ALGUMAS CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS A RESPEITO DA ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES

LUCIANO JACQUES DE MORAES JUNIOR

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

Aprovada por:

Presidente

Rio de Janeiro

Estado do Rio de Janeiro - Brasil

Dezembro de 1975

A memória de meu pai.

A Sonia e Ivan.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Fernando Barata, mestre e amigo, cuja empolgação pela Mecânica dos Solos nos colocou nos caminhos deste ramo da Engenharia.

Ao professor Willy Lacerda, pelos ensinamentos e pelo entusiasmo.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas, pelo apoio financeiro.

Ao Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ e ao RIODATACENTRO, pelas facilidades concedidas.

A todos os professores e colegas do Programa de Engenharia Civil da COPPE, em particular aos professores Marcio M. Soares, Claudio F. Mahler e Francisco R. Lopes, pelo constante incentivo e apoio.

RESUMO

Após uma condensação dos métodos disponíveis de equilíbrio limite para análise da estabilidade de taludes, é estudado em maior detalhe o método simplificado de BISHOP, salientando-se suas vantagens.

É feita a comparação dos resultados da análise de uma barragem típica pelo método simplificado de BISHOP através do programa BISPO, desenvolvido especialmente para esse fim e pelo método dos elementos finitos.

ABSTRACT

After a condensation of the available methods of limit equilibrium for slope stability analysis BISHOP' simplified method is studied in greater detail, outstanding its advantages.

A comparison is done with the results of an analysis of a typical dam by BISHOP simplified method through a program, BISPO,written specially for this purpose and by finite element method.

ÍNDICE

		Pág.
CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2	OS MÉTODOS DE EQUILÍBRIO LIMITE	4
CAPÍTULO 3	O MÉTODO SIMPLIFICADO DE BISHOP	21
CAPÍTULO 4	APLICAÇÃO DO MÉTODO A UM CASO DIFUNDIDO	28
CAPÍTULO 5	CONFRONTO COM O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	34
CAPÍTULO 6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	51
BIBLIOGRAFIA		54
NOTAÇÃO ADOTADA		57
APÊNDICE: DOCUMENTAÇÃO DO PROGRAMA BISPO		61

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O engenheiro enfrenta muitos casos práticos envolvendo taludes, para os quais é importante que se tenha o máximo de informação possível no que diz respeito à estabilidade dos mesmos. Exemplos desses casos são os taludes dos cortes e aterros ao longo de rodovias e ferrovias, margens de canais e rios, taludes de barragens de terra e enrocamento, e taludes naturais adjacentes a propriedades valiosas ou estratégicas.

Até o início deste século a estabilidade desses taludes era arbitrada a partir de casos precedentes com desempenho satisfatório. Entretanto, com o aumento de importância e proporções dos taludes executados, as rupturas (acidentes) dos taludes se tornaram consideráveis e frequentes, acarretando perdas de grande importância. Devido à esses fatos, os governos da Suécia, Estados Unidos e Alemanha (COSTA NUNES 1956) fomentaram estudos de estabilidade de taludes, produzindo contribuições notáveis para o assunto, das quais a predominante foi a de FELLENIUS em 1927.

Para analisar a estabilidade de um talude, o método de FELLENIUS (como ficou conhecido) adota as hipóteses seguintes:

a) Ruptura circular (a superfície de ruptura é predeterminada em forma e locação);

b) Análise bidimensional (estado plano de deformação);

c) É válida a equação de Mohr-Coulomb;

d) A resistência ao cisalhamento do solo é totalmente mobilizada no instante da ruptura ao longo de toda a superfície de deslizamento;

e) Talude subdividido em fatias verticais;

f) O fator de segurança adotado é definido como a relação entre a resistência disponível ao cisalhamento ao longo da superfície de ruptura e os esforços cisalhantes atuantes na referida superfície.

Tais hipóteses foram necessárias, pois, mesmo hoje, a determinação do estado de tensões nos diferentes pontos do interior de um talude é desconhecida, a menos da conseguida pelo método dos elementos finitos, que tem várias limitações.

Além dessas hipóteses, comuns a outros métodos de análise de estabilidade de taludes desenvolvidos posteriormente ao de FELLENIUS, esses métodos utilizam a teoria da análise limite. Essencialmente, essa teoria consiste em imaginar um mecanismo de ruptura para o talude (a forma adotada provem da observação de casos reais) e em aplicar a tal mecanismo os critérios de resistência, de modo a ver se, com tal resistência, há ou não possibilidade de que realmente ocorra o mecanismo suposto.

Quanto à forma adotada, FELLENIUS assemelhou a superfície real de ruptura a uma cilíndrica, cuja seção normal ao eixo (plano de rotação) é um arco de circunferência; com isto se simplificam bastante os cálculos. Tal forma proveio da observação detalhada de rupturas aproximadamente circulares verificadas ao longo das ferrovias suecas e em muros de cais.

A adoção da hipótese do maciço ser constituído de fatias verticais traz a grande vantagem de permitir a inclusão da heterogeneidade das camadas de solo no interior do maciço no cálculo da estabilidade e de sobrecargas.

Dos métodos posteriores ao de FELLENIUS, o que encontra hoje maior aceitação por sua simplicidade e melhor precisão é o método simplificado de BISHOP, segundo WHITMAN & BAILEY (1966).

Confrontam-se no presente trabalho,os métodos mais conhecidos de equilíbrio limite para análise da estabilidade de taludes,com especial destaque para as vantagens do método simplificado de BISHOP. Não foram considerados os casos de efeito da anisotropia dos solos e o fenômeno da ruptura progressiva.

A análise da estabilidade de um talude não consiste unicamente da aplicação de um método escolhido. Compreende também a escolha do fator de segurança a adotar para garantir a estabilidade, escolha essa que é influenciada pelo método adotado,grau de confiabilidade nos parâmetros de resistência fixados, importância do talude, preponderância (ou não) da pressão neutra.

Assim,após considerações sobre segurança e fixação de parâmetros, faz-se um confronto entre os resultados obtidos pelo método simplificado de BISHOP e pelo método dos elementos finitos para uma barragem de 40 m de altura para duas suposições: barragem homogênea (silte argiloso) e barragem zonada (areia fina a média e silte argiloso).

Para esse estudo, utilizaram-se dois programas de computador. O de aplicação do método dos elementos finitos (ISBILD) está descrito por OZAWA & DUNCAN (1973). O de aplicação do método simplificado de BISHOP (BISPO) foi desenvolvido especialmente para esse estudo, permitindo levar em consideração diferentes raios para cada centro de uma malha fornecida, pontos de passagem obrigatória de círculos, parâmetros de pressão neutra (r_u) por camadas, incremento de coesão com a profundidade, malha de carga total de água,etc. No Apêndice encontra-se a descrição detalhada acerca das possibilidades deste programa, bem como de sua utilização.

CAPÍTULO 2

OS MÉTODOS DE EQUILÍBRIO LIMITE

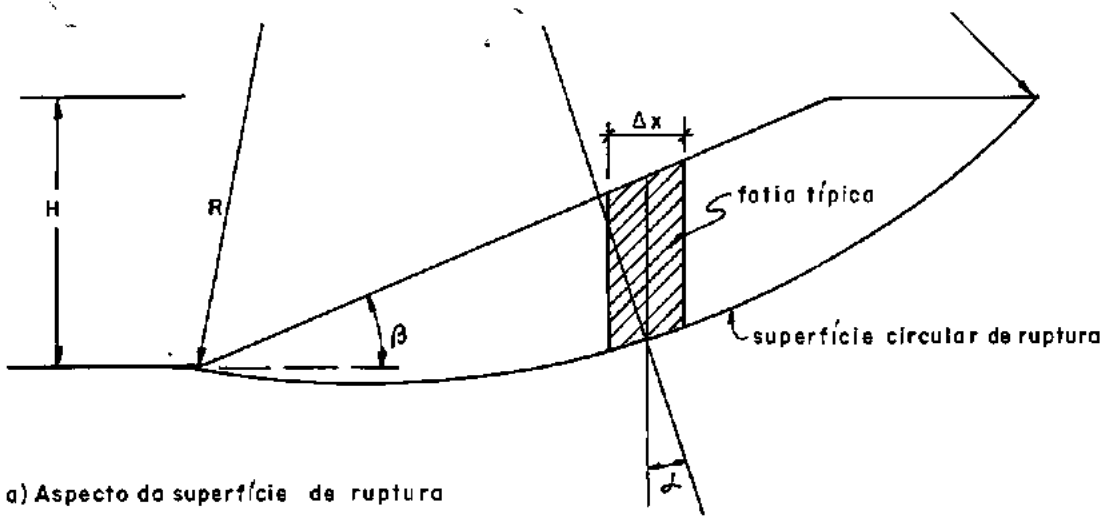
A maioria dos métodos de equilíbrio limite para análise da estabilidade de taludes considera que a ruptura se dá ao longo de uma superfície adotada, e que o trecho "rompido" do talude se comporta como uma massa deslizante. A partir dos valores das forças atuantes, a resistência ao cisalhamento necessária para o equilíbrio é calculada, obtendo-se daí a margem de segurança do talude. Estes métodos podem ser divididos basicamente em dois grupos:

a) Métodos que consideram o trecho rompido como uma massa única fazendo hipóteses a respeito da distribuição das tensões normais ao longo da superfície de ruptura. Tais métodos só se aplicam para taludes homogêneos;

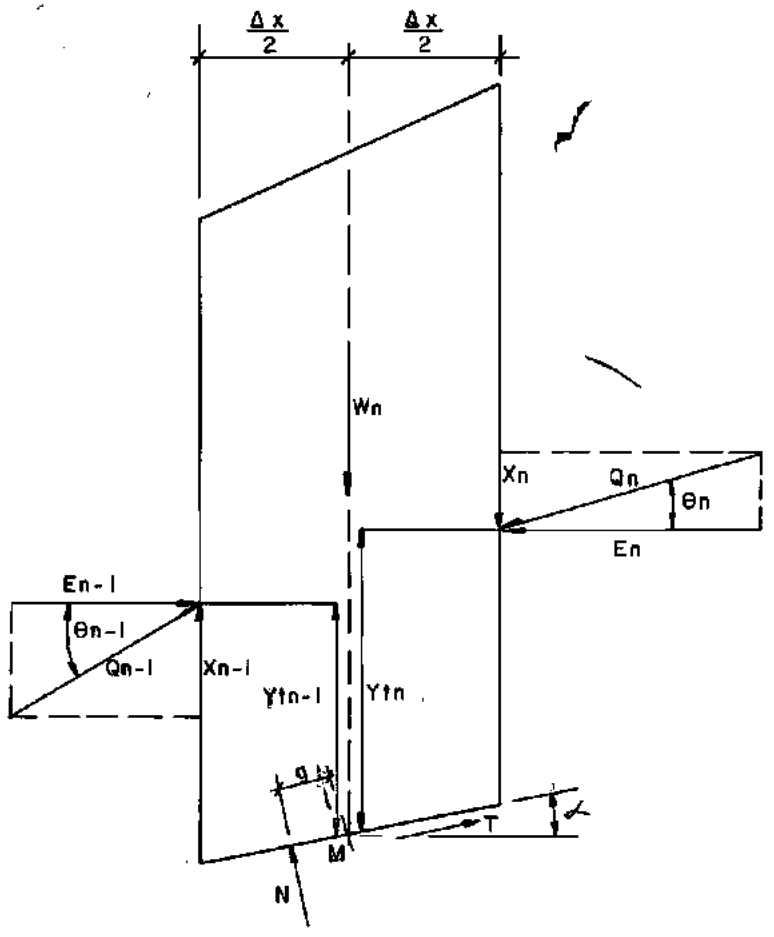
b) Métodos que consideram o trecho rompido como dividido em várias fatias verticais, e são aplicadas as equações de equilíbrio para cada fatia. Aproximações (hipóteses simplificadoras) são feitas para solucionar o problema, trazendo como consequência, diversidade de valores do fator de segurança para um mesmo talude, dependendo do método utilizado.

Todos esses métodos, quaisquer que seja o grupo a que pertencem, satisfazem ou têm hipóteses simplificadoras para as seguintes equações e incógnitas, conforme mostra a fig. 1, em que se destacam os esforços atuantes numa fatia:

INCÓGNITAS		EQUAÇÕES	
1	Fator de segurança	n	equilíbrio de forças horizontais para cada fatia.
n	Esforços normais na base de cada fatia (N)		
n	Distância do ponto de aplicação de N ao ponto médio da base da fatia (g)	n	equilíbrio de forças verticais para cada fatia.
n-1	Esforços normais entre fatias (E) ou resultante dos esforços entre fatias (Q)	n	equilíbrio de momentos para cada fatia.
n-1	Esforços tangenciais entre fatias (X) ou inclinação de resultante entre fatias (θ)		
n-1	Pontos de aplicação dos esforços entre fatias (YT)		
5n-2	Incógnitas	3n	Equações



a) Aspecto da superfície de ruptura



b) Detalhes das forças, distâncias e ângulos em uma fatia.

Fig. 1 - Método das fatias

2.1 MÉTODOS DE MASSA DESLIZANTE

2.1.1 Método do Ângulo de Atrito Nulo ($\phi = 0$)

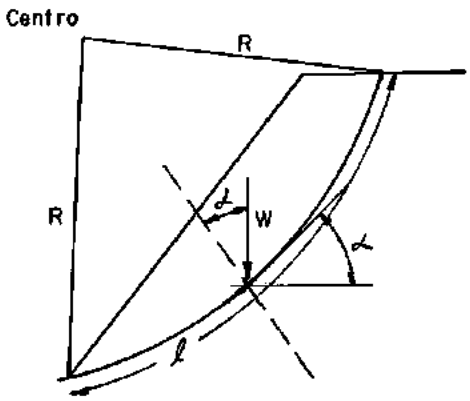
Este método supõe que a superfície de ruptura seja circular. Tal suposição foi baseada na constatação de que várias rupturas observadas tiveram fforma aproximadamente circular. Essas superfícies circulares simplificam consideravelmente os cálculos a serem feitos, pois todas as forças normais passam pelo centro do círculo, qualquer que seja a distribuição dessas forças, ficando consequentemente eliminadas da equação de momentos. Por outro lado, todas as tensões cisalhantes atuam à mesma distância do centro do círculo, ficando pois essa distância independente da distribuição dos esforços.

Além dessa, o método usa a suposição de que a resistência ao cisalhamento do solo é constante ao longo da superfície de ruptura. Este método é muito utilizado para análises a curto prazo de taludes em argilas saturadas.

