS, MXT, EM CADA INTERVALO.

```

READ(INPUT,191) (MXT(I),I=1,NIM)
IEND=0

```

GERAR OS PONTOS XT, SE ISP=0.

```

DO 21 J=1,NIM
  MT=MXT(J)
  ISTART=IEND+1
  IEND=IEND+MT
  D=2*MT
  AS=AX(J+1)+AX(J)
  AD=AX(J+1)-AX(J)
  DO 22 I=ISTART,IEND
    AI=2*(IEND-I)+1
    COARG=AI*3.14159265358979/D
22 XT(I)=(AD*COS(COARG)+AS)/2.
21 CONTINUE
GO TO 2

```

LER OS PONTOS ESPECIAIS, SE ISP=1.

```

1 READ(INPUT,191) IEND
  READ(INPUT,192) (XT(I),I=1,IEND)
  GO TO 42

```

GERAR OS PONTOS EQUIDISTANTES NA DIRECAO X, INCLUINDO OS LIMITES. DETERMINAR O NUMERO DE PONTOS XE EM CADA INTERVALO, MXE. SE O LIMITE ESQUERDO DO I-ESIMO INTERVALO COINCIDIR COM UM XE, ESTE LIMITE SERA CONSIDERADO ESTAR NESTE INTERVALO QUE ELE INICIA.

```

2 MT=1
  J=2
  MM=MX-1
  D=MM
  D=(AX(NI)-AX(1))/D
  XE(1)=AX(1)
  DO 23 I=2,MM
    XE(I)=XE(I-1)+D
    IF(XE(I).LT.(AX(J)-0.001)) GO TO 23
    MXE(J-1)=I-MT
    MT=I
    J=J+1
23 CONTINUE
  XE(MX)=AX(NI)
  MXE(J-1)=MX+1-MT

```

INICIAR AS DETERMINACOES DAS MATRIZES XMT, XME E R.

```

IEND=0
JEND=0
IRND=0
DO 41 J=1,NIM

```

GERAR A MATRIZ XMT A PARTIR DE XT E INVERTER XMT.

```

ISTT=IEND+1
IEND=IEND+MXT(J)
CALL MATR (ISTT,IEND,MXT(J),XT,AX(J),XMT)
CALL MINV (XMT,MXT(J),DETER)

```

GERAR A MATRIZ XME A PARTIR DE XE.

```

JSTT=JEND+1
JEND=JEND+MXE(J)
CALL MATR (JSTT,JEND,MXT(J),XE,AX(J),XME)

```

MULTIPLICAR O INVERSO DA MATRIZ XMT, QUE ESTA ARMAZENADA EM XMT, PELA MATRIZ XME. O PRODUTO SERA A MATRIZ R INICIADA POR R(IRST)

```

IRST=IRND+1
IRND=IRND+MXT(J)*MXE(J)
CALL MPRD(XMT,XME,R,MXT(J),MXT(J),MXE(J),1,1,IRST)
41 CONTINUE

```

O VALOR FINAL DE IEND SERA IGUAL AO NUMERO TOTAL DE PONTOS XT.

```

42 AIEND=IEND
ISUM=MYE*IEND

```

# LER OS DADOS DE UM CASO ESPECIFICO

```

H      -ESPESSURA DA CAMADA COMPRESSIVEL.
RW     -RAIO DO DRENO
GLOAD -PESO ESPECIFICO DO SOLO DO ATERRO.
CLOAD -COESAO DO SOLO DO ATERRO.
W      -COMPRIMENTO DE REFERENCIA NA DIRECAO X.
XDR    -DISTANCIA ENTRE O DRENO MAIS AFASTADO E O EIXO DE SIMETRIA.
YWM    -ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE.
TGPHI  -ANGULO DE ATRITO DA AREIA DO TAPETE DRENANTE.
OBSERVAR FINALMENTE :
SE H=99. O PROGRAMA CONSIDERARA NOVO CASO.
SE H=0.  O PROGRAMA ESTARA TERMINADO.

```

```

100 READ(INPUT,192) H,RW,GLOAD,CLOAD,W,XDR,YWM,TGPHI
IF(H.EQ.0.) CALL EXIT
IF(H.EQ.99.) GO TO 999
HH=H

```

LER O VETOR DE RAZOES DE DRENO COM NRWE ELEMENTOS, DENOMINADOS RHOIN. SE NRWE=0, USAR O VETOR DE RAZOES DE DRENO RHO, DEFINIDO NA DECLARACAO DATA, CONSTITUIDO DE NRHO ELEMENTOS.

```

READ(INPUT,191) NRWE
IF(NRWE.EQ.0) GO TO 320
READ(INPUT,192) (RHOIN(I), I=1, NRWE)
GO TO 444
320 NRWE=NRHO
DO 321 I=1, NRWE
321 RHOIN(I)=RHO(I)

```

DETERMINAR O INCREMENTO NA DIRECAO VERTICAL, DY.

```

444 DY=MYE-1
DY=H/DY
DYSO=DY*DY

```

SUBSTITUIR O INDICE ISP POR ISTAB .

```

ISTAB=ISP

```

LER OS IDENTIFICADORES DE DRENAGEM IBCV E IBCR :

```

IBCV=1 -DRENAGEM IMPEDIDA EM Y=H.
IBCV=2 -DRENAGEM LIVRE EM Y=H.

```

```

IBCV=3 -DRENAGEM NULA EM Y=H.
IBCR=4 -DRENAGEM IMPEDIDA("SMEAR") NA SUPERFICIE DO DRENO.
IBCR=5 -DRENAGEM LIVRE NA SUPERFICIE DO DRENO.
LER O IDENTIFICADOR DO COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE. SE IAV=0,
TAL COEFICIENTE SERA CONSTANTE; SE IAV=1, SERA VARIÁVEL.

READ(INPUT,191) IBCV, IBCR, LAYER, IAV
N=MRE-1
M=MYE-2
IF(BCV.EQ.3) M=MYE-1.
IF(BCV.EQ.2) FIMPV=0.
IF(BCV.NE.1) GO TO 4

LER A LOCALIZACAO DE INTERFACE NO SUBSOLO("LAYER"). CASO HAJA DUPLA
CAMADA, "LAYER" SERA MAIOR QUE 3 E MENOR QUE MYE-3, SENAO "LAYER"=0.
LER A ESPESSURA DA CAMADA DE IMPEDIMENTO, HI, EM Y=H, E A RAZAO DE
PERMEABILIDADES, RKV=K(SOLO COMPRESSIVEL, VERTICAL)/K("SMEAR", VERTICAL).
LER RSW=RAIO DA ZONA COM "SMEAR"/RAIO DO DRENO E A RAZAO DE PERMEA-
BILIDADES, RKR=K(SOLO COMPRESSIVEL, RADIAL)/K(ZONA COM "SMEAR", RADIAL).

READ(INPUT,192) HI, RKV
CHIV=RKV*HI/DY
FIMPV=CHIV/(1.+CHIV)
4 IF(BCR.NE.4) GO TO 7
READ(INPUT,192) RSW, RKR

TESTAR A CAMADA DE INTERFACE.
LER AS SEGUINTEZ RAZOES ENTRE AS CAMADAS INFERIOR E SUPERIOR :
1) PERMEABILIDADES- RK=K(INFERIOR)/K(SUPERIOR).
2) COEF. ADENSAMENTO- RC=CV(INFERIOR)/CV(SUPERIOR).
3) INDICE VAZIOS INICIAL- REO=EO(INFERIOR)/EO(SUPERIOR).
4) COEF. COMPRESSIBILIDADE- RAV=AVO(INFERIOR)/AVO(SUPERIOR).
5) INDICE COMPRESSAO- RCC=CC(INFERIOR)/CC(SUPERIOR).
6) INDICE RECOMPRESSAO- ROCL=CC(RECOMPRESSAO, INFERIOR)/CC(SUPERIOR)

7 IF(LAYER.LT.3) GO TO 6
READ(INPUT,192) RK, RC, REO, RAV, RCC, ROCL
ROCLS=ROCL
IF(LAYER.GT.(MYE-3)) LAYER=0

LER OS PARAMETROS DA CAMADA DE SOLO COMPRESSIVEL ; HAVENDO DUPLA
CAMADA ESTES PARAMETROS PERTENCERAO A CAMADA SUPERIOR.
ASKPTN E
BSKPTN -COEFICIENTES DE SKEMPTON PARA PRESSAO NEUTRA.
CC -COEFIC. ANGULAR DA RETA VIRGEM DA CURVA E VERSUS P(LOG).
ROC -INDICE DE RECOMPRESSAO/CC.
GAMMA -PESO ESPECIFICO PARA O CALCULO DE TENSAO EFETIVA.
P(1) -TENSAO EFETIVA INICIAL.
PC(1) -TENSAO DE PRE-COMPRESSAO.
OBSERVAR AINDA :
SE GAMMA.NE.0., AS TENSOES EFETIVAS INICIAIS, P, SERAO CALCULADAS E
O ADENSAMENTO NORMAL SERA ASSUMIDO.
SE GAMMA.EQ.0., TENSOES INICIAIS E DE PRE-COMPRESSAO SERAO LIDAS.

6 READ(INPUT,192) EO, ASKPTN
BSKPTN=1.
IF(IAV.EQ.0) GO TO 70
READ(INPUT,192) CC, ROC, GAMMA
IF(GAMMA.EQ.0.) GO TO 561

CALCULAR AS TENSOES EFETIVAS INICIAIS.

AD=DY*GAMMA
P(1)=AD
PC(1)=AD
PLOG(1)=0.
AI=0.
DO 565 I=2, MYE
AI=AI+AD
P(I)=AI
PC(I)=AI
PLOG(I)=0.
565 CONTINUE
GO TO 563

LER AS TENSOES EFETIVAS INICIAIS E AS DE PRE-COMPRESSAO.
561 READ(INPUT,192) P(1), PC(1)
DO 562 I=2, MYE
READ(INPUT,192) P(I), PC(I)