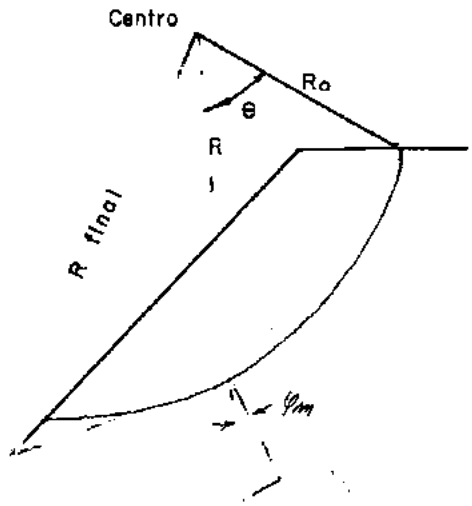
Determina-se a tensão cisalhante média (τ_a) ao longo da superfície de ruptura, pelo equilíbrio dos momentos em relação ao centro do círculo (fig. 2a), obtendo-se:

(1) $\tau_a . \ell . R = W . R . \text{sen } \alpha$

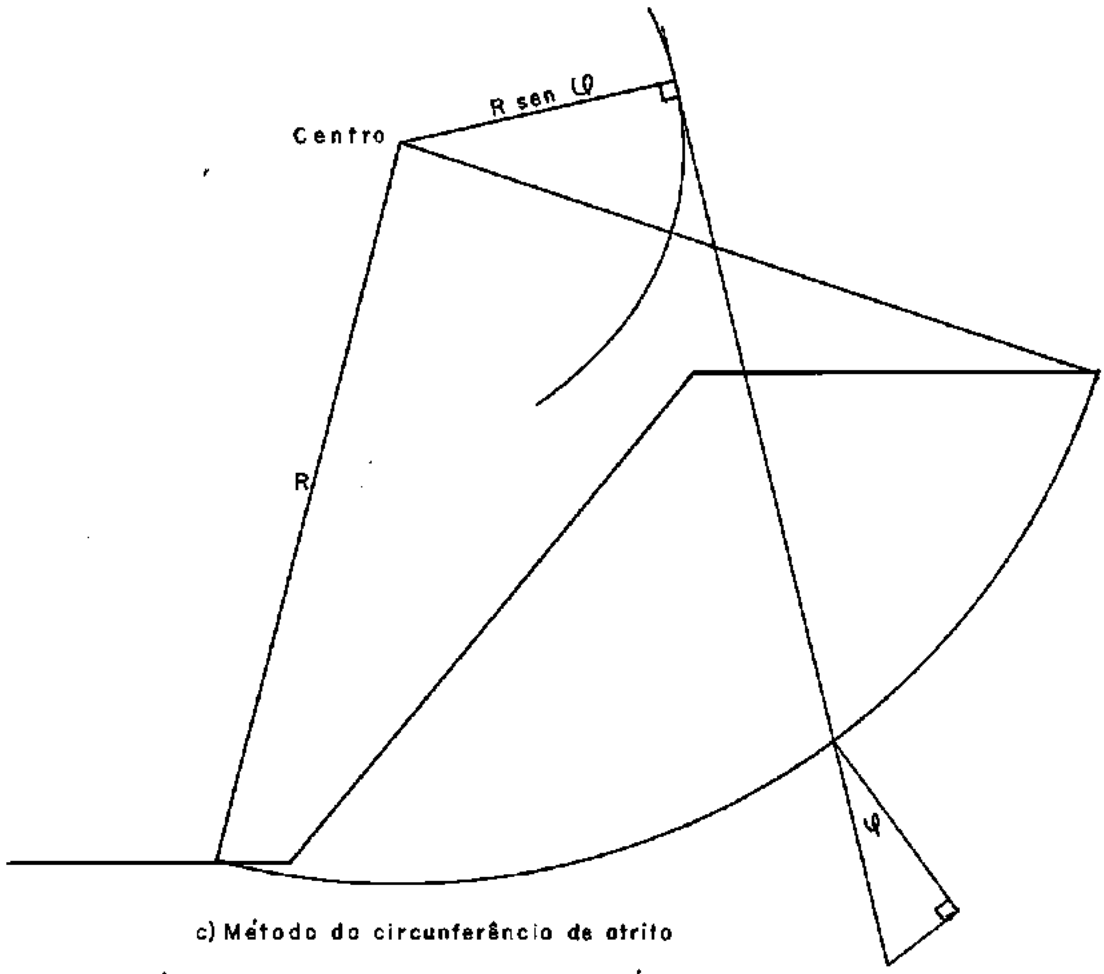
onde α é o ângulo que a superfície de ruptura faz com a horizontal, na interseção com a resultante do peso próprio. Note-se que a tensão cisalhante média foi calculada sem se conhecer sua distribuição.



a) Método $\varphi = 0$



b) Método da espiral logarítimica



c) Método da circunferência de atrito

Fig. 2 - Superfícies de ruptura segundo diversos métodos

2.1.2 Método da Espiral Logarítmica

Quando se usa um ângulo de atrito diferente de zero no método anterior, fica-se com uma indeterminação devido à necessidade de se conhecer a distribuição das tensões normais.

Entretanto, se se adotar para superfície de ruptura uma espiral logarítmica, cuja equação é

(2) $R = R_o . \exp (\theta . \tan \phi_m)$ (vide fig. 2.b)

onde R - distância (raio) entre um ponto da espiral e o centro
R_o - raio de referência da espiral
θ - ângulo entre R_o e R
ϕ_m - ângulo de atrito mobilizado

o problema fica resolvido, pois esta espiral tem a propriedade de que o raio por qualquer ponto da curva faz um ângulo ϕ_m com a normal a curva nesse ponto.

Assim, as resultantes das tensões normais (σ_N) e das resistências devidas ao atrito ($\sigma_N . \tan \phi_m$) passam pelo centro da espiral, concluindo-se daí que causam momentos iguais e contrários, anulando-os portanto.

Devido a este fato, na equação de equilíbrio dos momentos só entram as componentes do peso próprio e da parcela de resistência devida à coesão.

O somatório de momentos em relação ao centro da espiral fornecerá:

$$(3) \quad C_m = \frac{W . \ell_1 . 2 . \tan \phi_m}{R_o^2 . \left[\exp (2 . \theta . \tan \phi_m) - 1 \right]}$$

c - coesão disponível

onde C_m - coesão mobilizada para o equilíbrio

W - peso da massa deslizante

ℓ_1 - braço de alavanca do peso W

θ - Ângulo entre raios inicial (R_o) e final da espiral

O fator de segurança será $FS = \frac{C}{C_m}$

Note-se que um valor de ϕ_m (ou seja de um fator de segurança $FS = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_m}$) foi arbitrado inicialmente para se obter o valor de C_m. Portanto várias tentativas têm de ser feitas até se atingir um valor de ϕ_m tal que

$$(4) \quad \frac{\tan \phi}{\tan \phi_m} = \frac{C}{C_m} = FS$$

É importante salientar que, devido à hipótese iimplícita de que o fator de segurança é constante ao longo da espiral, a distribuição desconhecida das tensões cisalhantes foi substituída por uma única incógnita (o fator de segurança). Porém esta distribuição e a resistência disponível ao cisalhamento continuam indeterminadas como no caso precedente ($\phi = 0$).

2.1.3 Método do Círculo de Atrito

Para uma superfície de ruptura circular (de raio R) as resultantes das tensões normais (σ_N) e das resistências devidas ao atrito ($\sigma_N . \tan \phi_m$) tangenciam uma circunferência concêntrica à da de ruptura, porém de raio R. sen ϕ (vide fig. 2c), sendo por isso denominada circunferência de atrito.

Para levantar a indeterminação decorrente da distribuição desconhecida das tensões normais, impõe-se a hipóte-

se simplificadora de que a resultante de todas as tensões normais e das resistências devidas ao atrito também tangencia a circunferência de atrito.

As três incógnitas (fator de segurança, magnitude e locação da resultante) podem ser encontradas através das três equações de equilíbrio.

Calcula-se a força total resultante da coesão mobilizada arbitrada ($C_m = \frac{C}{FS}$) (atua na corda do arco da superfície de ruptura circular) e constrói-se o polígono de forças com essa resultante e a do peso próprio da massa deslizante. Como essas resultantes têm direção e ponto de aplicação conhecidos, a força total que fecha o polígono (resultante de esforços normais e forças de atrito) deverá ter sua linha de ação tangenciando a circunferência de atrito (de raio R sen ϕ_m onde tan $\phi_m = \frac{\tan \phi}{FS}$). Se não houver tangência deve-se arbitrar outro fator de segurança, e assim sucessivamente até acontecer a tangência, pois o último fator de segurança arbitrado será então o fator de segurança da superfície de ruptura analisada.

Demonstra-se facilmente que a hipótese simplificadora adotada subestima o momento estabilizante devido à resultante, fazendo com que o fator de segurança encontrado por este método seja um limite inferior a ser considerado quando se confrontam diversos métodos.

2.1.4 Apreciação dos Métodos

Os métodos descritos só servem para maciços homogêneos, porém com a vantagem de serem bastante simples.

O método $\phi = 0$ satisfaz a todas as condições de equilí

brio para solos puramente coesivos (resistência constante ao cisalhamento), o da espiral logarítmica para solos com coesão e atrito, e o da circunferência de atrito é o que fornece os menores valores para o fator de segurança.

2.2 MÉTODOS DE FATIAS

Em quase todos os métodos das fatias é adotada a hipótese de que as forças normais nas bases das fatias (N) têm linha de ação, assim como o peso próprio da fatia, passando pelo ponto médio M da base da fatia (fig. 1), ou seja g nulo, reduzindo assim o número de incógnitas para 4n-2.7Exceção é feita ao método de Morgenstern e Price em que essa distância g é calculada para cada fatia.

2.2.1 Método de FELLENIUS ou Método Sueco

Adotando uma superfície de ruptura circular, a hipótese simplificadora adicional desse método é de que os esforços entre fatias são todos nulos (ou que a resultante dos esforços entre fatias tenha direção paralela à base da fatia), permitindo que se determine a força normal na base da fatia, resolvendo uma equação de equilíbrio na mesma direção desta força. Esta hipótese anula 3n-3 incógnitas, deixando o sistema com apenas n+1 incógnitas para 3n equações.

Resolvendo para o equilíbrio dos momentos do conjunto de todas as fatias, obtem-se

$$(5) \quad FS = \frac{\Sigma \ (c'.\Delta \ell \ + N' \tan \phi \ )}{\Sigma \ W. \ \text{sen} \ \alpha}$$

onde (5a) $N' = W \ (\cos \ \alpha - r_u/\cos \ \alpha)$

Não há obrigatoriedade de serem satisfeitas as condições de equilíbrio de forças.

A adequabilidade da escolha da equação de momentos (em vez de forças) foi comprovada por SPENCER (1967), que verificou que o fator de segurança é muito menos sensível à distribuição das tensões normais, se o equilíbrio de momentos é satisfeito.

Entretanto, a comparação desse método com a circunferência de atrito mostra que o método de FELLENIUS fornece valores menores para o FS, o que o torna mais conservativo já que foi visto anteriormente que o valor do fator de segurança encontrado pelo método da circunferência de atrito é um limite inferior.

Deve-se levar em conta que esse método não satisfaz o equilíbrio dos momentos e de forças horizontais em cada fatia. Só satisfaz a equação dos momentos de todo o conjunto e de equilíbrio na direção normal à base da fatia.

A larga aceitação deste método deve-se ao fato de não ter iterações (como na espiral logarítmica e na circunferência de atrito) e de permitir heterogeneidade de solo (camadas com parâmetros diferentes), apesar de fornecer valores conservativos, principalmente com pressões neutras altas, e ângulo central do arco de circunferência muito grande.

2.2.2 Método Simplificado de BISHOP

É suposto que as fatias, na superfície de ruptura circular, não têm tensão cisalhante entre elas (ou que a resultante dos esforços entre fatias é horizontal). Resolve-se o equilíbrio de forças verticais, ficando determinada a força normal na base da fatia.

O fator de segurança se escreve então, calculado a partir do equilíbrio de momentos:

$$(6)\quad \bar{FS} = \frac{1}{\Sigma W.\operatorname{sen}\alpha} \cdot \Sigma \left[\frac{C'.\Delta x + W.\,(1-r_u).\,\tan\phi'}{\cos\alpha + \operatorname{sen}\alpha.\,\frac{\tan\phi'}{FS}} \right]$$

Nota-se que o fator de segurança é obtido através de um processo iterativo.

Das 4n-2 incógnitas, foram eliminadas (n-1) dos esforços cisalhantes entre fatias, não foram consideradas as distâncias dos pontos de aplicação (n-1) dos esforços entre fatias deixando de atender ao equilíbrio de momentos de cada fatia e, só se atendendo ao equilíbrio vertical de cada fatia, desprezam-se os (n-1) esforços normais entre fatias, ficando-se, pois, com (n+1) incógnitas, quais sejam as n forças normais nas bases das fatias e o fator de segurança.

As n+1 equações utilizadas foram as do equilíbrio total de momentos (1) e do equilíbrio de esforços verticais de cada fatia (n).

SPENCER (1967) provou que esse método é bastante correto (da ordem de ± 7% dos valores mais exatos conhecidos). Maiores detalhes serão discutidos no capítulo seguinte.

Entretanto é necessário ter em mente que esse método foi desenvolvido e aplicado para superfícies circulares. BELL (1968) aproveitou esse método para ser utilizado na indicação aproximada da locação de superfícies não -circulares de fatores de segurança mínimos. Tal emprego deve ser encarado com reservas, pois para superfícies não circulares o método simplificado de BISHOP atende apenas ao equilíbrio de forças, ficando-se pois com resultados pouco confiáveis.

2.2.3 Método das Cunhas

Adotado pelo U.S. Corps of Engineers, esse método está muito difundido, pois é o mais simples para superfícies não circulares pelo método das fatias, embora só leve em consideração o equilíbrio de forças.

Considera a massa deslizante dividida em três cunhas - uma passiva, uma intermediária e uma ativa - resolvendo para equilíbrio vertical e horizontal de cada fatia (6 equações), tendo a calcular os esforços normais na base das fatias (3), as resultantes entre fatias (2) e o fator de segurança (1), já que a direção das resultantes entre fatias é arbitrada e a distância (altura) do ponto de aplicação dessa resultante não é necessária; pois neste método não se atende ao equilíbrio de momentos.

Como já foi visto anteriormente, o equilíbrio de momentos é mais importante de ser atendido que o equilíbrio de forças. Por essa razão esse método varia muito os resultados em relação aos exatos e também pela hipótese de se arbitrar os ângulos das resultantes entre fatias.

2.2.4 Método de JANBU

As hipóteses simplificadoras são de que os pontos de aplicação y_t (de esforços entre fatias) são conhecidos, eliminando-se $n-1$ incógnitas, ficando-se com $3n-1$. Resolvendo-as $3n$ equações de equilíbrio, teremos um sistema redundante.

O valor do fator de segurança é obtido a partir da seguinte equação:

$$(7) \quad FS = \frac{\Sigma\left\{c'.\Delta x + \left[W - (X_j - X_{j-1}) - u.\Delta x\right].\tan \phi'\right\}\frac{\sec \alpha}{m\alpha}}{\Sigma\left[W - (X_j - X_{j-1})\right].\tan \alpha}$$

(8) onde $m_\alpha = \cos \alpha + \text{sen } \alpha \frac{\tan \phi'}{FS}$

O equilíbrio de forças é feito nas direções vertical e paralela à base da fatia. Para resolver as forças verticais entre fatias se utiliza a equação de equilíbrio de momentos para cada fatia. Entretanto para essa equação são necessários os valores de E, que são obtidos do equilíbrio de forças, inclusive com iteração do fator de segurança.

Para se resolver o impasse, inicialmente arbitra-se as forças verticais entre fatias (X), iguais a zero, obtendo-se por iteração (como no método simplificado de BISHOP) um primeiro fator de segurança e os valores básicos dos esforços horizontais entre fatias. Por iterações, vão-se obtendo novos valores de X e de E até que todos satisfaçam as equações disponíveis.

O método, na maioria dos casos, converge rapidamente, necessitando-se menos de cinco iterações para atingir o equilíbrio. Em alguns casos há divergência nas iterações, isto, segundo WRIGHT (1969) devido ao fato de que em cada iteração a equação de equilíbrio de forças e a de equilíbrio de momentos são tratadas separadamente.

O método de JANBU é bom para cálculos à mão para superfícies não circulares, pois caso haja início de divergência, a ordem de grandeza do fator de segurança é conhecida. Sob este aspecto este método é o melhor método de equilíbrio de forças, pois atende - ainda que aproximadamente - também ao equilíbrio de momentos.

2.2.5 Método de SPENCER

Inicialmente desenvolvido para superfícies circulares de deslizamento, o método se SPENCER se baseia na hipótese

simplificadora de que todas as resultantes dos esforços entre fatias (Q_R) são paralelas entre si, isto é, só há um ângulo θ de inclinação das resultantes. Diminuem-se n-2 incógnitas, ficando-se com 3n incógnitas para 3n equações.

Assim, o método de SPENCER atende às três condições de equilíbrio. É interessante salientar que, para o caso particular em que $\theta = 0$, recai-se no método de BISHOP simplificado.

A resultante Q_R se obtem fazendo o equilíbrio das forças paralela e normalmente à base da fatia, e vale (SPENCER, 1967):

$$(9)\quad Q_R = \frac{\frac{c' \cdot \Delta x}{FS \cdot \cos \alpha} + \frac{W \cdot \tan \phi'}{FS}\left(\cos \alpha - \frac{r_u}{\cos \alpha}\right) - W \cdot \operatorname{sen} \alpha}{\cos(\alpha-\theta) + \operatorname{sen}(\alpha-\theta) \cdot \frac{\tan \phi'}{FS}}$$

As três equações de equilíbrio podem ser escritas:

$$(10a)\quad \Sigma\, Q_R \cos \theta = 0$$

$$(10b)\quad \Sigma\, Q_R \operatorname{sen} \theta = 0$$

$$(10c)\quad \Sigma\, Q_R \cos(\alpha-\theta) = 0$$

As duas primeiras se tornam idênticas quando θ = constante, ficando-se com duas equações para duas incógnitas (FS e θ).

SPENCER estudou a importância de se atender somente ao equilíbrio de forças ou somente ao de momentos. Para não se utilizar uma das equações, tornou-se necessário arbitrar uma das incógnitas. A solução adotada por SPENCER foi tomar valores de θ de 5° em 5° desde 0° até o ângulo de inclinação do talude. Injetando-se esses valores em cada uma das fórmulas separadamente, fazem-se iterações até se obter um fator de segurança para momentos (FS_m) e para forças (FS_f).

Plotando-se num gráfico em função de θ, obtem-se o FS_i que atende às duas equações. Com os valores de FS_i e θ_i entra-se na equação que determina Q_R para cada fatia obtendo-se daí, por equilíbrio de momentos em relação ao ponto médio da base da fatia, as ordenadas Y_t que definem a linha de ação dos esforços Q.

Esse procedimento de cálculo leva a fatores de segurança próximos aos calculados por BISHOP simplificado, motivo pelo qual o método de SPENCER não é muito empregado para superfícies circulares. Entretanto, por artifícios numéricos (WRIGHT-1969) o método de SPENCER pode ser utilizado para superfícies não circulares, estando aí a grande vantagem do método, pois, desde que programado em computador, obtem-se resultados razoavelmente corretos do fator de segurança de superfícies não circulares em tempos relativamente curtos de processamento.

O único inconveniente do método é que há ocasiões em que a linha de ação dos esforços Q encontrada não é aceitável, já que espera-se para solos granulares que essa linha passe pelo terço inferior da borda da fatia e que para solos coesivos esteja na metade da borda.

2.2.6 Método de MORGENSTERN e PRICE

Esse método tem a grande vantagem de ter a equação de momentos escrita para cada fatia, portanto podendo ser utilizado indiferentemente para superfícies circulares e não circulares.

Baseia-se na hipótese simplificadora de que entre os esforços tangenciais e normais entre fatias existe uma relação do tipo

(11) $X_j = \lambda . f(x) . E_j$

onde f(x) é uma função fornecida a priori e λ é um coeficiente de proporcionalidade.

Reduz-se assim as n-1 incógnitas dos esforços tangenciais por uma única incógnita (λ)

Cumpre salientar que embora f(x) possa ser escolhida arbitrariamente, apenas valores que forneçam resultados razoáveis para as incógnitas são aceitáveis.

Os valores mais usados para f(x) são 1 e sen θ.

Para as n incógnitas de locação dos esforços normais na base de cada fatia, é suposto que f(x) tenha variação linear entre fatias nas quais seus valores tenham sido fornecidos.

Isto acarreta que os esforços normais N sejam fixados, tornando o método determinado. Entretanto, o conhecimento dessas locações só pode ser conseguido depois de calculado o fator de segurança, pois daí a equação diferencial de momentos de cada fatia é conhecida

(12) $X = E . \frac{d_{yt}}{d_x} + h_t . \frac{d_E}{d_x}$

Esse método é demorado e só é possível com a utilização de computadores. Tem grande utilização para verificar os outros métodos, que são menos exatos.

Os resultados dos programas de computador que se baseiam nesse método incluem as coordenadas dos pontos da linha de ação dos esforços Q e os fatores de segurança para equilíbrio vertical de cada fatia (VERT F).

Como geralmente se usa, para uma determinada superfície em estudo, mais de uma expressão para f(x), a análise dos resultados já mencionados indicará qual a expressão de f(x) que melhor se adapta às condições daquele caso em estudo.

2.2.7 Apreciação dos Métodos

Para superfícies circulares, quanto maior a influência da pressão neutra, mais importante se torna escolher o método de BISHOP simplificado, preterindo-se o método de FELLENIUS.

Para superfície qualquer, a precisão do método de SPENCER é suficiente para que se pesquise a superfície crítica, utilizando-se esse método e em seguida se faça o cálculo do FS dessa superfície pelo método de MORGENSTERN e PRICE.

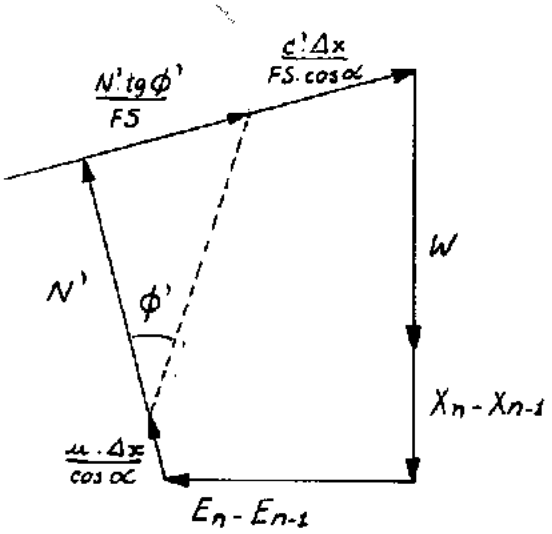
É recomendável que, também para o caso de superfícies circulares em que se usou o método de BISHOP simplificado, se faça uma verificação, para a superfície crítica, pelo método de MORGENSTERN e PRICE, pois esse fornecerá, inclusive, a linha de ação da resultante entre fatias, e os fatores de segurança para equilíbrio vertical de cada fatia.

CAPÍTULO 3

O MÉTODO SIMPLIFICADO DE BISHOP

Conforme indicado no item 2.2.2 o método simplificado de BISHOP se baseia no equilíbrio das forças verticais para cada fatia.

Os esforços atuantes em cada fatia (fig. 1b) se compõem na seguinte forma



Resolvendo para o equilíbrio na direção vertical:

$$(13)\quad W + X_n - X_{n-1} - u.\ \Delta x - N' \cos\alpha - N' \frac{\tan\phi'}{FS} . \operatorname{sen}\alpha - c' . \Delta x . \frac{\tan\alpha}{FS} = 0$$

$$\therefore$$

$$(14)\quad N' = \left[(X_n - X_{n-1}) + W(1 - r_u) - c'. \Delta x \frac{\tan\alpha}{FS}\right]. \frac{1}{m\alpha}$$

onde r_u - coeficiente de pressão neutra de BISHOP.

A simplificação do método consiste em supor, para cada fatia, que seja satisfeita a condição $(X_n - X_{n-1}) = 0$.

O equilíbrio geral de momentos fornece para o fator de segurança FS:

$$(15)\quad FS = \frac{1}{\Sigma W \operatorname{sen} \alpha} \cdot \Sigma \left(c' \cdot \Delta x \cdot \sec \alpha + N' \cdot \tan \phi'\right)$$

Substituindo-se nessa equação o valor de N' encontrado na eq (14) tem-se a forma apresentada na eq (6) - item 2.2.2 - que é como se tornou mais conhecido o cálculo do fator de segurança pelo método simplificado de BISHOP.

Analisando a eq (14), verificam-se duas possibilidades de N' tomar valores absurdos:

- fator m_α muito pequeno ou negativo devido a fator de segurança menor que 1 e α negativo ocasionando denominador da equação próximo de zero ou negativo;

- parâmetro de pressão neutra r_u alto e fator de segurança baixo, ocasionando numerador próximo de zero ou negativo.

WHITMAN & BAILEY (1966) apresentaram um exemplo onde ocorreu o primeiro caso ($m_\alpha \simeq 0$) e recomendaram que nas análises de estabilidade de taludes onde $m_\alpha < 0{,}2$, sejam adotados outros métodos para ajudarem a se estabelecer um valor razoável para a solução.

Numa publicação interna do L.C.P.C. (1972) é proposta uma solução para este caso, consistindo na verificação, para cada fatia suspeita, do valor de m_α. Caso menor que 0,2, o valor de N' a adotar nos cálculos seria o obtido pela eq (5a) (FELLENIUS) e não o da eq (14).

De fato, para o exemplo 3 de WHITMAN & BAILEY (1966), a fatia com menor α (negativo) apresentava para a força normal efetiva valor da ordem de -1,2 t/m. Por FELLENIUS esse valor seria da ordem de +1,0 t/m, razoável em vista do peso da fatia.

Entretanto, é necessário salientar que a condição $m_\alpha < 0{,}2$ ocorreu principalmente devido ao baixo fator de segurança. Senão vejamos:

- ângulo medido da base da fatia $\alpha = 51^{o}$

- valor do ângulo limite da base da fatia, para o fator de segurança do círculo em questão (0,7), para o ângulo de atrito da camada ($\phi = 35^{o}$) e com $m_{\alpha} = 0,2$:

$$0,2 = \cos \alpha_{lim} + \operatorname{sen} \alpha_{lim} \cdot \frac{\tan 35^{o}}{0,7}$$

$$\therefore \quad \alpha_{lim} = -37^{o} > -51^{o}$$

logo $m_{\alpha} < 0,2$

Caso o fator de segurança fosse aumentado para 1,4 (condição estável), o novo valor do ângulo limite seria $\alpha_{lim} = -53 < -51^{o}$, garantindo portanto $m_{\alpha} > 0,2$.

A mesma situação ocorreu no talude de exemplo da publicação do L.C.P.C. (1972). Trata-se de um aterro arenoso de 8 m de altura, sobre camada mole de 4 m de espessura. Um círculo passando pela base da camada mole teve a última fatia com $\alpha = -54^{o}$ e $N' = -16$ t/m. O fator de segurança encontrado foi FS = 0,6.

Caso o fator de segurança fosse da ordem de 1,3, o ângulo limite seria $\alpha_{lim} = -54^{o}$, logo m_{α} seria igual a 0,2.

A substituição de $N' = -16$ por $N' = +1$ (obtido por FELLENIUS) forneceu FS = 0,8.

Dos dois casos acima, pode-se concluir que as deficiências apontadas no cálculo de N' do método simplificado de BISHOP ocorrem em situações instáveis (fatores de segurança menores que um) tendendo a fornecer valores conservativos para o fator de segurança.

Contudo, estas situações instáveis obrigam o engenheiro à busca da melhoria da estabilidade, expressa pelo aumento do fator de se

gurança. Assim, quando for atingida uma situação estável, (FS = 1,3 por exemplo), fica automaticamente contornada (na maioria dos casos) a possibilidade de valores absurdos para N'.

Entretanto, como norma geral, recomendamos que, para círculos profundos com fatores de segurança baixos, seja verificado o valor de N' nas fatias suspeitas e, caso absurdo, seja substituído pelo da eq (5a). Além disso, deve ser feito um cálculo do fator de segurança para o círculo crítico pelo método de MORGENSTERN & PRICE, para confirmar os resultados encontrados pelo método simplificado de BISHOP.

Quanto ao número de fatias, WRIGHT (1969) adotou, como referência para comparações, a relação entre o arco subentendido por uma fatia e a altura do talude em análise. Após estudos com várias inclinações de taludes, pressões neutras e combinações de parâmetros, concluiu que, com aquela relação menor ou igual que 0,1, o erro (em %) - devido ao número de fatias - no cálculo do fator de segurança é da ordem de 0,5%. Com base nessa conclusão, sugere que sejam adotados de 20 a 50 fatias por círculo.

Para achar a largura da fatia em que devemos ter o maior arco subentendido, retornamos à fig. 1:

- arco subentendido retificado $\ell = \Delta x/\cos \alpha$
- relação procurada $\frac{\Delta x/\cos \alpha}{H} \leq 0,1$

Como na maioria dos casos dos taludes, que usualmente ocorrem na prática, os valores do ângulo α são menores que 60°, adotando-se esse valor para obtermos valores limites médios, teremos:

$$\Delta x \leq 0,1 \times H \cos 60^{\circ}$$

$$\Delta x \leq \frac{H}{20}$$

Considerando que, para um círculo, grande parte das fatias terá $\alpha < 60^{o}$, um valor médio a adotar seria:

$$(16) \qquad \Delta x = \frac{H}{20}$$

Esse valor coincide com o recomendado por PFAFSTETTER (1963). SPENCER (1967), para um talude homogêneo de inclinação $\beta = 14^{o}$ e fator de segurança FS = 1,25, concluiu que com 16 fatias o erro é menor que 0,5%, enquanto que com 32 fatias esse erro é menor que 0,2%.

WRIGHT (1969) cita o trabalho de J. KAYES, o qual sugere que, utilizando apenas 15 fatias por círculo, seja o suficiente para se obter um fator de segurança com precisão razoável.

A partir deste estudo, adotamos 15 como número mínimo de fatias por círculo e para largura de fatias valor inicial igual ao definido pela eq (16).

Quanto à determinação da superfície crítica de deslizamento, o problema fica bastante facilitado com a utilização de programas para computador. Adotamos, para nossos estudos, a escolha a priori de uma malha de centros de círculos de deslizamentos, sendo que para cada centro há vários círculos a serem pesquisados.

A partir dos resultados apresentados pelo computador, define-se o círculo crítico como aquele de fator de segurança mínimo.

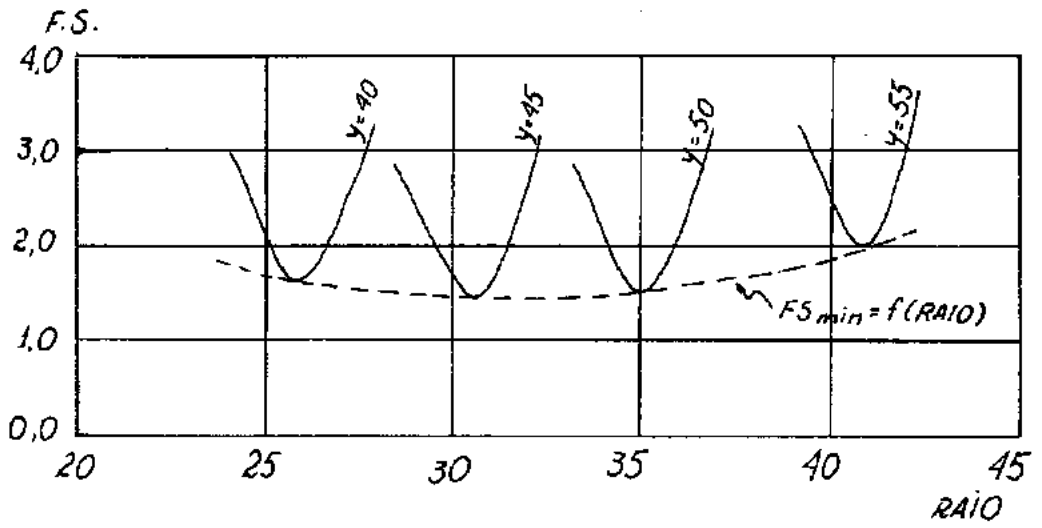
O procedimento de arbitrar uma malha pequena (cinco a nove centros) e fazer o computador ir deslocando essa malha até o centro da mesma coincidir com o centro da superfície crítica - procedimento este conhecido como busca automática - não foi por nós utilizado, tendo em vista que, para maciços constituídos de vários tipos de materiais diferentes, há mais de um mínimo localizado para um talude em estudo (conforme mostrado por PFAFSTETTER (1963).