```

```

PLOG(I)=ALOG(PC(1)/P(I))
562 CONTINUE
IF(P(1).EQ.0.) P(1)=P(2)
IF(PC(1).EQ.0.) PC(1)=PC(2)
PLOG(1)=ALOG(PC(1)/P(1))
GO TO 563

```

LER OS PARAMETROS DE ADENSAMENTO, CASO IAV=0.  
 AVO -COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE INICIAL.  
 CV,CR -COEFICIENTE DE ADENSAMENTO VERTICAL E RADIAL.

```

70 READ(INPUT,193) AVO
563 READ(INPUT,193) CV,CR

```

LER AS NC RESISTENCIAS INICIAIS CO(I) E AS RAZOES C/P, CP(I), NAS  
 PROFUNDIDADES ARBITRARIAS Y.  
 SE NC.EQ.MYE, AS PROFUNDIDADES SERAO ASSUMIDAS IGUAIS A H\*YE.  
 SE NC.NE.MYE, OS VALORES CO E CP NAS PROFUNDIDADES H\*YE SERAO OBTI-  
 DOS POR INTERPOLACAO. NESTE CASO OS VALORES LIDOS SERAO DESTRUÍDOS.

```

IF(ISP.EQ.1) GO TO 521
READ(INPUT,191) NC
DO 580 I=1,NC
READ(INPUT,192) Y,UA(I),UB(I)
580 YRP(I)=Y/H
IF(NC.EQ.MYE) GO TO 581
CALL LAGR(YE,CO,MYE,1,YRP,UA,NC)
CALL LAGR(YE,CP,MYE,1,YRP,UB,NC)
GO TO 582
581 DO 583 I=1,MYE
CO(I)=UA(I)
583 CP(I)=UB(I)

```

DEFINIR OS VETORES XSTAB E YSTAB QUE SERAO NECESSARIOS NA ANALISE  
 DA ESTABILIDADE

```

582 DO 584 I=1,MX
584 XSTAB(I)=W*XE(I)
DX=XSTAB(2)-XSTAB(1)
DO 586 I=1,MYE
586 YSTAB(I)=H*YE(I)

```

REDEFINIR ROCL=INDICE DE RECOMPRESSAO DA CAMADA INFERIOR/CC DA CA-  
 MADA INFERIOR.  
 DEFINIR OS PARAMETROS KKK,KIAV,FUP,FLO E CCC QUE SERAO NECESSARIOS  
 NA SUBROTINA SETL.  
 GERAR AS MOLECULAS MATEMATICAS PARA AS FORMULAS DE SIMPSON OU TRA-  
 PEZOIDAL, SVM.

```

521 KKK=MYE
KIAV=IAV+1
AD=H
AI=1.+EQ
IF(LAYER.GE.3) GO TO 524
DO 523 I=1,MYE
523 SVM(I)=SV(I)
GO TO 530
524 KKK=LAYER
CALL GENS(SVM,KKK,0,0.0,0.0)
MM=MYE-LAYER+1
CALL GENS(UA,MM,0,0.0,0.0)
II=LAYER
DO 525 I=1,MM
II=II+1
525 SVM(II)=UA(I)
AS=1.+EQ*REO
IF(RCC.NE.0.) ROCL=ROCL/RCC
AD=H*YE(LAYER)
530 IF(IAV.EQ.1) GO TO 520

```

GERAR OS PARAMETROS FUP E FLO, SE IAV=0.

```

FUP=AD*AVO/AI
IF(LAYER.GE.3) FLO=(H-AD)*AVO*RAV/AS
GO TO 527

```

GERAR OS PARAMETROS FUP E FLO, SE IAV=1.

```

520 CCC=0.4342945*CC
FUP=AD*CCC/AI

```

```
IF(LAYER.GE.3) FLO=(H-AD)*CCC*RCC/AS
```

```
***** CARGA DE REFERENCIA *****
```

CARGA DE REFERENCIA SERA A CARGA FINAL QUE ATUARA SOBRE O MACICO DE SOLO COMPRESSIVEL.

LER AS CARACTERISTICAS DA CARGA DE REFERENCIA :

XINP -COORDENADA X DOS PONTOS QUE CARACTERIZARAO O CONTOURNO DO ATERRO.

YINP -COORDENADA Y CORRESPONDENTE.

MINP -NUMERO DE PONTOS (XINP,YINP).

NS -NUMERO DE FAIXAS QUE A CARGA SERA APROXIMADA.

```
527 WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,900)
WRITE(IOUTP,1001)
WRITE(IOUTP,1002)
WRITE(IOUTP,1003)
WRITE(IOUTP,1004)
WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,903)
WRITE(IOUTP,900)
WRITE(IOUTP,803)
READ(INPUT,191)MINP,NS
WRITE(IOUTP,930) GLOAD,CLOAD,YWM,TGPHI
WRITE(IOUTP,830)
DO 101 I=1,MINP
READ(INPUT,192) XINP(I),YINP(I)
101 WRITE(IOUTP,931) XINP(I),YINP(I)
```

CALCULAR AS PRESSUES NEUTRAS NOS PONTOS QUE COMPOEM A MALHA DO MACICO COMPRESSIVEL.ELAS SERVIRAO DE REFERENCIA NO CALCULO DO GRAU DE ADENSAMENTO.

```
CALL PORE (XINP,YINP,MINP,NS,XT,IEND,YE,MYE,UB,ASKPTN,BSKPTN)
```

LER OS PARAMETROS NECESSARIOS PARA A ANALISE DA ESTABILIDADE :

TA -TEMPO AVALIADO DE CONSTRUCAO DO ATERRO.

SPECS -RECALQUE ESPECIFICADO NO TEMPO TA,NA VERTICAL XT(1).

C -FRACAO DA CARGA DE REFERENCIA QUE SERA APLICADA NO TEMPO ZERO.

FSI -FATOR DE SEGURANCA MINIMO NO TEMPO TA.

FSLT -FATOR DE SEGURANCA A LONGO PRAZO,DEPOIS DE COMPLETADO O ADENSAMENTO,CONSIDERANDO O MAXIMO GANHO DE RESISTENCIA.