Assim, poderia acontecer de ser escolhido um centro de círculo com um fator de segurança mínimo localizado, sem ser o mínimo absoluto.

A definição do círculo crítico pode ser feita de duas maneiras:

- traçado no desenho da seção transversal do talude, das linhas de igual fator de segurança (iso-FS). Esse procedimento tem a vantagem de permitir uma melhor visão da variação do fator de segurança. Entretanto, devido a que as linhas iso-FS tem forma irregular por se referirem a fatores de segurança de círculos de raios diferentes, a interpolação (para achar o fator de segurança mínimo e as coordenadas do centro do círculo) não terá validade para o valor do raio, quando os valores conhecidos dos raios na vizinhança do ponto interpolado forem diferentes entre si. Se tal acontecer, o raio fica desconhecido, fazendo com que a superfície crítica também seja desconhecida.

- traçado de gráficos para determinação do fator de segurança mínimo, conforme recomendado por EISENSTEIN & KAZDA (1970). Tais gráficos são feitos um para cada vertical (por exemplo) da malha de centros pesquisada, marcando-se para cada centro, a variação do fator de segurança com os raios dos vários círculos pesquisados para aquele centro. A seguir apresentamos um exemplo para uma vertical de uma malha de centros:



Esse gráfico permite verificar se para cada centro foi realmente pesquisado o valor mínimo do fator de segurança. Usualmente o valor mínimo encontrado para cada centro não coincide com o valor mínimo correspondente ao raio crítico, isto porque esse raio crítico poucas vezes coincide com algum dos valores predeterminados do raio. Depois de obtidas as curvas para todos os centros de uma vertical, pode-se traçar o envelope de mínimos dessas curvas, em função do raio. Obtém-se, então, para aquela vertical, a ordenada do centro com fator de segurança mínimo e raio crítico precisamente determinado.

Caso a envoltória não apresente um mínimo bem caracterizado, os centros dos círculos não foram devidamente escolhidos e, portanto, centros adicionais devem ser pesquisados.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DO MÉTODO A UM CASO DIFUNDIDO

Para confirmar a validade do programa BISPO, desenvolvido para análise da estabilidade de taludes pelo método simplificado BISHOP e também para ratificar algumas das conclusões obtidas no capítulo anterior, foi feita a análise da estabilidade do talude descrito por BISHOP (1954).

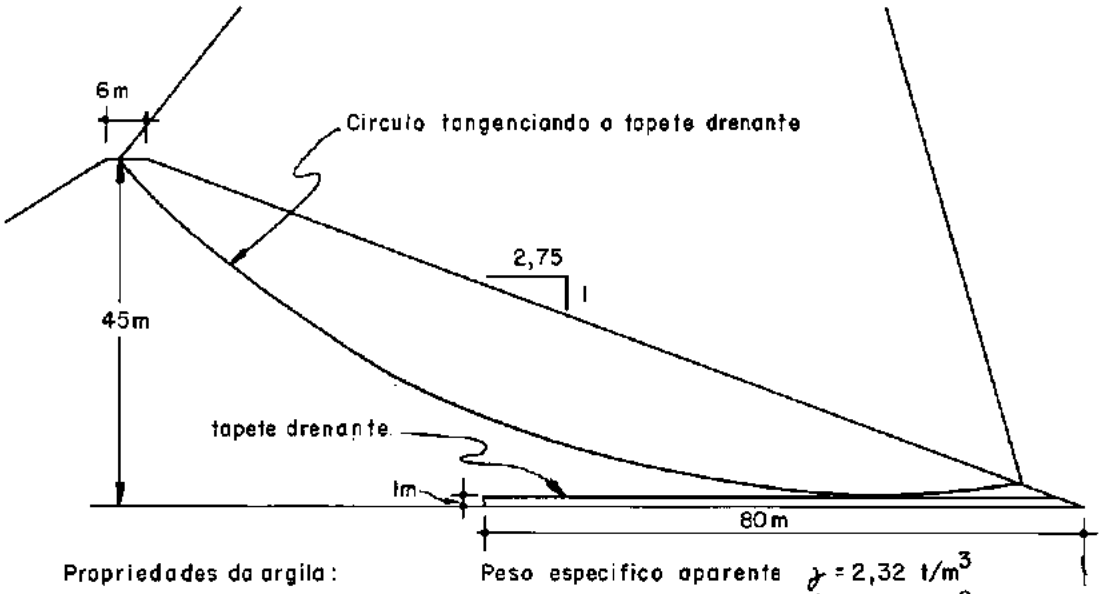
O aterro argiloso (boulder clay) tem 45 m de altura, 6 m de largura na crista, taludes V:H = 1:2,75 e tapete drenante de 1 m de espessura, conforme mostra a fig. 3a.

Para cada centro foi pesquisado apenas um círculo, aquele que tangencia o tapete drenante.

A malha de centros adotada, com espaçamento de 5 m, cobre a área demarcada pelo retângulo acima do talude, conforme pode ser visto na fig. 4. O número de centros, para cada caso estudado, foi de duzentos e setenta e três.

A fig. 4 mostra as curvas de igual fator de segurança obtidas, tanto pelo método de FELLENIUS como pelo método simplificado de BISHOP, para quatro valores do parâmetro r_u de pressão neutra. Como o aspecto das curvas por FELLENIUS para $r_u = 0,8$ é bem diferente dos por BISHOP, utilizou-se o artifício recomendado por vários autores (WHITMAN & BAILEY (1965) por exemplo) de zerar a força normal efetiva na base da fatia quando negativa. Com tal artifício, o aspecto das iso-FS por FELLENIUS e BISHOP ficou parecido. Devido a esse fato, adotamos em todas as análises seguintes este artifício.

Para verificar a ocorrência, no método simplificado de BISHOP, de valores do parâmetro m_α menor que 0,2, foi feita uma análise, pa-



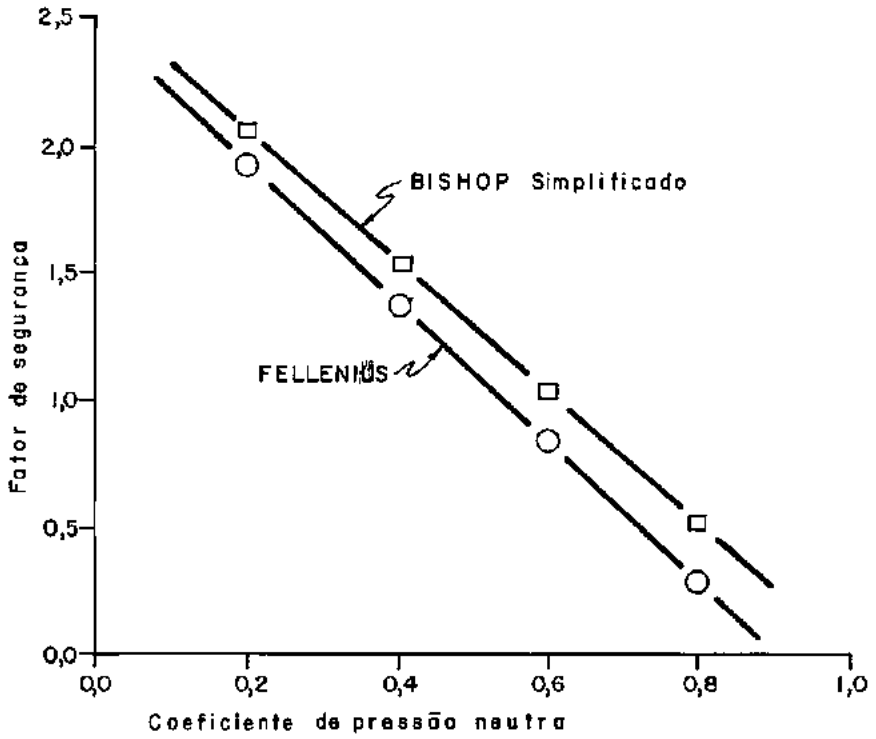
Propriedades da argila:

Peso especifico aparente $\gamma = 2,32\ t/m^3$

Coesão efetiva $c' = 1,7\ t/m^2$

Angulo de atrito efetivo $\varphi' = 37,5°$

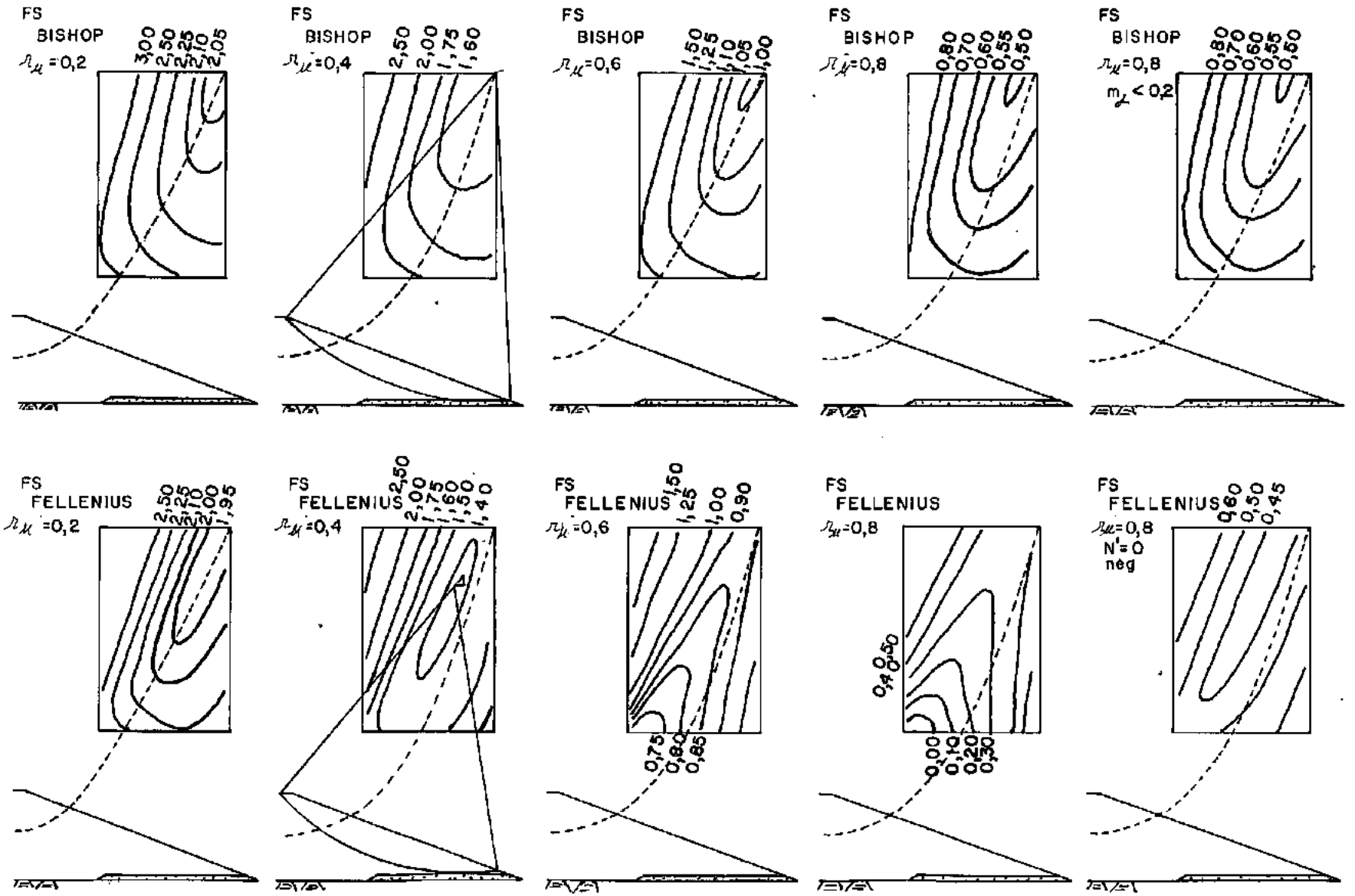
a) Seção típica do aterro argiloso



b) Influencia da pressão neutra no fator de segurança obtido pela utilização do programa BISPO

ATERRO ARGILOSO (BOULDER CLAY) - APUD BISHOP (1954)

— Fig. 3 —



COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA FATORES DE SEGURANÇA SEGUNDO FELLENIUS E BISHOP.UTILIZANDO O PROGRAMA BISPO ATERRO ARGILOSO (BOULDER CLAY) — APUD BISHOP (1954)

– Fig. 4 –

ra o caso $r_u = 0,8$, em que se adotou o procedimento, indicado no capítulo anterior, de se tomar o esforço normal efetivo obtido por FELLENIUS ao invés do por BISHOP, quando ocorrer $m_\alpha < 0,2$.

O resultado, incluído na fig. 4, mostra que há apenas uma pequena mudança das curvas iso-FS nos centros mais baixos e mais à esquerda, confirmando a teoria, pois esses centros são os correspondentes aos círculos com maiores ângulos da base de fatias no pé do talude. Entretanto, a influência foi pequena, apesar dos baixos fatores de segurança, pois o menor ângulo foi da ordem de -44°.

BISHOP tomou como referência para comparações, o círculo de fator de segurança mínimo por FELLENIUS para o caso $r_u = 0,4$. Para o mesmo centro, determinou o fator de segurança pelo seu método e por FELLENIUS para valores de r_u variando de 0,2 a 0,8.

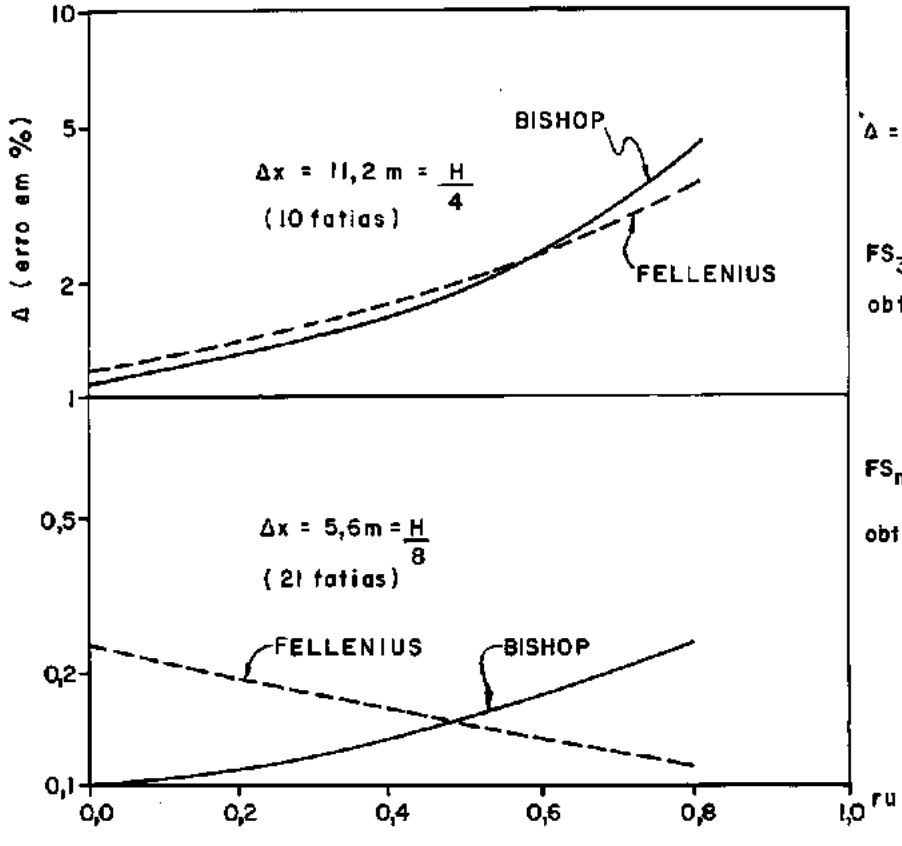
Adotando mesmo procedimento, encontramos resultados idênticos conforme mostra a fig. 3b.