DMAX -MAXIMO INTERVALO A SER USADO NA PROCURA DO MINIMO FS.

DMIN -MINIMO INTERVALO A SER USADO NA PROCURA DO MINIMO FS.

XC,YC -COORDENADAS NO CENTRO DO PRIMEIRO ARCO TESTE.

ZZ -O MAXIMO YINP MENOS O MINIMO PERMISSIVEL YC.

NARC -METADE DO NUMERO DE SUBARCOS,USADOS NA ANALISE DA ESTABIL.

NRAD -NUMERO DE RAIOS TESTES,USADOS PARA CADA CENTRO QUE SERA TESTADO.

```
READ(INPUT,192) TA,SPECS,C,FSI,FSLT,DMAX,DMIN,XC,YC,ZZ
PERC=100.*C
IF(ISTAB.EQ.1) GO TO 401
READ(INPUT,191) NARC,NRAD
IF(DMAX.GT.DMIN) GO TO 401
DMAX=H/2.
DMIN=H/20.
401 WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,940) TA,PERC
IF(ISTAB.EQ.0) WRITE(IOUTP,840) DMAX,DMIN,NARC,NRAD
DO 325 I=1,ISUM
UA(I)=UB(I)
325 CONTINUE
IF(ISTAB.EQ.1) GO TO 107
```

CHAMAR AS SUBROTINAS PARA A ANALISE DA ESTABILIDADE.

```
CALL INIT(XINP,YINP,MINP,XC,YC,YY,ZZ,DMIN)
```

```
CALL GAIN(UA,K,SU,MYE,MXT,MXE,MX,NIM,CO,CP,0)
```

```
CALL STAB(XC,YC,RR,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FSS,DMAX,DMIN,YY)
```

```
TTT=999999.
```

```
WRITE(IOUTP,942) TTT,FSS,FSLT,XC,YC,RR
```

```
IF(FSS.GE.FSLT) GO TO 107
```

```
WRITE(IOUTP,940) FSS,FSLT
```

D FATUR DE SEGURANCA DEPOIS DO MAXIMO GANHO DE RESISTENCIA NAO E SUFICIENTE.LER,ENTAO,OS CARTOES DE DADOS RESTANTES PERTENCENTES A ESTE CASO.



PASSAR PARA O PROXIMO CASO.

```

328 IF(ISP.EQ.1) GO TO 322
    READ(INPUT,191) JEND
    READ(INPUT,191) (JSP(K),K=1,JEND)
322 READ(INPUT,194) BLANK,STAR,GRID,SYMB(1),SYMB(2)
    READ(INPUT,191) LEND
    WRITE(OUTPUT,820)
    GO TO 100

```

SENDO O FATOR DE SEGURANCA SUFICIENTE, O PROGRAMA PROSSEGUE NORMAL.  
CALCULAR AS PRESSOES NEUTRAS MEDIAS, UAVER, E OS RECALQUES TOTAIS DE  
ADENSAMENTO, SETRT, PARA A CARGA DE REFERENCIA.

```

107 II=0
    DO 102 I=1,IEND
        UAVER(I)=0.
        DO 102 J=1,MYE
            II=II+1
102 UAVER(I)=UAVER(I)+UB(II)*SV(J)
    CALL SETL (UB,SETRT,IEND,KKK,MYE,1.,FUP,FLO,KIAV)
    WRITE(OUTPUT,932) IEND
    WRITE(OUTPUT,832)
    DO 71 I=1,IEND
        AI=W*XT(I)
        WRITE(OUTPUT,933) AI,UAVER(I),SETRT(I)
71 CONTINUE

```

DEFINIR SETS, COMO SENDO O RECALQUE ESPECIFICADO NO TEMPO TA.  
DETERMINAR A RAZAO DO DRENO, RWE, QUE ASSEGURA ESTE RECALQUE.

```

SETS=SPESCS
IDC=0
ISP=0
DO 323 IRWE=1,NRWE
    RWE=RHOIN(IRWE)

```

DETERMINAR AS CONSTANTES IDC E NDR QUE SERAO USADAS NA SUBROT.DISP.  
IDC=1 SOMENTE FLUXO VERTICAL, EM TODAS AS VERTICAIS XT.  
IDC=2 FLUXO VERTICAL E RADIAL EM ALGUMAS OU EM TODAS AS VERTIC.XT.  
NDR NUMERO DE VERTICAIS XT COM DRENAGEM RADIAL E VERTICAL.

```

IF(RWE.EQ.0.) GO TO 43
IF(IDC.EQ.2) GO TO 324
IF((XT(1)*W).LE.XDR) GO TO 44
43 IDC=1
    NDR=0
    GO TO 45
44 IDC=2
    IF(IEND.LT.2) GO TO 512
    DO 46 I=2,IEND
        IF((XT(I)*W).LE.XDR) GO TO 46
        NDR=NDR+1
    GO TO 324
46 CONTINUE
512 NDR=NDR+1
324 RE=RW/RWE
    AI=MRE-1
    FIMPR=0.
    RD=RW
    QD=SQRT(RD)
    QE=SQRT(RE)
    DQ=(QE-QD)/AI
    IF(IBC.NE.4) GO TO 5
    RD=RW*RSW
    QD=SQRT(RD)
    DQ=(QE-QD)/AI
    CHIR=RKR*QD*ALOG(RSW)/(2.*DQ)
    FIMPR=CHIR/(1.+CHIR)
5 DQSQ=DQ*DQ
    WD=QD/QE
    DEL=DQ/QE
    CALL GFNS (SR,MRE,1,WD,DEL)
    SRM(1)=SR(2)+FIMPR*SR(1)
    DO 88 I=3,MRE
88 SRM(I-1)=SR(I)
    OMEGA(1)=CR/(4.*DQSQ)
45 PHI(1)=CV/DYSQ

```

CHAMAR A SUBROT.DISP PARA DETERMINAR OS AUTOVALORES E A MATRIZ MO-

DAL NO CASO DE RAMPA DE CARREGAMENTO.  
DETERMINAR A SEGUIR AS PRESSOES NEUTRAS NO TEMPO TA.

```
CALL DISP(UA,6,OMEGA,PHI,0,UAVE,1,MYE,IEND,XT,SV,SR)
CALL DISP(UB,4,OMEGA,PHI,TA,UAVE,1,MYE,IEND,XT,SV,SR)
DO 326 J=1,ISUM
UB(J)=UA(J)-UB(J)
```

326 CONTINUE

DETERMINAR OS RECALQUES NO TEMPO TA NA VERTICAL XT(1).

```
CALL SETL(UB,SETT,1,KKK,MYE,1,FUP,FLO,KIAV)
IF(SETT(1).LT.SETS) GO TO 323
IF(ISTAB.EQ.1) GO TO 327
```

DETERMINAR O FATOR DE SEGURANCA CONTRA A RUPTURA.

```
CALL GAIN(UB,R,SU,MYE,MXT,MXE,MX,NIM,CO,CP,0)
CALL STAB(XC,YC,RR,XINP,YINP,MINP,MX,MYE,SU,FSTA,DMAX,DMIN,YY)
IF(FSTA.GE.FS1) GO TO 420
```

323 CONTINUE

```
WRITE(IOUTP,720) TA,FSTA,FS1,SETT(1),SETS
ISP=ISTAB
GO TO 328
```

LISTAR OS DADOS LIDOS E OS VALORES CALCULADOS ATE AGORA.

```
420 WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,942) TA,FSTA,FS1,XC,YC,RR
WRITE(IOUTP,902)
```

327 ISP=ISTAB

```
WRITE(IOUTP,904)
WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,905) (YE(I),I=1,MYE)
WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,906) (XT(I),I=1,IEND)
WRITE(IOUTP,902)
IF(ISP.EQ.1) GO TO 52
WRITE(IOUTP,908) (XE(I),I=1,MX)
WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,909)
DO 51 I=1,NIM
MM=MXT(I)-1
```

51 WRITE(IOUTP,910) MM,AX(I),AX(I+1)

```
WRITE(IOUTP,902)
```

52 IF(RWE.EQ.0.) GO TO 53

```
DO 701 I=1,MRE
```

```
AI=I-1
```

```
AI=00+AI*DQ
```

```
AUX(I)=AI*AI
```

701 CONTINUE

```
WRITE(IOUTP,911)
```

```
WRITE(IOUTP,912) (AUX(I),I=1,MRE)
```

53 WRITE(IOUTP,900)

```
WRITE(IOUTP,901)
```

```
WRITE(IOUTP,914) H,W
```

```
WRITE(IOUTP,902)
```

```
IF(LAYER.LT.3) GO TO 54
```

```
AI=YE(LAYER)*H
```

```
WRITE(IOUTP,814)
```

```
WRITE(IOUTP,915) AI,RK,RC,REQ
```

```
IF(IAV.EQ.0) GO TO 551
```

```
WRITE(IOUTP,715) RCC,ROCLS
```

```
GO TO 552
```

551 WRITE(IOUTP,815) RAV

552 WRITE(IOUTP,902)

54 WRITE(IOUTP,916) ASKPTN,BSKPTN

```
WRITE(IOUTP,902)
```

```
WRITE(IOUTP,918) EQ
```

```
IF(IAV.EQ.1) GO TO 711
```

```
WRITE(IOUTP,818) AVO
```

```
GO TO 554
```

711 WRITE(IOUTP,919) CC,RDC

```
WRITE(IOUTP,902)
```

```
WRITE(IOUTP,819)
```

```
DO 555 I=1,MYE
```

```
AI=YE(I)*H
```

```
WRITE(IOUTP,719) AI,P(I),PC(I)
```

555 CONTINUE

```
WRITE(IOUTP,619)
```

```

WRITE(IOUTP,902)
554 WRITE(IOUTP,934) CV,CR
WRITE(IOUTP,902)
WRITE(IOUTP,922)
IF(RWE.EQ.0.) RE=0.
WRITE(IOUTP,923) RW,RWE,RE
IF(BCR.EQ.5) GO TO 59
WRITE(IOUTP,924) RSW,RKR
GO TO 60
59 WRITE(IOUTP,925)
60 IF(BCV.NE.1) GO TO 61
WRITE(IOUTP,926) HI,RKV
GO TO 64
61 IF(BCV.EQ.3) GO TO 63
WRITE(IOUTP,927)
GO TO 64
63 WRITE(IOUTP,928)
64 WRITE(IOUTP,929) XDR
WRITE(IOUTP,902)
IF(ISP.EQ.1) GO TO 587
WRITE(IOUTP,961)
DO 588 I=1,MYE
588 WRITE(IOUTP,962) YSTAB(I),CO(I),CP(I)
587 WRITE(IOUTP,900)

```

REWIND 1

```

T(1)=TB(1)
DO 330 I=1,IEND
SETT(I)=0.
UAVE(I)=0.
WRITE(1) SETT(I),UAVE(I)
330 CONTINUE
DO 331 I=1,IT
TT=TB(1)
IF(TA.LE.TT) GO TO 332
T(I)=TT
331 CONTINUE
JPL=1
GO TO 334
332 T(I)=TA
DO 333 J=1,IT
JPL=J+1
T(JPL)=TB(J)
333 CONTINUE
334 DO 335 I=2,JPL
CALL DISP (UB,4,OMEGA,PHI,T(I),UAVE,1,MYE,IEND,XT,SV,SR)

```

CALCULAR OS RECALQUES.

```

AA=1.
IF(T(I).LT.TA) AA=C+(1.-C)*T(I)/TA
DO 336 JJ=1,ISUM
UB(JJ)=UA(JJ)*AA-UB(JJ)
336 CONTINUE
CALL SETL(UB,SETT,IEND,KKK,MYE,1.,FUP,FLO,KIAV)
DO 337 J=1,IEND
UAVE(J)=AA-UAVE(J)/UAVR(J)
WRITE(1) SETT(J),UAVE(J)
337 CONTINUE
335 CONTINUE
LOCK 1
REWIND 1
REWIND 2

```

\*\*\*\*\* SAIDA DOS RESULTADOS \*\*\*\*\*

ESCREVER O TITULO PARA A IMPRESSAO DOS RESULTADOS DO PROCESSO DE ADENSAMENTO. OBSERVAR QUE :

SE ISP=0, LER AS VERTICAIS XE PARA AS QUAIS SAIRAO OS RESULTADOS.

SE ISP=1, OS RESULTADOS SAIRAO PARA TODAS AS VERTICAIS XT.

```

WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,950)
WRITE(IOUTP,850)
WRITE(IOUTP,751)
IF(ISP.EQ.1) GO TO 217
READ(INPUT,191) JEND
READ(INPUT,191) (JSP(K),K=1,JEND)
DO 218 I=1,JEND

```

```

      K=JSP(1)
218 XRP(1)=W*XE(K)

```

DETERMINAR OS INDICES MXS E A MATRIZ RSP, QUE E UMA SUBMATRIZ DA MATRIZ R. ESTA SUBMATRIZ SERA USADA PARA A DETERMINACAO DE INFORMACOES NAS VERTICAIS XRP, A PARTIR DE INTERPOLACAO ENTRE AS VERTICAIS XT.

```

      IRE=0
      IRS=0
      K=1
      MM=MXE(1)
      MT=MXT(1)
      DO 210 JJ=1,NIM
210  MXS(JJ)=0
      JJ=1
      DO 211 I=1,MX
      IF(JSP(K).EQ.1) GO TO 214
      IRE=IRE+MXT(JJ)
      GO TO 215
214  DO 212 J=1,MT
      IRS=IRS+1
      IRE=IRE+1
212  RSP(IRS)=R(IRE)
      MXS(JJ)=MXS(JJ)+1
      IF(K.EQ.JEND) GO TO 213
      K=K+1
215  IF(MM.NE.1) GO TO 211
      JJ=JJ+1
      MT=MXT(JJ)
      MM=MM+MXE(JJ)
211  CONTINUE
217  JEND=IEND
      DO 219 I=1,JEND
219  XRP(1)=W*XT(I)
213  WRITE(IOUTP,951) (XRP(I),I=1,JEND)
      WRITE(IOUTP,902)
      DO 250 I=1,JEND
250  XRP(1)=XRP(1)/W
      MM=2
      MT=MM*JEND

```

LER DO ARQUIVO 1, AS INFORMACOES UAVE E SETT DAS VERTICAIS XT.  
OBSERVAR QUE :  
SE ISP=1, ESTAS INFORMACOES DEVERAO SER ESCRITAS.  
SE ISP=0, FAZER AS INTERPOLACOES USANDO A MATRIZ RSP E ENTAO ESCRIVER AS INFORMACOES.  
ARMAZENAR AS INFORMACOES NO ARQUIVO 2 PARA POSTERIOR PLOTAGEM DOS GRAFICOS FINAIS. USAR UA E UB PARA ARMAZENAGEM TEMPORARIA.

```

      CONTD=28
      DO 220 J=1,IT
      II=1
      DO 221 I=1,IEND
      READ(1) UA(II+1),UA(II)
      II=II+MM
221  CONTINUE
      IF(ISP.EQ.1) GO TO 225

```

FAZER AS INTERPOLACOES PARA OS PONTOS XRP POR MEIO DA MATRIZ RSP.  
NOTAR QUE :  
AS INFORMACOES PARA AS VERTICAIS XT ESTAO ARMAZENADAS EM UA.  
AS INFORMACOES OBTIDAS POR INTERPOLACAO, PARA AS VERTICAIS XRP, ESTAO ARMAZENADAS EM UB.

```

      IUBE=0
      IUND=0
      IRND=0
      DO 216 JJ=1,NIM
      IUBS=IUBE+1
      IUBE=IUBE+MM*MXT(JJ)
      IF(MXS(JJ).EQ.0) GO TO 216
      IUST=IUND+1
      IUND=IUND+MM*MXS(JJ)
      IRST=IRND+1
      IRND=IRND+MXT(JJ)*MXS(JJ)
      CALL MPRD (UA,RSP,UB,MM,MXT(JJ),MXS(JJ),IUBS,IRST,IUST)
216  CONTINUE
      GO TO 226