Na fig. 4, para $r_u = 0,4$, estão desenhados os círculos críticos por FELLENIUS e BISHOP, notando-se que são diferentes, confirmando BISHOP (1954).

Para o círculo adotado como referência, foi verificada a influência do número de fatias na precisão do fator de segurança, inclusive em função do parâmetro de pressão neutra r_u.

Foram estudados quatro casos:

$\Delta x/H$	1/32	1/16	1/8	1/4
largura das fatias (metros)	1,4	2,8	5,6	11,2
número de fatias por círculo	83	42	21	10

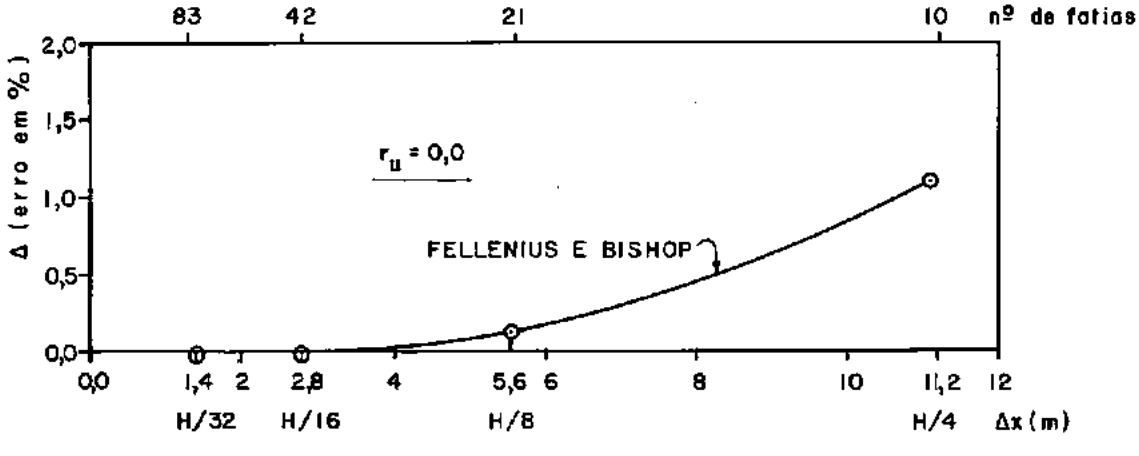


$$\Delta = \frac{FS_{32} - FS_n}{FS_{32}} \times 100$$

FS_{32} - Fator de segurança obtido com $\Delta x = \frac{H}{32}$

FS_n - Fator de segurança obtido com $\Delta x = \frac{H}{n}$

a) Erro em função da pressão neutra



b) Erro em função da largura das fatias

Fig. 5 – Erros devidos ao nº de fatias

Usando o fator de segurança obtido com relação $\Delta x/H = 1/32$ (FS_{32}) como referência, o erro devido à diminuição do número de fatias(Δ) foi definido como

$$\Delta(\%) = \frac{FS_{32} - FS_n}{FS_{32}} \times 100 \qquad (17)$$

onde FS_n é o fator de segurança obtido com relação $\Delta x/H = 1/n$.

Na fig. 5a são apresentadas as curvas de erro verificado em função de r_u para $\Delta x = H/4$ e $H/8$, tanto por FELLENIUS como por BISHOP. Nota-se que o erro aumenta com a pressão neutra e que, para apenas 10 fatias por círculo o erro atinge o valor de 4,5%, por BISHOP, quando $r_u = 0,8$. Para círculos com mais de 20 fatias o erro é menor que 0,5% em qualquer hipótese.

Na fig. 5b evidencia-se, para $r_u = 0,0$, que o crescimento do erro é função da largura da fatia sendo que, a partir do valor $\Delta x = H/8$, o erro se torna significativo.

Fica, pois, mostrado que, para taludes em maciços homogêneos, fatias de largura $\Delta x < H/8$ fornecem fatores de segurança sem erros significativos devidos ao número de fatias, para valores de r_u de até 0,8.

CAPÍTULO 5

CONFRONTO COM O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Neste capítulo descreve-se a comparação feita entre o método simplificado de BISHOP (utilizando o programa BISPO) e o método dos elementos finitos (utilizando o programa ISBILD).

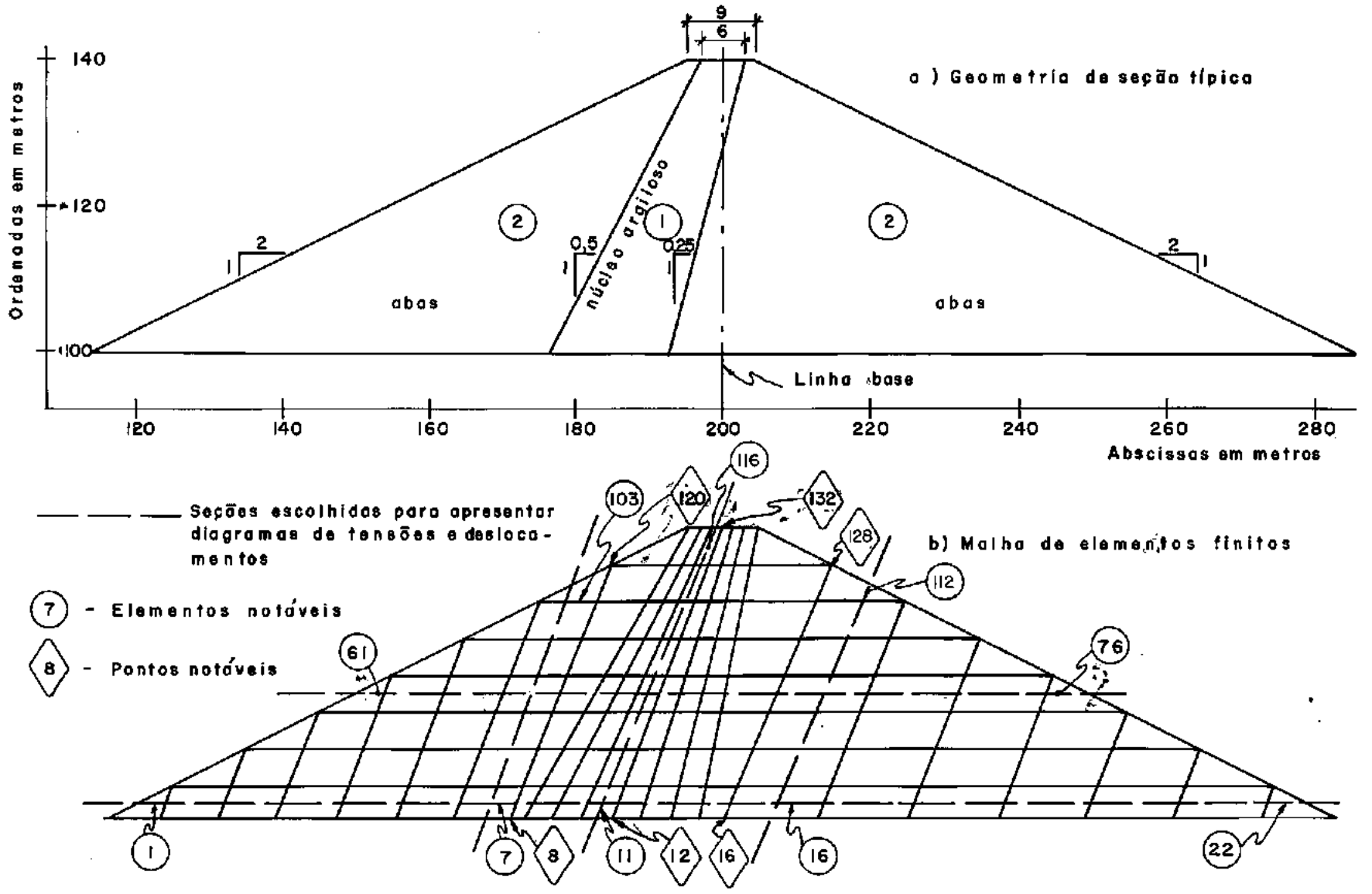
O programa ISBILD, desenvolvido na Universidade de Berkeley (California) por Y. OZAWA e J. M. DUNCAN em 1973,utiliza elementos quadrilaterais isoparamétricos "incompatíveis", com características de tensão-deformação elásticas não lineares. Segundo OZAWA e DUNCAN (1973), esses elementos são os que têm comportamento mais semelhante ao real do solo, entre os elementos atualmente disponíveis. As características de tensão-deformação não lineares permitem levar em consideração, de forma mais adequada, o comportamento dos solos. Uma descrição detalhada do programa ISBILD foi feita por OZAWA e DUNCAN (1973), e a obtenção e utilização dos parâmetros elásticos não lineares é explicada por WONG & DUNCAN (1974).

Para a comparação, foi utilizada uma barragem hipotética, de 40 m de altura, taludes V:H = 1:2, analisada no final da construção.

Para uma comparação mais ampla, foram estudadas as duas seguintes alternativas para a barragem:

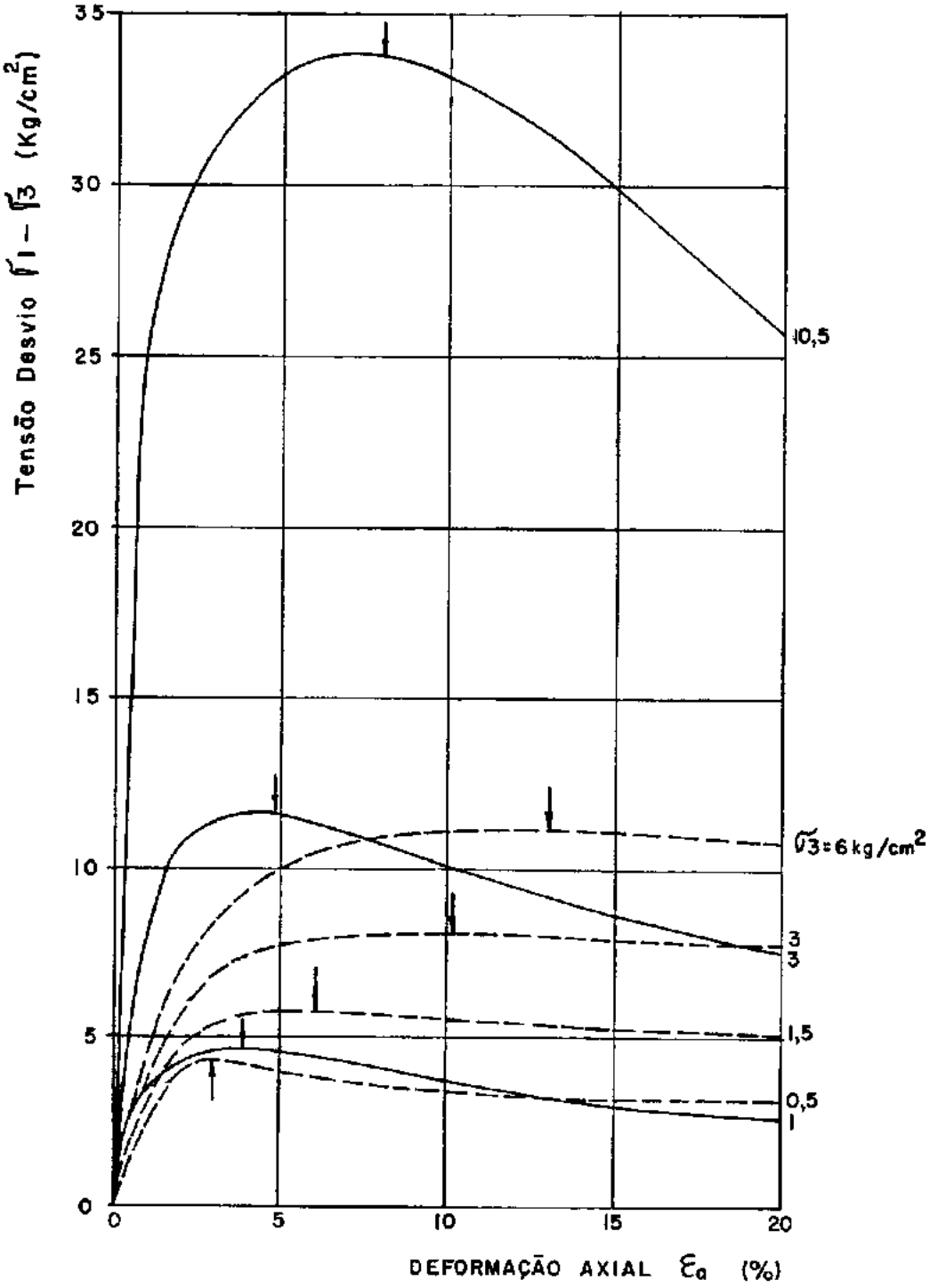
- homogênea, constituída apenas de material argiloso (tipo 1).
- zonada, constituída de um núcleo argiloso (tipo 1) e de abas arenosas (tipo 2).

Na fig. 6a consta a seção transversal típica adotada. Na fig. 6b, além da malha de elementos finitos em que foi dividida a barragem, estão representadas as seções escolhidas para apresentar diagramas de tensões e deslocamentos, e também os elementos e pontos notáveis, isto é, que caracterizam as seções escolhidas.



DETALHES DA BARRAGEM UTILIZADA PARA COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS E RESULTADOS

Fig. 6



CURVAS TENSÃO DEFORMAÇÃO DOS SOLOS ADOTADOS

Fig. 7

As duas alternativas têm as mesmas características geométricas, modificando apenas as propriedades dos materiais. Na barragem zonada o material das abas é granular (areia fina), enquanto que na barragem homogênea, este material é o mesmo do núcleo (silte argiloso).

Os dados do solo silte argiloso para o núcleo, foram obtidos do trabalho de LACERDA, DIAS & PEIXOTO (1974), e os referentes à areia fina foram obtidos do trabalho de LEE & SEED (1967).

As curvas tensão-deformação dos solos adotados estão representadas na fig. 7.