```

DEFINIR UB PARA O CASO DE ISP=1

```

225 DO 222 I=1,MT
222 UB(I)=UA(I)
226 IF(J.EQ.1) GO TO 227
IF(T(J).NE.TA) GO TO 228
WRITE(IOUTP,955) TA
IF(T(J).EQ.T(J+1)) J=J+1
GO TO 228
227 WRITE(IOUTP,952) T(J)
CONTD=CONTD+8
228 WRITE(IOUTP,953) T(J)
DO 223 K=1,MM
WRITE(IOUTP,851) (UB(I),I=K,MT,MM)
223 CONTINUE
WRITE(2) (UB(I),I=1,MT)
IF(MM.LT.4) WRITE(IOUTP,902)
CONTD=CONTD+8
IF(CONTD-76) 220,2200,2200
2200 WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,902)
CONTD=4
220 CONTINUE

```

REWIND 1

\*\*\*\*\* ROTINA DE PLOTAGEM \*\*\*\*\*

LER OS SIMBOLOS DE PLOTAGEM. SERAO UTILIZADOS OS SEGUINTE SIMBOLOS:

1) BLANK - PARA OS ESPACOS EM BRANCO.  
 2) STAR - ASTERISTICOS(\*).  
 3) GRID=1 - PARA A ESCALA HORIZONTAL.  
 4) SYMB(1)=U - PARA OS GRAUS DE ADENSAMENTO MEDIOS.  
 5) SYMB(2)=C - PARA OS RECALQUES DE ADENSAMENTO.  
 6) SYMB(3)=D - PARA OS RECALQUES IMEDIATOS.  
 7) SYMB(4)=T - PARA OS RECALQUES TOTAIS.  
 LER O NUMERO DE LINHAS A SEREM IMPRESSAS, LEND.

```

READ(INPUT,194) BLANK,STAR,GRID,(SYMB(I),I=1,MM)
READ(INPUT,191) LEND
KEND=T(IT)/7.+1.001
IF(LEND.GT.KEND) LEND=KEND
WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,801)
WRITE(IOUTP,753)
WRITE(IOUTP,653)

```

CALCULAR OS RECALQUES DE REFERENCIA PARA OS PONTOS XRP, A PARTIR DOS RECALQUES TOTAIS, SETRT, NOS PONTOS XT.

```

IF(ISP.EQ.0) GO TO 297
DO 298 I=1,LEND
298 SETR(I)=SETRT(I)
GO TO 299
297 IUBE=0
IUND=0
IRND=0
DO 406 I=1,NIM
IUBS=IUBE+1
IUBE=IUBE+MXT(I)
IF(MXS(I).EQ.0) GO TO 406
IUST=IUND+1
IUND=IUND+MXS(I)
IRST=IRND+1
IRND=IRND+MXT(I)*MXS(I)
CALL MPRD (SETRT,RSP,SETR,1,MXT(I),MXS(I),IUBS,IRST,IUST)
406 CONTINUE
299 DO 300 J=1,JEND
JS=(J-1)*MM+1

```

ESCREVER O TITULO PARA O GRAFICO DA J-ESIMA VERTICAL.

```

X=XRP(J)*W
WRITE(IOUTP,901)
WRITE(IOUTP,954) X,SETR(J)

```

```

REWIND 2
READ(2) (UB(I),I=1,MT)

```

GERAR A PRIMEIRA LINHA QUE SERA IMPRESSA.

```

LOUT=T(1)/7.+0.1
JT=2
K=T(2)/7.+0.1
DO 301 I=1,66
301 ROW(I)=STAR
DO 302 I=6,61,5
302 ROW(I)=GRID
JJ=JS
II=50.*UB(JJ)+1.5
ROW(II)=SYMB(1)
DO 303 I=2,MM
JJ=JJ+1
II=50.*UB(JJ)/SETR(J)+1.5
303 ROW(II)=SYMB(1)

    ESCREVER A PRIMEIRA LINHA E LOGO EM SEGUIDA LIMPAR ROW(I).

    WRITE(IOUTP,957)
    WRITE(IOUTP,956) LOUT,(ROW(I),I=1,66)
    DO 304 I=2,65
304 ROW(I)=BLANK
    ROW(1)=STAR
    ROW(66)=STAR
    MK=MM

    DETERMINAR AS LINHAS SEGUINTE QUE SERAO IMPRESSAS.

    DO 306 L=2,LEND
    LOUT=LOUT+1
    IF(K.EQ.LOUT) GO TO 305
    WRITE(IOUTP,956) LOUT,(ROW(I),I=1,66)
    GO TO 306
305 JT=JT+1
    IF(JT.GT.IT) JT=1
    K=T(JT)/7.+0.1

    LER OS DADOS ARMAZENADOS NO ARQUIVO 2 E DETERMINAR OS SIMBOLOS QUE
    SERAO IMPRESSOS.

309 READ(2) (UB(I),I=1,MT)
    JJ=JS
    IKK=MK-MM+1
    II=50.*UB(JJ)+1.5
    ROW(II)=SYMB(1)
    KK(IKK)=II
    DO 307 I=2,MM
    JJ=JJ+1
    IKK=IKK+1
    II=50.*UB(JJ)/SETR(J)+1.5
    ROW(II)=SYMB(1)
    KK(IKK)=II
307 CONTINUE
    IF(K.NE.LOUT) GO TO 310
    JT=JT+1
    K=T(JT)/7.+0.1
    MK=MK+MM
    GO TO 309

    ESCREVER A I-ESIMA LINHA E LIMPAR ROW(I) DESDE O INDICE 2 ATE O 75.

310 WRITE(IOUTP,956) LOUT,(ROW(I),I=1,66)
    DO 308 I=1,MK
    II=KK(I)
308 ROW(II)=BLANK
    ROW(1)=STAR
    ROW(66)=STAR
    MK=MM
306 CONTINUE

    GERAR E ESCREVER A ULTIMA LINHA

    DO 311 I=1,66
311 ROW(I)=STAR
    DO 312 I=6,61,5
312 ROW(I)=GRID
    LOUT=LOUT+1
    WRITE(IOUTP,956) LOUT,(ROW(I),I=1,66)
300 CONTINUE
    GO TO 100