A partir dessas curvas, e das de variação de volume com deformação específica, foi possível determinar os seguintes parâmetros para utilização no programa ISBILD:

	Tipo de Solo	Silte Argiloso	Areia Fina
	Peso específico (t/m^3)	1,75	1,95
	Coesão (t/m^2)	13,0	0,0
	Ângulo de atrito (graus)	23,5	41,0
ADIMENSIONAIS	Fator de proporcionalidade no carregamento (K) do módulo de elasticidade	560,0	1200,0
ADIMENSIONAIS	Fator de proporcionalidade no descarregamento (K_{ur}) do módulo de elasticidade	920,0	3000,0
ADIMENSIONAIS	Expoente de proporcionalidade do módulo de elasticidade (n)	0,25	0,48
ADIMENSIONAIS	Coeficiente de níveis de tensão (R_f)	0,75	0,85
ADIMENSIONAIS	Valor do coeficiente de Poisson para tensão confinante atmosférica (G)	0,205	0,500
ADIMENSIONAIS	Fator de proporcionalidade do coeficiente de Poisson, em relação à tensões confinantes (F)	0,07	0,23

Tipo de Solo	Silte Argiloso	Areia Fina
Fator de proporcionalidade do coeficiente de Poisson, em relação às deformações (d)	13,0	11,7

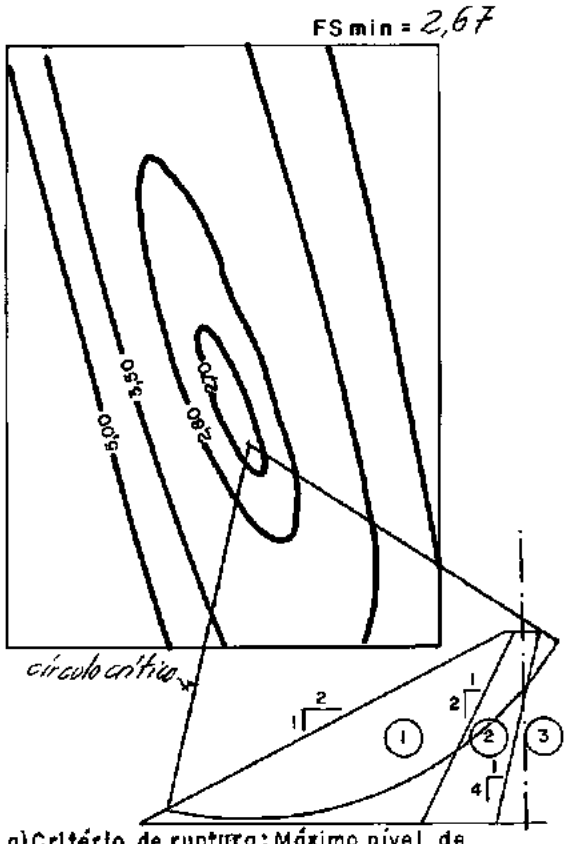
Com relação aos parâmetros para análise pelo método simplificado de BISHOP, foi feita uma investigação sobre a influência do critério de ruptura a escolher. Tal investigação baseou-se no fato de os solos adotados terem deformações diferentes no ponto de máximo nível de tensões atingido no ensaio, ponto esse usualmente definido como ruptura, porém significando que para se obter a resistência máxima dos solos, eles terão de se deformar diferentemente segundo uma certa lei de variação, o que é imprevisível.

Assim, foram arbitrados três critérios de ruptura, além do de máximo nível de tensões, a saber:

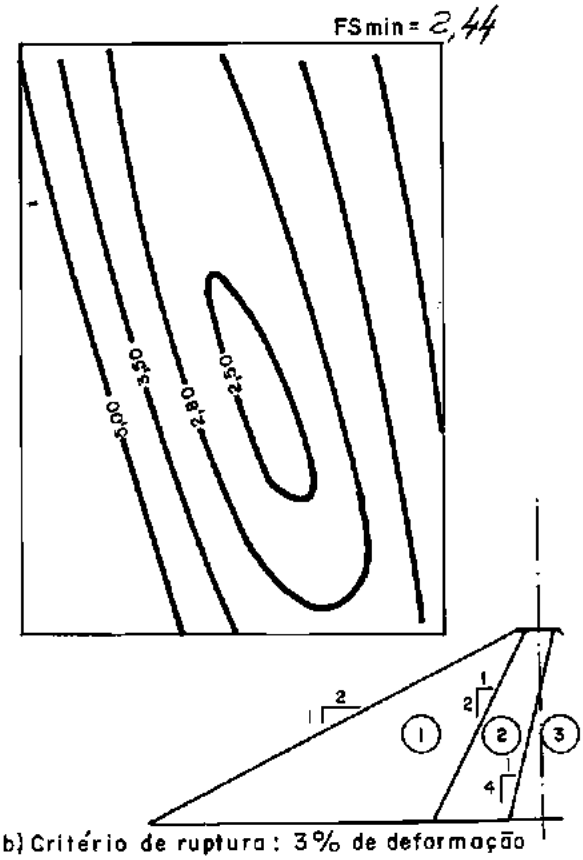
- 3% de deformação axial
- 8% de deformação axial
- 16% de deformação axial

A partir desses critérios foram obtidos os parâmetros seguintes utilizando o método dos mínimos quadrados para sua determinação:

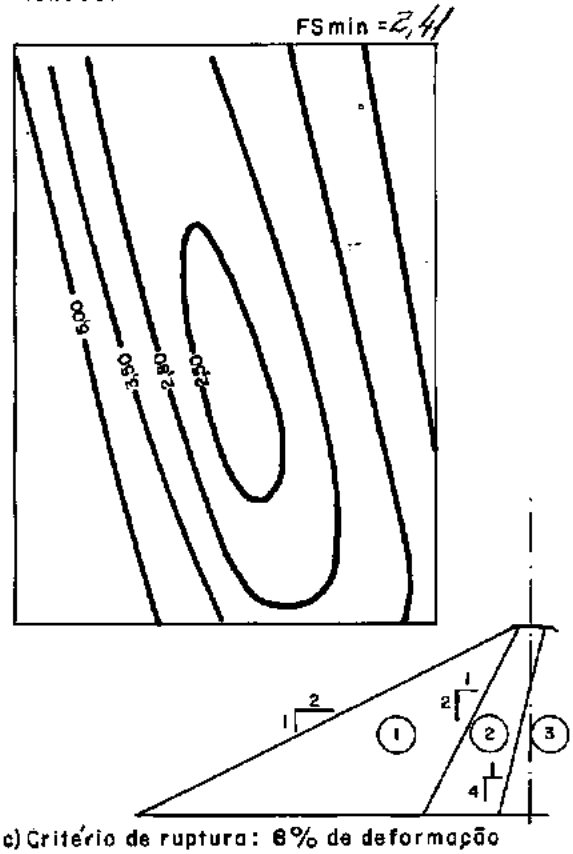
SOLO		SILTE ARGILOSO		AREIA FINA
PARÂMETROS		Coesão (t/m^2)	Ângulo de Atrito (graus)	Ang. de Atrito (graus)
CRITÉRIO DE RUPTURA	Máximo nível de tensões	13,0	23,5	41,0
	3% de deformação	15,0	15,0	38,0
	8% de deformação	11,0	23,0	43,0
	16% de deformação	10,0	24,0	40,0



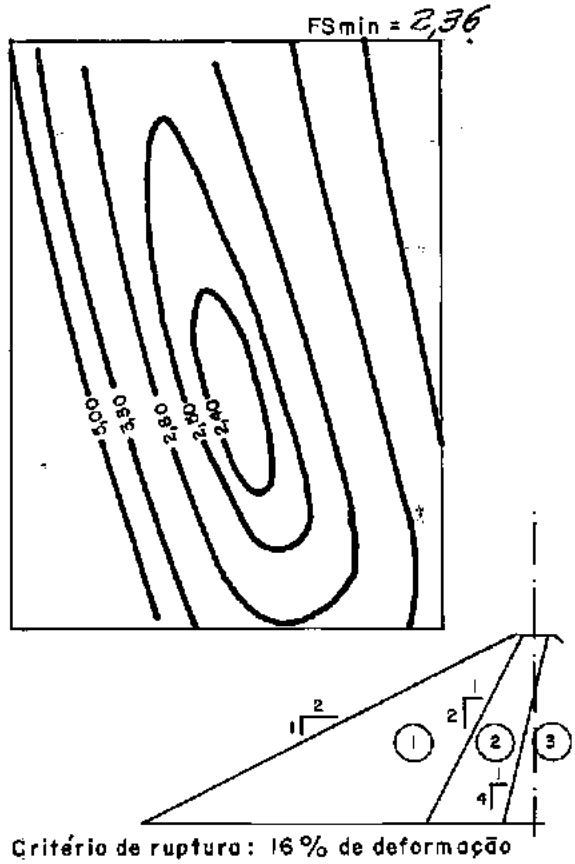
a) Critério de ruptura: Máximo nível de tensões



b) Critério de ruptura : 3% de deformação



c) Critério de ruptura: 6% de deformação



d) Critério de ruptura: 16% de deformação

Fig. 8 BARRAGEM HOMOGENEA : CURVAS DE IGUAL FATOR DE SEGURANÇA PARA OS CRITÉRIOS DE RUPTURAS ADOTADOS.

A malha de centros pesquisada, demarcada nas figs. 8 e 9 têm 100 metros de largura e 120 metros de altura, com espaçamento entre centros de 10 metros, perfazendo um total de 143 centros. A largura da malha foi escolhida de modo a seu meio ficar com aproximadamente a mesma abscissa que o pé do talude,,enquanto que a altura da malha foi arbitrada em três vezes a altura da barragem.

Para cada centro foram pesquisados 19 círculos, espaçados cada 2 m desde a tangência à base rígida.

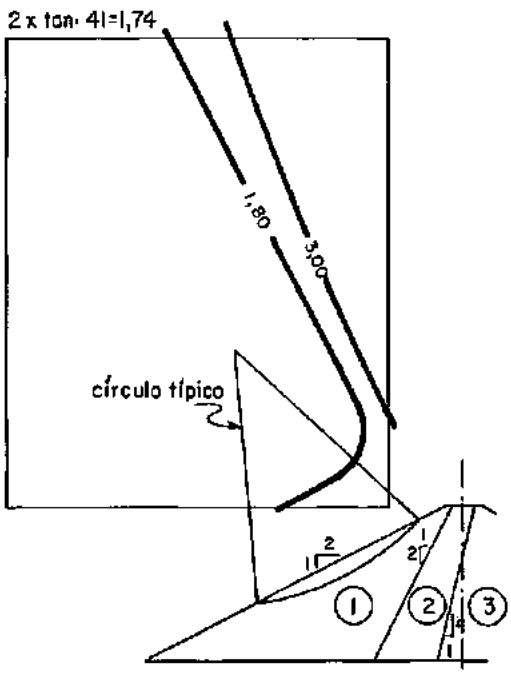
Tendo sido analisados quatro casos (diferentes critérios de ruptura) para cada alternativa, o total de círculos pesquisados foi de 143 x 19 x 4 x 2 = 21.735. O tempo (de unidade central de processamento) gasto pelo programa BISPO (ocupando 64 Kbytes de memória) em um computador IBM/370-165 foi de 2 minutos e 34 segundos, correspondendo a aproximadamente 140 círculos por segundo.

Na fig. 8 estão apresentadas as curvas iso-FS (igual fator de segurança) para os quatro critérios de ruptura, para barragem homogênea, enquanto que na fig. 9 encontram-se os resultados relativos à barragem zonada.

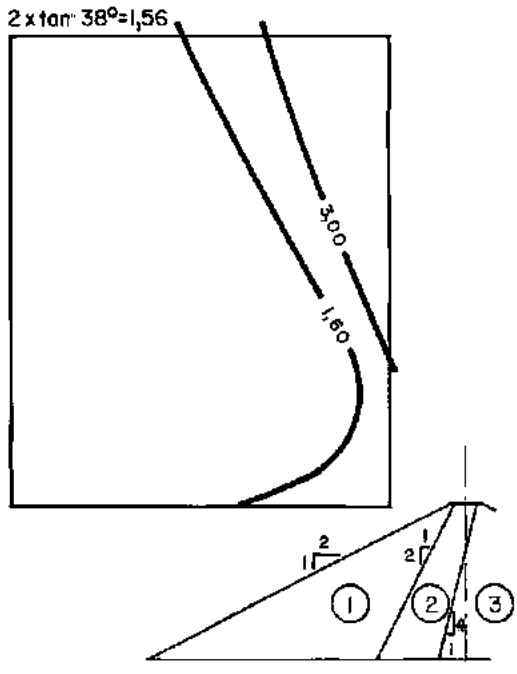
Quanto à barragem homogênea, a conformação das iso-FS manteve-se a mesma nos quatro casos, mas o valor do fator de segurança para critério de "ruptura" de 16% de deformação é 12% menor que o para o critério de máximo nível de tensões.

O círculo crítico, como esperado,tangencia a base rígida e engloba a crista da barragem conforme mostrado na fig. 8a. O fator de segurança mínimo encontrado, para o critério de máximo nível de tensões, (FS_{min} = 2,67) está condizente com o do método do círculo de atrito que é de 2,7.

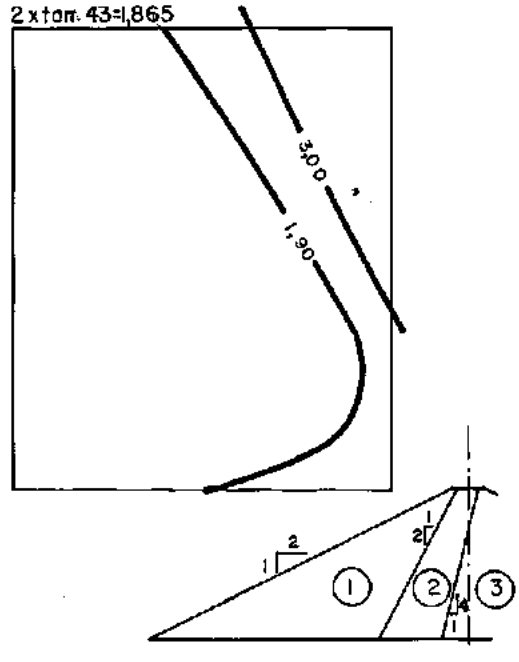
Quanto à barragem zonada, a conformação das iso-FS apresenta uma zona, nos quatro casos estudados onde, em qualquer ponto, os fatores de segurança mínimos de cada centro correspondiam à circunfe-



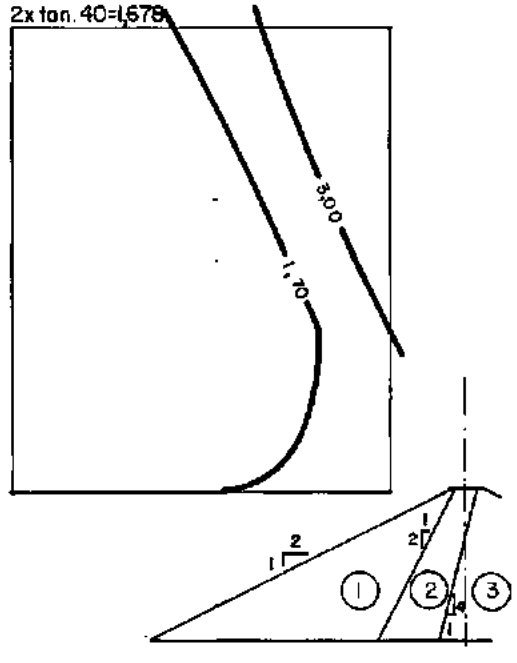
a) Critério de ruptura: Máximo nivel de tensões



b) Critério de ruptura: 3% de deformação



c) Critério de ruptura : 8% de deformação



d) Critério de ruptura: 16% de deformação

BARRAGEM ZONADA : CURVAS DE IGUAL FATOR DE SEGURANÇA PARA OS CRITÉRIOS DE RUPTURAS ADOTADOS.

— Fig. 9 —

rências bem rasas (quase planas) com fator de segurança igual ao definido para taludes infinitos sem coesão:

$$(18) \qquad FS = \frac{\tan \phi'}{\tan \beta}$$

Isto quer dizer que o zoneamento introduzido não fornece fatores de segurança menores que os de uma barragem toda de areia.