```

## \*\*\*\*\* DECLARACOES FORMAT \*\*\*\*\*

```

191 FORMAT(20I4)
192 FORMAT(10F8.3)
193 FORMAT(4E10.5)
194 FORMAT(7A1)

900 FORMAT(////)
901 FORMAT(1H1)
901 FORMAT(20(//))
902 FORMAT(//)
903 FORMAT(//, T24, 34(' '), /, T24, ' ', T57, ' ', /, T24, ' ',
1  ' * PROGRAMA PRINCIPAL DETR ' *, /, T24, ' ', T57, ' ',
2  /, T24, ' * CALCULO DA RAZAO DO DRENO, RWE ' *, /, T24, ' ',
3  T57, ' ', T24, 34(' '))
903 FORMAT( T27, ' *** CARGA DE REFERENCIA ***', /, T16,
1  ' E A CARGA FINAL QUE ATUARA NO MACICO COMPRESSIVEL', /,
904 FORMAT( T18, ' *** MALHA EXISTENTE NO MACICO COMPRESSIVEL '
1  ' ***', /, T20, ' PONTOS (YE/H) EXISTENTES EM CADA '
2  ' VERTICAL: ', /)
905 FORMAT( 9X, 5(F5.3, 9X))
906 FORMAT( T23, ' VERTICAIS (XT/W) QUE COMPOEM A MALHA: ', /,
1  ( 9X, 5(F5.3, 9X)))
908 FORMAT( T11, ' VERTICAIS (XE/W) NAS QUAIS A PRESSAO NEU'
1  ' TRA FOI INTERPOLADA: ', /, ( 9X, 5(F5.3, 9X)))
909 FORMAT( T9, ' NA INTERPOLACAO, FOI ADOOTADA UMA COLOCACAO'
1  ' POLINOMIAL DE GRAU: ', /)
910 FORMAT( (T20, I1, ' ENTRE AS VERTICAIS (X/W) ', F5.3, ' E ', F5.3, ))
911 FORMAT( T17, ' VERTICAIS NO INTERIOR DA REGIAO DE INFLUENCIA'
1  ' DO ', /, T17, ' DRENO NAS QUAIS AS PRESSOES NEUTRAS '
2  ' RADIAS FURAM ', /, T17, ' CALCULADAS: ', /)
912 FORMAT( (T14, ' R(METROS)= ', 2X, 5(F5.3, 5X)))
914 FORMAT( T13, ' *** PARAMETROS QUE CARACTERIZAM O MACICO COM'
1  ' PRESSIVEL ***', /, T13, ' ESPESSURA TOTAL', T54, ' H= ',
2  ' F6.3, ' METROS', /, T13, ' COMPRIMENTO DE REFERENCIA NA'
3  ' DIRECAO X W= ', F5.1, ' METROS', )
914 FORMAT( T12, ' * CASO EM QUE O SUBSOLO E ESTRATIFICADO'
1  ' COM DUAS CAMADAS: ', /)
915 FORMAT( T10, ' A CAMADA DE INTERFACE ESTA A ', F6.3, ' METROS'
1  ' ABAIXO DA SUPERFICIE ', /, T5, ' AS RAZOES ENTRE OS PARAME'
2  ' TROS (CAMADA INFERIOR/CAMADA SUPERIOR) SAO: '
3  /, T14, ' - ENTRE COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE', 6X, ' RK= '
4  ' F6.3, /, T14, ' - ENTRE COEFICIENTES DE ADENSAMENTO', 9X, ' RC= '
5  ' F6.3, /, T14, ' - ENTRE INDICES DE VAZIOS INICIAIS', 10X, ' REO= ', F6.3)
915 FORMAT( T14, ' - ENTRE COEFICIENTES DE COMPRESSIBILIDADE'
1  ' RAV= ', F6.3, )
915 FORMAT( /, T14, ' - ENTRE INDICES DE COMPRESSIBILIDADE', 7X,
1  ' RCC= ', F6.3, /, T14, ' - ENTRE INDICES DE RECOMPRESSAO',
2  ' E CC', 7X, ' ROCL= ', F6.3, /)
916 FORMAT( T11, ' PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA ADOOTADOS: '
1  ' A= ', F4.2, ' E B= ', F4.2)
918 FORMAT( T23, ' PARAMETROS ESPECIFICOS DE ADENSAMENTO', /,
1  ' T10, ' CELES PERTENCERAO A CAMADA SUPERIOR NO CASO DE '
2  ' ESTRATIFICACAO', /, T7, ' - INDICE DE VAZIOS INICIAL',
3  ' T66, ' EO= ', F6.3, /)
918 FORMAT( T7, ' - COEFICIENTE DE COMPRESSIBILIDADE INICIAL',
1  ' T65, ' AVO= ', F5.3, /)
919 FORMAT( T7, ' - INDICE DE COMPRESSIBILIDADE', T66, ' CC= '
1  ' F5.3, /, T7, ' - RAZAO ENTRE RECOMPRESSAO E INDICE DE '
2  ' COMPRESSIBILIDADE ROC= ', F5.3, /)
919 FORMAT( T10, ' DISTRIBUICAO DAS PRESSOES GEOSTATICAS NO'
1  ' SUBSOLO COMPRESSIVEL', /, T15, ' - Y PROFUNDIDADE'
2  ' EM RELACAO AO NIVEL DO TERRENO', /, T15, ' - P(I) '
3  ' PRESSAO EFETIVA INICIAL', /, T15, ' - PC(1) PRESSAO DE '
4  ' PRE-ADENSAMENTO', /, T14, ' Y (METROS)', 11X, ' P (TON/M2)',
5  ' 11X, ' PC(TON/M2)', /)
919 FORMAT( ( 15X, 3(F6.3, 15X)))
919 FORMAT( T9, ' OBSERVACAO: OS VALORES DE P(1) E PC(1)'
1  ' LISTADOS ANTERIORMENTE', /, T28, ' PODEM TER SIDO ALTE'
2  ' RADOS PARA EVITAR DIVISAO ', POR, /, T28, ' ZERO NO '
3  ' CALCULO DO PLOG(1).')
920 FORMAT( T4, ' OBSERVE QUE O FATOR DE SEGURANCA OBTIDO, FSS= '
1  ' F5.3, ' E MENOR QUE O EXIGIDO', /, T4, ' FSLI= ', F5.3,
2  ' MESMO APOS TER-SE COMPLETADO O ADENSAMENTO', )
920 FORMAT( /, T19, ' *** O PROGRAMA PASSA PARA O PROXIMO CASO ***', /,
720 FORMAT( T8, ' NO TEMPO LIMITE DE CONSTRUCAO DO ATERRO, TA= '
1  ' F4.0, ' DIAS, OS VALORES', /, T8, ' OBTIDOS PARA FATOR DE '
2  ' SEGURANCA, FSTA= ', F5.3, ' (FSI= ', F5.3, ' ), E/QU', /
3  ' T8, ' PARA O RECALQUE DE ADENSAMENTO, SETT(1)= ', F5.3,
4  ' METROS (SETs= ', F5.3, /, T8, ' METROS), NAO SATISFAZEM'