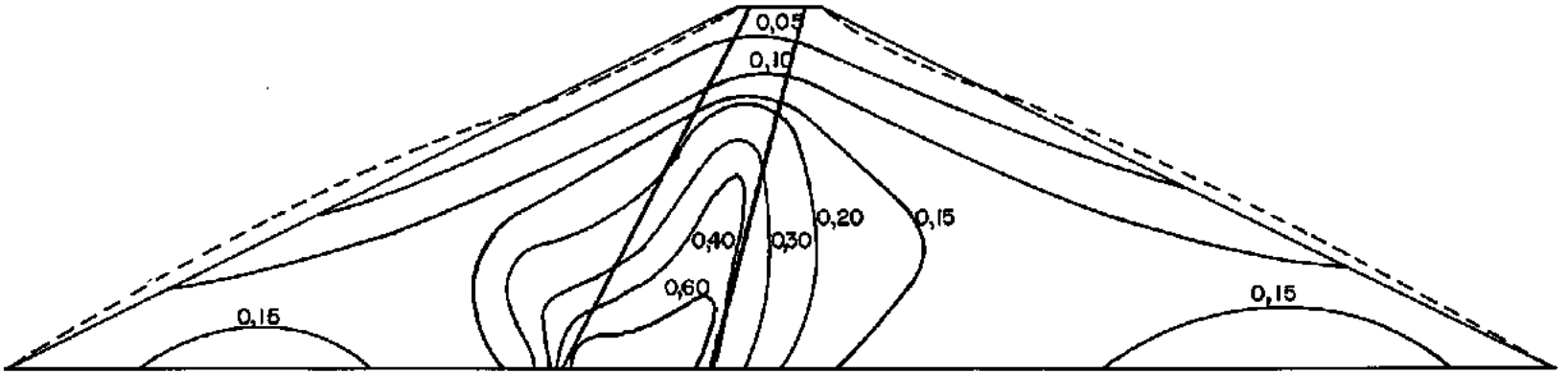
Para uma comparação melhor entre as duas alternativas da barragem, foi verificado o valor do fator de segurança do círculo correspondente ao mínimo obtido para o caso de barragem homogênea. Enquanto para barragem homogênea o valor encontrado foi 2,67, para barragem zonada foi de 2,43 (para o critério de máximo nível de tensões).

Nas duas alternativas ficou claro que o menor fator de segurança não foi obtido com utilização do critério usualmente adotado de máximo nível de tensões, e sim com um critério de deformação permitida.

Para verificação pelo método dos elementos finitos, a barragem foi dividida em 8 camadas de mesma altura, perfazendo um total de 120 elementos, com 135 pontos nodais, conforme mostra a fig. 6b. O tempo (de unidade central de processamento) gasto pelo programa ISBILD (ocupando 404 Kbytes de memória e utilizando 10 áreas em disco - ou fitas - para auxiliar na solução de equações) em um computador IBM/370-165 foi de 1 minuto e 7 segundos para cada alternativa.

Os resultados obtidos (deformações, tensões e deslocamentos) estão apresentados nas figs. 10 a 14.

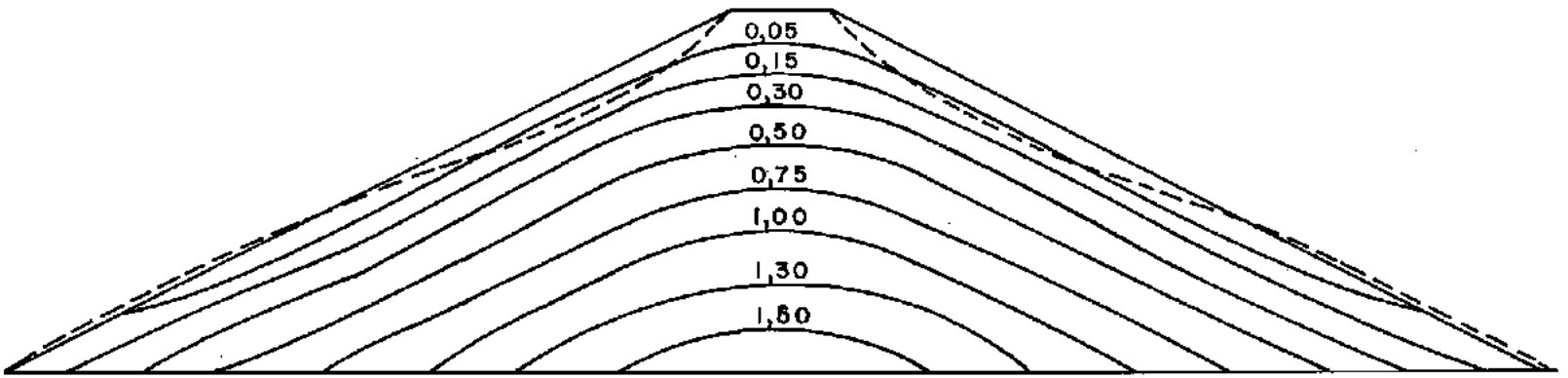
Conforme esperado, as curvas de igual deformação principal maior (ϵ_1) e de igual deformação cisalhante máxima (γ_{max}) na barragem homogênea são uniformes e semelhantes, enquanto que na barragem zonada as curvas variam muito de conformação próximo ao e no núcleo.



a) BARRAGEM ZONADA

------- Deslocamentos superficiais 20 cm

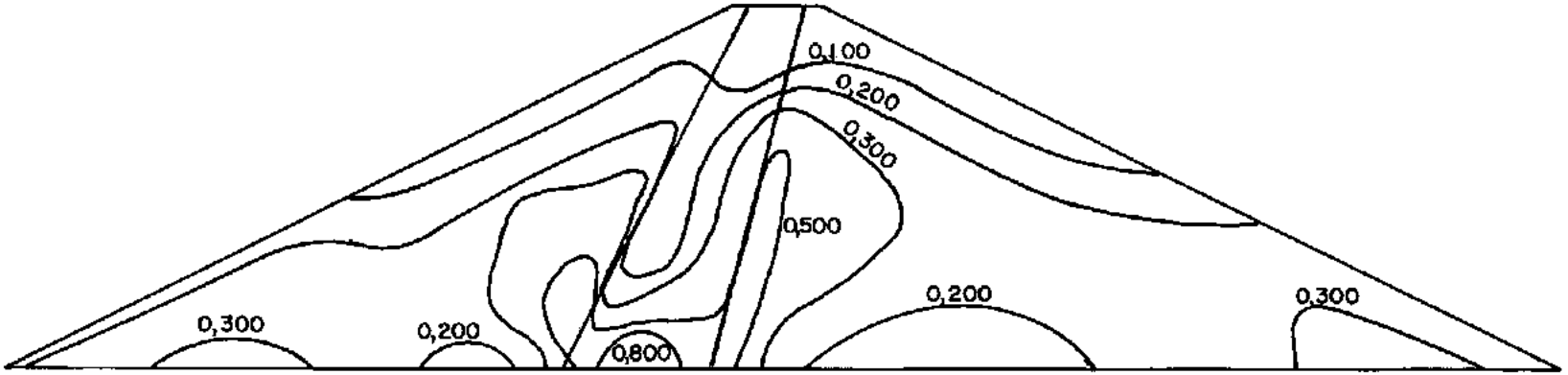
—1,60— Curvas de igual deformação principal maior ε_1 (%)



b) BARRAGEM HOMOGENEA

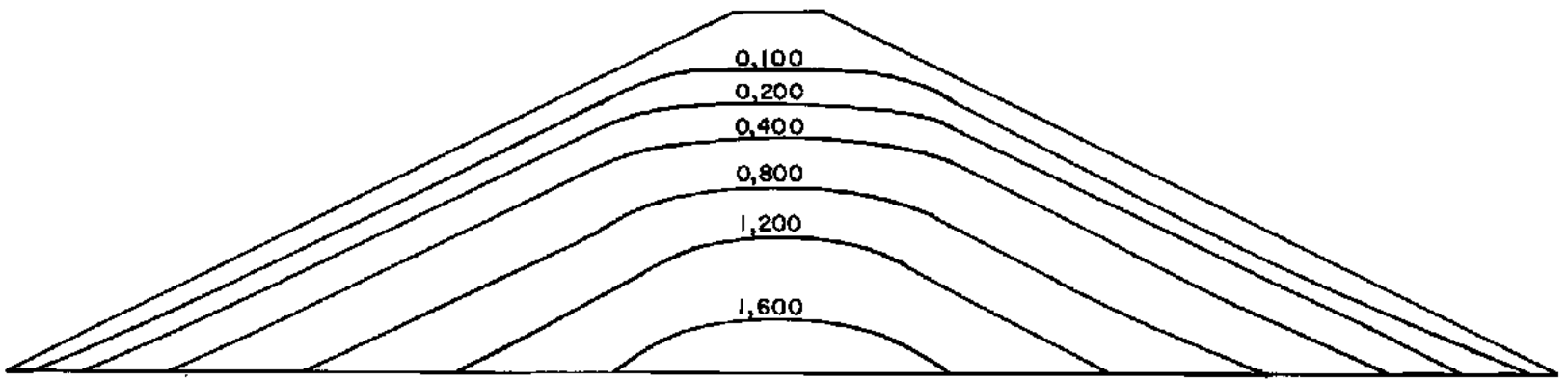
Deformações principais e deslocamentos superficiais obtidos pela utilização do programa ISBILD.

- Fig. 10 -



a) BARRAGEM ZONADA

—— 1,60 —— Curvas de igual deformação cisalhante máxima γ max (%)



b) BARRAGEM HOMOGENEA

Fig 11 – Deformações cisalhantes máximas obtidas pela utilização do programa ISBILD.

Assim, enquanto na barragem homogênea as maiores deformações principais ocorrem abaixo da crista, na barragem zonada as maiores deformações (menos da metade do valor obtido na barragem homogênea) ocorrem no núcleo e no seu contato com a aba de montante.

O deslocamento superficial tem conformação semelhante nas duas alternativas, porém de magnitude maior na barragem homogênea.

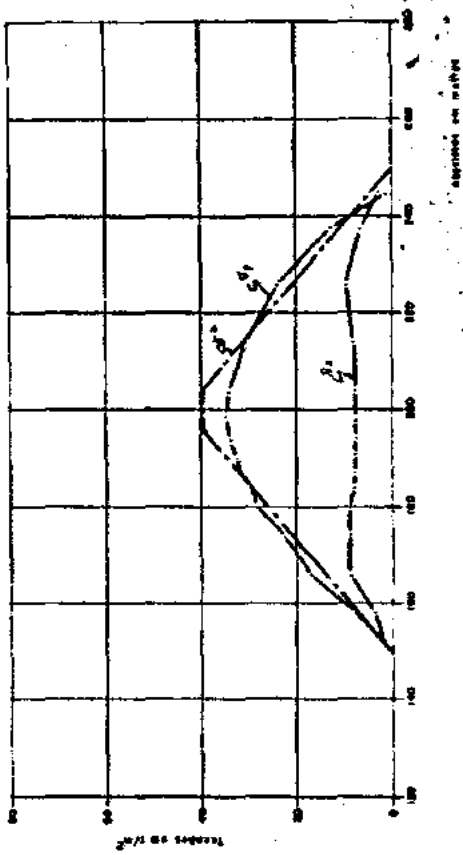
Quanto às deformações cisalhantes, é notável o aumento das mesmas nas abas (junto ao núcleo) na metade inferior da barragem, evidenciando a tendência do núcleo de se "pendurar" nas abas, enquanto que no núcleo essas deformações são pequenas, à exceção do trecho nas proximidades da base, onde são atingidos os valores máximos.

Ainda quanto às deformações cisalhantes, esperava-se obter das curvas de igual deformação uma indicação da provável superfície de deslizamento. Na barragem homogênea, a falta de indícios pode ser explicada pelos fatores de segurança relativamente altos (> 2,5), com o que não há possibilidade de deformações significantes. Já na barragem zonada, pode-se visualizar uma superfície de ruptura composta de duas retas, uma partindo do pé do talude de montante, pela base do maciço até o núcleo, e outra desse ponto, indo pela interface núcleo aba de montante até a crista.

Nas figs. 12 e 13 estão apresentadas as tensões em seções notáveis (vide fig. 6b) horizontais, para as duas alternativas. Na fig. 14 são mostrados os desenvolvimentos de tensões e deslocamentos ao longo de seções notáveis inclinadas.

Nesta sistemática de apresentação (figs. 12 a 14) foi seguida a sugestão de OZAWA & DUNCAN (1973) de representar os resultados da análise através de gráficos em relação às seções horizontais e inclinadas de maior importância e representatividade para o caso em estudo.

Tal sistemática, além de permitir verificar a continuidade (e por



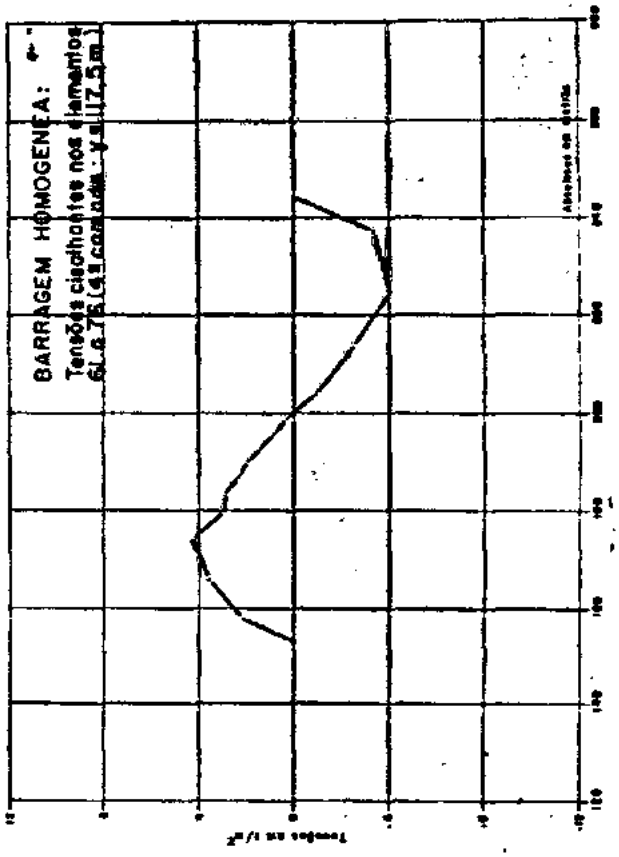
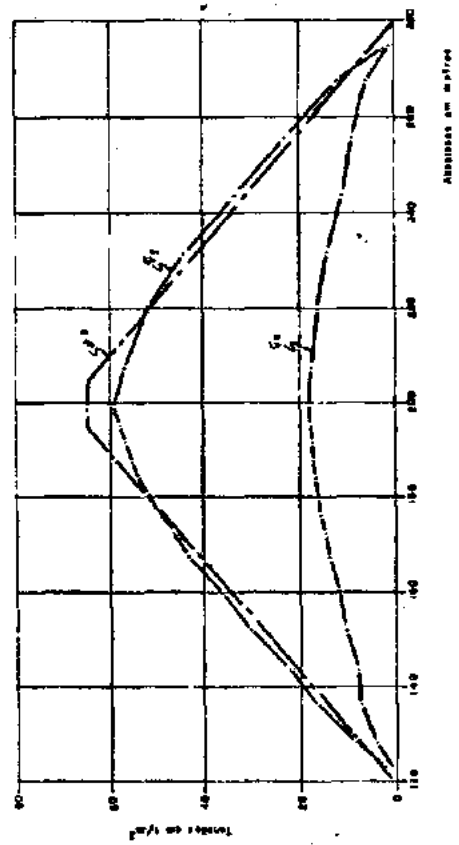
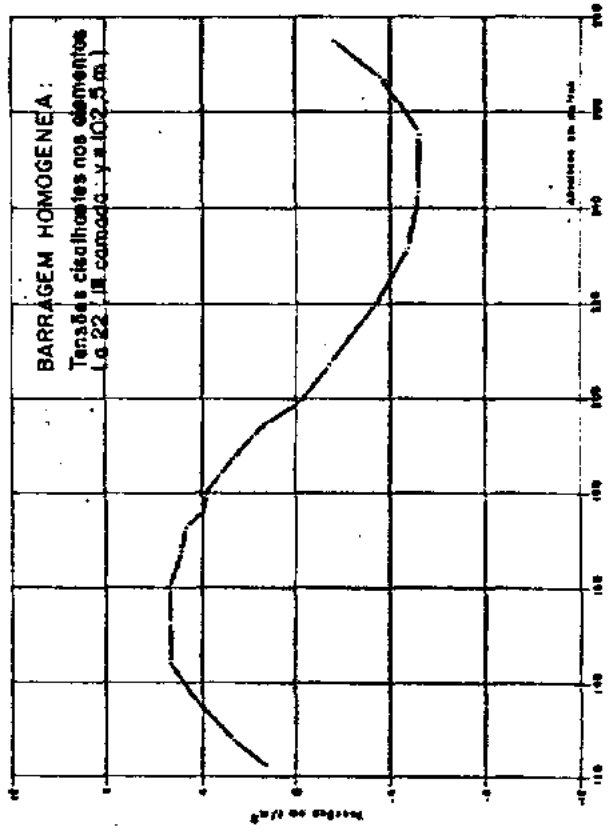
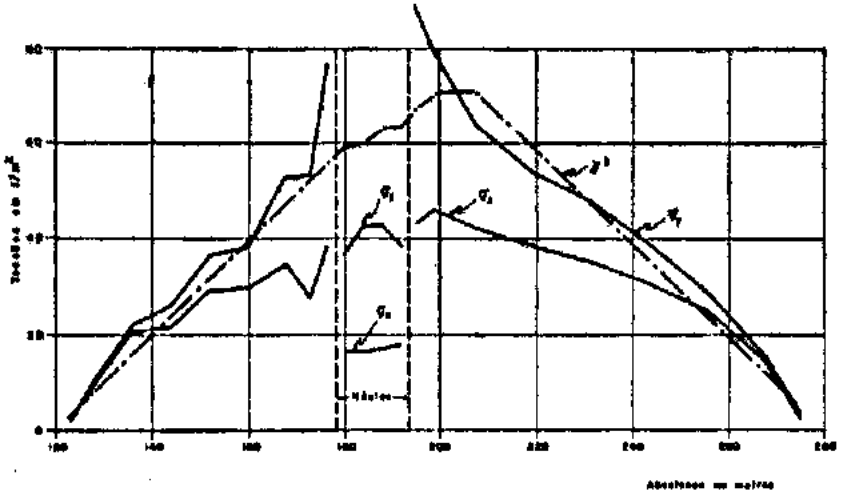