```

```

5 'AS EXIGENCIAS ESPECIFICADAS PARA ESTE TEMPO')
922 FORMAT( T15, '*** CONDICÖES DE DRENAGEM NO MACICO COMPRES-
1 'SIVEL ***', //)
923 FORMAT( T17, 'RAIO DO POÇO DE DRENAGEM RW= ', F6.3,
1 'METROS', //, T17, 'RAZAO DO DRENO (RW/RE)', 6X, 'RWE= ',
2 'F6.3', //, T17, 'RAIO DE INFLUENCIA DO DRENO RE= ',
3 'F6.3', 'METROS', //)
924 FORMAT( T17, 'DRENAGEM IMPEDIDA NA FRONTEIRA DO POÇO '
1 'COM ', //, T3, 'RAIO DO "SMEAR" (RS) / RAIO DO POÇO '
2 '(RW)', T64, 'RSW= ', F5.3, //, T3, 'COEFICIENTE DE '
3 'PERMEABILIDADE RADIAL/COEFICIENTE PERMEAB. INICIAL DO SMEAR '
4 'RKR= ', F6.3, //)
925 FORMAT( T15, 'DRENAGEM LIVRE NA FRONTEIRA DO POÇO', //)
926 FORMAT( T5, 'DRENAGEM IMPEDIDA NA FRONTEIRA INFERIOR '
1 'DO SUBSTRATO COMPRESSIVEL COM: ', //, T10, 'COEFICIENTE '
2 'DE PERMEABILIDADE VERTICAL/COEFICIENTE', //, T10, 'DE PER '
3 'MEABILIDADE VERTICAL NO IMPEDIMENTO RKV= ', F6.3, 'METROS '
4 '//, T10, 'ESPESSURA DA CAMADA DE IMPEDIMENTO', 10X, 'HI= '
5 'F5.3', 'METROS', //)
927 FORMAT( T15, 'DRENAGEM LIVRE NA FRONTEIRA INFERIOR DO '
1 'SUBSTRATO COMPRESSIVEL', //)
928 FORMAT( T15, 'DRENAGEM NULA NA BASE DO SUBSOLO COMPRESSIVEL', //)
929 FORMAT( T15, 'DRENAGEM NULA NO RAIO DE INFLUENCIA DO DRENO '
1 '//, T15, 'NENHUM DRENO EM X.GT.', F8.3, 'METROS', //)
930 FORMAT( T27, 'CARACTERISTICAS DESTA CARGA: ', //, T4, '1 - '
1 'PESO ESPECIFICO NATURAL', T57, 'GLOAD= ', F5.3, 'TON/M3 '
2 '//, T4, '2 - RESISTENCIA NAO DRENADA', T57, 'CLOAD= ', F5.3,
3 'TON/M2', //, T4, '3 - ESPESSURA DO TAPETE DRENANTE', T59,
4 'YWM= ', F5.3, 'METROS', //, T4, '4 - TANGENTE DO ANGULO '
5 'DE ATRITO INTERNO DO TAPETE DRENANTE TGPHI= ', F5.3, //)
830 FORMAT( T4, '5 - COORDENADAS DOS PONTOS QUE DEFINEM O POL '
1 'IGONO DE CARREGAMENTO', //, T25, 'XINP(METROS)',
2 'T57, 'YINP(METROS)', //)
931 FORMAT( 2(26X, F6.3))
932 FORMAT( //, 1X, 'VALORES DAS PRESSÖES NEUTRAS MEDIAS INICIAS E '
1 'DOS RECALQUES NAS ', 12, //, T5, 'VERTICAIS XT', //, T12, 'XT(I) '
2 '5X, 'DISTANCIA DA I-ESIMA VERTICAL AO EIXO SIMETRIA', //,
3 'T12, 'UAVER(I) PRESSAO NEUTRA MEDIA NA I-ESIMA VERTICAL', //)
832 FORMAT( T12, 'SETRT(I) RECALQUE TOTAL NA I-ESIMA VERTICAL '
1 '//, 9X, 'XT(METROS)', 7X, 'UAVER(TON/M2)', 3X, 'SETRT(METR '
2 'OS)', //)
933 FORMAT( (11X, F6.3, 12X, F6.3, 11X, F5.3, 11X, F5.3, //))
934 FORMAT( T6, 'COEFICIENTE DE ADENSAMENTO PARA FLUXO '
1 'VERTICAL CV= ', E8.3, 'M2/DIA', //, T6, 'COE '
2 'FICIENTE DE ADENSAMENTO PARA FLUXO RADIAL CR= '
3 'E8.3, 'M2/DIA', //)
940 FORMAT( T6, 'TEMPO DE CONSTRUCAO DO ATERRO', T64, 'TA= ',
1 'F4.0, 'DIAS', //, T6, 'PERCENTAGEM DA CARGA DE REFEREN '
2 'CIA APLICADA NO TEMPO ZERO C= ', F5.2, 'X', //)
840 FORMAT( T14, 'PARAMETROS QUE SERAO USADOS NA ANALISE DA '
1 'ESTABILIDADE', //,
2 'T26, 'DMAX= ', F5.3, 'METROS', //, T26, 'DMIN= ',
3 'F5.3, 'METROS', //, T26, 'NARC= ', 12, //, T26, 'NRAD= ', 11, //, //)
942 FORMAT( T8, 'TEMPO', 6X, 'FATOR DE ' FATOR DE COORDENADAS '
1 'DO CENTRO', 6X, 'RAIO', //, T10, 'T19, 'SEGURANCA '
2 'T69, 'R', //, T8, '(DIAS)', T19, 'OBTIDO', T31, 'EXIGIDO '
3 'OS', 'YC(METROS) (METROS)', //, 6X, 'F7.0, 6X, 'F5.3, 7X,
4 'F5.3, 6X, 'F6.3, 6X, 'F6.3, 6X, 'F6.3, //)
950 FORMAT( T28, 27( '* ' ), //, T28, '* ' , T54, '* ' , //, T28, '* PROCE '
1 'SSO DE ADENSAMENTO * ' , //, T28, '* ' , T54, '* ' , //, T28, 27( '* ' ),
2 '//, T21, 'UAVE - GRAU DE ADENSAMENTO (%)', //, T21, 'SETC '
3 'RECALQUE DE ADENSAMENTO (METROS)', //, T21, 'SETI - '
4 'RECALQUE IMEDIATO (METROS)', //, T21, 'SETT - RECALQUE '
5 'TOTAL (METROS)', //)
850 FORMAT( T7, 'NOTA: AS DUAS ULTIMAS INFORMACOES, SETI E '
1 'SETT, SOMENTE SERAO', //, T14, 'ESCRITAS SE O SOLO FOR '
2 'PARCIALMENTE SATURADO (B.NE.1).')
951 FORMAT( 7X, F6.3, 5(6X, F6.3))
851 FORMAT( 10X, 5( F5.3, 6X))
751 FORMAT( //, T24, 'VERTICAIS XRP(METROS) ESCOLHIDAS '
1 //)
952 FORMAT( //, T30, '*** T= ', F4.0, 'DIAS ***', //,
1 'T26, 'TEMPO DE APLICACAO DE CARGA', //, //)
953 FORMAT( T34, 'T= ', F4.0, 'DIAS', //)
753 FORMAT( T28, 27( '* ' ), //, T28, '* ' , T54, '* ' , //, T28, '* '
1 'PLOTAGEM DOS GRAFICOS ' , //, T28, '* ' , T54, '* ' , //, T28,
2 '27( '* ' ), //, T33, 'SIMBOLOS UTILIZADOS', //, T4, 'U - CURVA '
3 'DO GRAU DE ADENSAMENTO', //, T4, 'C - CURVA DO RECALQUE '
4 'DE ADENSAMENTO EM PERCENTAGEM DO RECALQUE FINAL', //)
653 FORMAT( T4, 'O - CURVA DO RECALQUE IMEDIATO EM PERCENTAGEM '

```



```

1 DO RECALQUE TOTAL FINAL, //, T4, T - CURVA DO RECALQUE
2 TOTAL EM PERCENTAGEM DO RECALQUE TOTAL FINAL, //, T29,
3 COORDENADAS DO GRAFICO, //, T16, 'ABCISSAS' - VALORES DE
4 U, C, O, T EM PERCENTAGEM (%), //, T16, 'ORDENADAS' -
5 VALORES DO TEMPO EM SEMANAS, //)
954 FORMAT( T13, 'CURVAS PERTENCENTES A VERTICAL', 8X, 'XRP=',
1 F6.3, 'METROS', //, T13, 'RECALQUE TOTAL FINAL NESTA',
2 'VERTICAL SETR=', F5.3, 'METROS', //)
955 FORMAT( T7, 'TEMPO DE CONSTRUCAO DO ATERRO TA = ', F4.0,
1 'DIAS', //)
956 FORMAT( 1X, I2, 1X, 66A1)
957 FORMAT( 3X, U, 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8
1 '0.9 1.0 1.1 1.2 1.3', //)
961 FORMAT( T11, '*** RESISTENCIA AD CISALHAMENTO DO SUBSOLO',
1 'COMPRESSIVEL ***', //, T10, 'Y - PROFUNDIDADE EM REL',
2 'ACAO AD NIVEL DO TERRENO', //, T10, 'CO(I) - RESISTENCIA',
3 'NAO DRENADA INICIAL', //, T10, 'C / P - RAZAO ENTRE RE',
4 'SISTENCIA E A PRESSAO EFETIVA', //, T15, 'Y (METROS)',
5 T37, 'CO(TUN/M2)', T60, 'C / P', //)
962 FORMAT( 16X, F6.3, 16X, F6.3, 15X, F5.3, //)
1001 FORMAT( T30, 17(' '), //, T30, 18(' '), //, T30, '***', T45,
1 '***', //, T30, '***', T46, '***', //, 4( T30, '***', T47,
2 '***', //, T30, '***', T46, '***', //, T30, '***', T45,
3 '***', //, T30, 18(' '), //, T30, 17(' '), //)
1002 FORMAT( 2( T30, 20(' ') //, 3( T30, '***', //, 2( T30, 12(' ') //)
1 4( T30, '***', //, 2( T30, 20(' ') //, //)
1003 FORMAT( 2( T30, 20(' ') //, 11( T39, '***', //, //)
1004 FORMAT( T30, 17(' '), //, T30, 18(' '), //, T30, '***', T45,
1 '***', //, T30, '***', T46, '***', //, T30, '***', T47, '***',
2 /, T30, '***', T46, '***', //, T30, '***', T45, '***', //,
3 T30, 18(' '), //, T30, 17(' '), //, T30, '***', T43, '***',
4 /, T30, '***', T44, '***', //, T30, '***', T45, '***', //,
5 T30, '***', T46, '***', //)

```

END

SIMBOLOGIA EMPREGADA

A	-parâmetro de pressão neutra.
$A(\lambda), B(\lambda), C(\lambda), D(\lambda)$	-funções de $\lambda$ , determinadas a partir das condições de contorno na obtenção da função de Airy.
a	-razão entre os coeficientes de compressibilidade <u>ini</u> cial e final no processo de adensamento.
$a_v$	-coeficiente de compressibilidade.
B	-parâmetro de pressão neutra.
b	-largura da área carregada.
b	-razão entre os coeficientes de permeabilidade <u>ini</u> cial e final no processo de adensamento.
$C_f$	-compressibilidade dos fluidos.
$C_s$	-compressibilidade do esqueleto sólido.
$C_\alpha$	-razão de de <sup>c</sup> re <sup>s</sup> c <sup>i</sup> mento da espessura da amostra, obtida em relação a altura inicial e a altura após um ciclo completo de tempo na escala logarítmica, tomado imediatamente após o término do adensamento primário.
$\bar{c}$	-parâmetro de resistência do solo relativo a sua <u>coe</u> são.
cosh	-função cosseno hiperbólico.
$c_r$	-coeficiente de adensamento para fluxo de água radial.
$c_v$	-coeficiente de adensamento para escoamento de água na direção vertical.
$c_{vh}$	-coeficiente de adensamento para fluxo de água na <u>di</u> reção horizontal.
$c', \phi'$	-parâmetros de resistência do solo em termos de <u>ten</u> são efetiva.
$c'_r, \phi'_r$	-parâmetros de resistência residual do solo.
D	-coeficiente que depende da tendência de expansão(-) ou contração(+) quando do cisalhamento do solo.
E	-módulo de elasticidade longitudinal.
e	-índice de vazios.
$e_0$	-índice de vazios antes de iniciar o adensamento.
H	-espessura do maciço compressível.
$H_e$	-constante de Henry para a solubilidade de gases na água.

$H_p$	-espessura da camada compressível no tempo $t_p$ .
$I$	-fator de influência no cálculo dos recalques imediatos e que depende da forma da área carregada e da profundidade do depósito argiloso(Steinbrener (1934)).
$i$	-gradiente hidráulico definido como $i = \frac{\partial h}{\partial l}$ .
$k$	-coeficiente de permeabilidade.
$k_r$	-coeficiente de permeabilidade para fluxo de água na direção horizontal.
$k_v$	-coeficiente de permeabilidade para fluxo de água na direção vertical.
$k_0$	-coeficiente de permeabilidade inicial.
$L$	-nº de faixas de carga $p_0$ no qual o aterro foi aproximado.
$n$	-porosidade.
$P_u$	-pressão neutra dos gases existentes nos poros do solo compressível no caso de saturação parcial.
$P_0$	-faixa de carga uniformemente distribuída.
$q$	-acréscimo de pressão na fundação.
$R$	-raio do círculo de deslizamento.
$R(r,t)$	-solução da equação do adensamento com fluxo radial somente.
$r$	-coordenada cilíndrica da equação do adensamento para fluxo de água radial.
$r_e$	-raio de influência do dreno.
$r_w$	-raio do poço drenante.
$r_0$	-raio do poço drenante incluindo ou não a região com "smear".
$Sk$	-coeficiente angular da reta obtida do gráfico $e \times k(\log)$ .
$S_0$	-grau de saturação do solo mole.
$s$	-resistência do solo.
$senh$	-função seno hiperbólico.
$sr$	-resistência residual do solo.
$su$	-resistência não drenada do solo.
$T$	-fator tempo.

$t$	-coordenada temporal.
$t_p$	-tempo restante para a conclusão da compressão primária.
$t_{sec}$	-tempo para o qual o $p_{sec}$ será calculado.
$u$	-acrêscimo de pressão neutra.
$u, v, w$	-campo de deslocamentos.
$u_a$	-pressão atmosférica.
$u_l$	-acrêscimo de pressão neutra na água dos poros.
$V(y, t)$	-solução da equação do adensamento com fluxo vertical somente.
$V_{ai}$	-volume da água antes do carregamento,
$V_{gi}$	-volume do gás antes do carregamento.
$X$	-variável adimensional.
$X_C$	-abscissa do centro do círculo de deslizamento.
$x, y, z$	-representação dos eixos coordenados.
$Y_C$	-ordenada do centro do círculo de deslizamento.
$\alpha_i$	-valor adimensional da semi-largura, $l_i$ , da $i$ -ésima faixa $p_{oi}$ , definida como $\alpha_i = l_i/H$ .
$\alpha(u)$	-fator de gás, utilizado no caso de saturação parcial.
$\beta$	-coordenada angular no cálculo da pressão neutra média do adensamento devido a fluxo de água radial. ( $0 < \beta < 2\pi$ ).
$\gamma_a$	-peso específico da água ( $\gamma_a = 1,0 \text{ ton/m}^3$ ).
$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$	-campo de deformações angulares.
$\Delta e$	-variação do índice de vazios durante o processo de adensamento.
$\Delta t$	-intervalo discreto de tempo, no processo de adensamento.
$\Delta u$	-acrêscimo de pressão neutra.
$\Delta \sigma_{oct}$	-acrêscimo da tensão normal octaédrica.
$\Delta \sigma'$	-acrêscimo de tensão efetiva vertical.
$\Delta \tau_{oct}$	-acrêscimo da tensão cisalhante octaédrica.
$\frac{\partial u}{\partial t}$	-derivada parcial da 1ª ordem da pressão neutra em relação ao tempo.
$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$	-derivada parcial de 2ª ordem da pressão neutra em relação a posição vertical do ponto considerado.

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	-campo de deformações específicas.
$\eta$	-valor adimensional da coordenada $y$ , definida como $\eta = y/H$ .
$\theta$	-variável de integração na obtenção das tensões $\sigma_x$ , $\sigma_y$ e $\tau_{xy}$ .
$\lambda$	-variável de integração na obtenção da função de Airy.
$\mu$	-grau de compressão relativo.
$\nu$	-coeficiente de Poisson.
$\nu'$	-coeficiente de Poisson aparente para o problema de plano-tensão.
$\xi$	-valor adimensional da coordenada $x$ , definida como $\xi = x/H$ .
$p_i$	-recalque imediato.
$p_{sec}$	-recalque por compressão secundária.
$p_{ult}$	-recalque final de adensamento.
$\sigma_x$	-componente da tensão normal paralela ao eixo $x$ .
$\sigma_y$	-componente da tensão normal paralela ao eixo $y$ .
$\sigma_z$	-componente da tensão normal paralela ao eixo $z$ .
$\sigma'_{vp}$	-tensão efetiva de pré-adensamento.
$\sigma'_v$	-tensão efetiva vertical.
$\sigma'_o$	-tensão efetiva inicial devido ao peso próprio do solo.
$\tau_{xy}$	-componente da tensão cisalhante no plano onde atua $\sigma_x$ e paralela ao eixo $y$ .
$\tau_{xz}$	-componente da tensão cisalhante no plano onde atua $\sigma_x$ e paralela ao eixo $z$ .
$\tau_{yx}$	-componente da tensão cisalhante no plano onde atua $\sigma_y$ e paralela ao eixo $x$ .
$\tau_{yz}$	-componente da tensão cisalhante no plano onde atua $\sigma_y$ e paralela ao eixo $z$ .
$\tau_{zx}$	-componente da tensão cisalhante no plano onde atua $\sigma_z$ e paralela ao eixo $x$ .
$\tau_{zy}$	-componente da tensão cisalhante no plano onde atua $\sigma_z$ e paralela ao eixo $y$ .
$\phi$	-parâmetro de resistência do solo relativo ao seu ângulo de atrito interno.
$\psi$	-função de Airy.