BARRAGEM HOMOGENEA:
Tensões cisalhantes nos elementos

Fig. 12

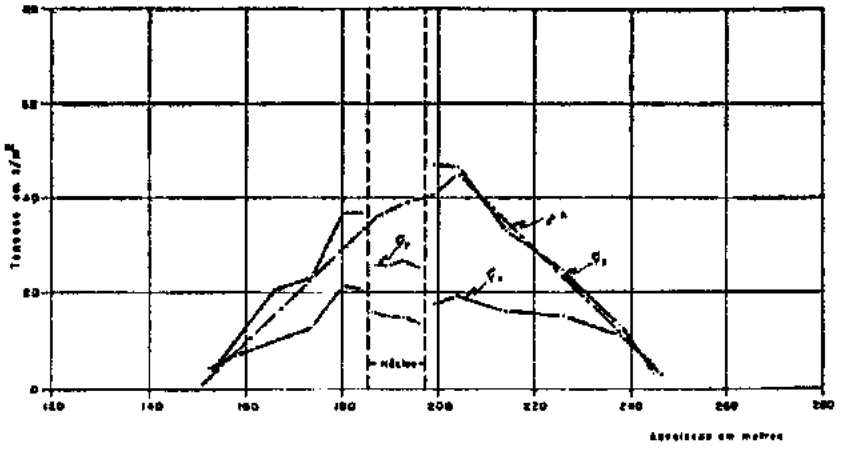


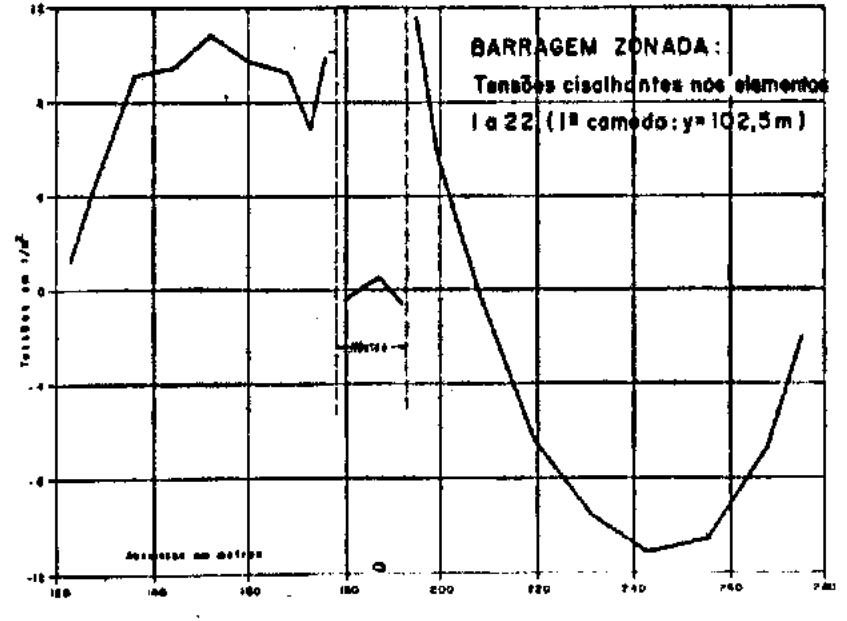

BARRAGEM HOMOGENEA:
Tensões cisalhantes nos elementos

BARRAGEM ZONADA :
Tensões nos elementos 1 a 22 (1ª camada ; y = 102,5 m)



BARRAGEM ZONADA :
Tensões nos elementos 61 a 76 (4ª camada ; y = 117,5 m)





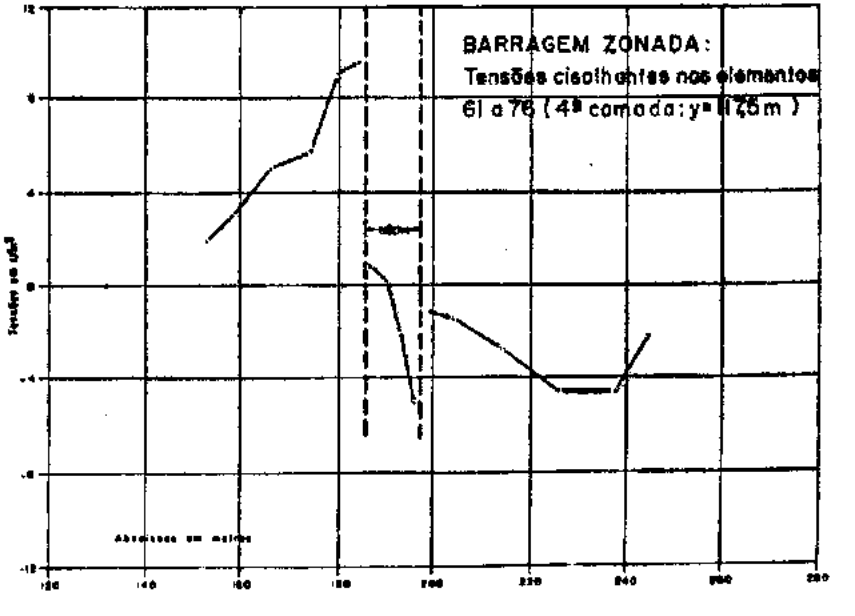
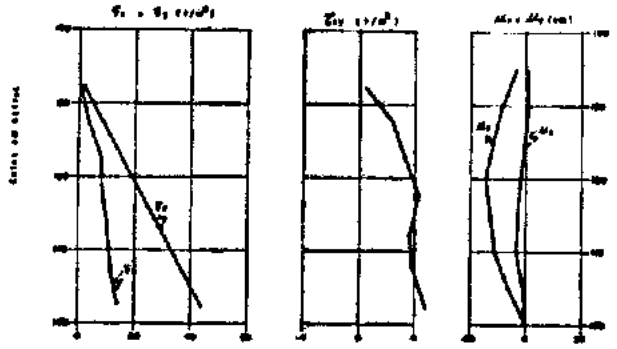


Fig. 13

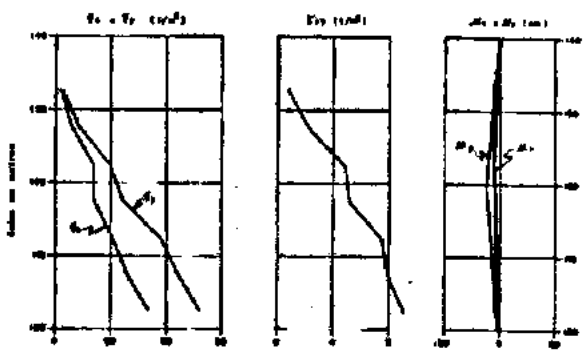
BARRAGEM HOMOGENEA: (MONTANTE)

Tensões nos elementos 7 a 103 Deslocamentos dos pontos nodais 8 a 120



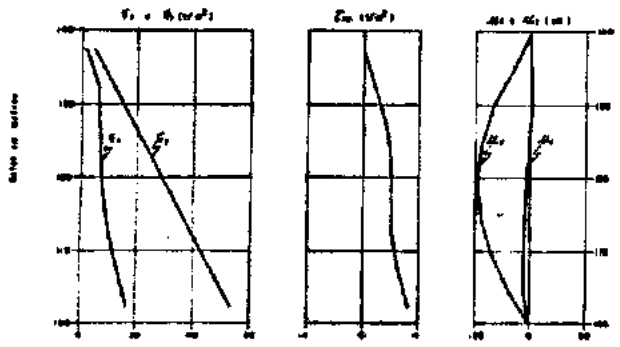
BARRAGEM ZONADA: (MONTANTE)

Tensões nos elementos 7 a 103 Deslocamentos dos pontos nodais 8 a 120



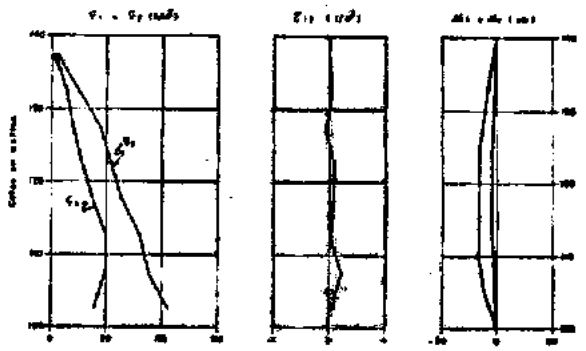
BARRAGEM HOMOGENEA : (CENTRO)

Tensões nos elementos 11 a 116 Deslocamentos dos pontos nodais 12 a 132



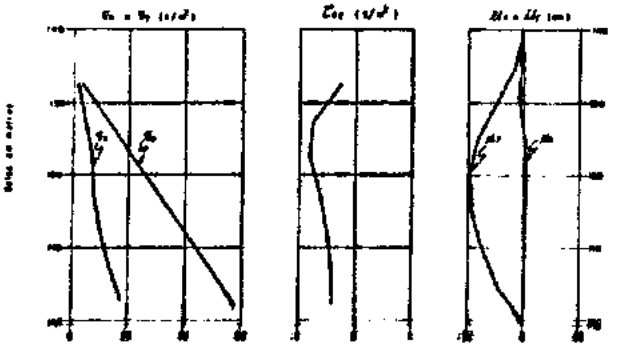
BARRAGEM ZONADA: (CENTRO)

Tensões nos elementos 11 a 116 Deslocamentos dos pontos nodais 12 a 132



BARRAGEM HOMOGENEA : (JUSANTE)

Tensões nos elementos 16 a 112 Deslocamentos dos pontos nodais 16 a 128



BARRAGEM ZONADA: (JUSANTE)

Tensões nos elementos 16 a 112 Deslocamentos dos pontos nodais 16 a 128

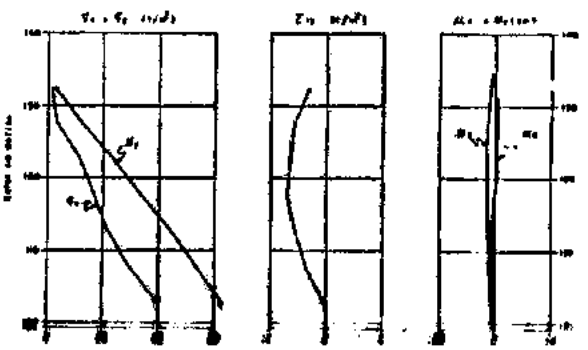


Fig. 14

tanto validade) dos resultados obtidos da análise pelo método dos elementos finitos, fornece detalhes do comportamento da estrutura que facilitam avaliar o desempenho da mesma.

Assim é que, na fig. 12, pode-se verificar para a barragem homogênea a semelhança entre os valores da tensão vertical σ_y e do peso atuante devido à coluna de solo acima do ponto considerado(γ_h). Vê-se,também, que o gráfico de tensões cisalhantes é simétrico em relação à crista da barragem.

Quanto à barragem zonada, (fig. 13), confirma-se a "pendurada" do núcleo nas abas, pelos diagramas de tensões verticais,horizontais e cisalhantes e a semelhança entre σ_y e $\gamma.h$ fora do núcleo.

A partir da definição de fator de segurança

$$FS = \frac{\Sigma\ (c' + \sigma' \ .\ \tan \phi')}{\Sigma \tau} \qquad (19)$$

o mesmo foi calculado para o círculo crítico (encontrado pela utilização do programa BISPO) da barragem homogênea, encontrando-se o valor FS = 2,65, praticamente igual ao determinado pelo método simplificado de BISHOP (FS = 2,67), com diferença menor que 1%.

Para o mesmo círculo, já para a alternativa de barragem zonada, o fator de segurança encontrado pelo método dos elementos finitos foi de 2,66, enquanto que pelo método de BISHOP foi de 2,43, mostrando pois uma diferença da ordem de 10%.

Deduz-se que,para barragens zonadas, a precisão do cálculo do fator de segurança vai depender da seção adotada, enquanto que, para barragens homogêneas, o método simplificado de BISHOP, fornece valores precisos, confirmando assim as indicações de WRIGHT, KUHLHAWY & DUNCAN (1973), de que, para taludes homogêneos, a diferença do fator de segurança por BISHOP e elementos finitos é menor

que 8%. Portanto, por esses dois métodos utilizarem hipóteses de cálculo diferentes, conclui-se que o método de BISHOP fornece valores satisfatórios e confiáveis para o fator de segurança.

Entretanto, deve-se ter em mente que o cálculo do fator de segurança pela eq (19) é função do nível de tensões ($\sigma_1 - \sigma_3$), portanto da tensão principal menor σ_3, a qual, por sua vez, é dependente do coeficiente de Poisson, conforme mostrado por KULHAWY, DUNCAN & SEED (1969). Assim, dependendo do modo pelo qual a variação do coeficiente de Poisson foi levada em consideração no programa de elementos finitos, poder-se-á obter valores algo diferentes para o fator de segurança.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Pelo exposto no presente trabalho, sugere-se que:

a) por fornecer com melhor exatidão que os outros métodos manuais o fator de segurança para superfícies não circulares, deve-se escolher o método de JANBU para analisar estas superfícies, quando não houver computador disponível;

b) devido a sua relativa facilidade, quando confrontado com o método de MORGENSTERN e PRICE, o método de SPENCER deve ser escolhido para estudo de superfícies não circulares de ruptura, quando há computadores disponíveis;

c) por melhor aliar facilidade de cálculo e exatidão dos resultados, o método simplificado de BISHOP deve ser o escolhido para analisar superfícies circulares de ruptura;

d) sempre que possível, de ser feita uma verificação pelo método de MORGENSTERN e PRICE, da superfície de ruptura determinada por qualquer outro método;

Pelo que se verificou nos capítulos anteriores, pode-se concluir que:

a) nos casos de círculos profundos, com presença de pressão neutra, e com baixo fator de segurança calculado pelo método simplificado de BISHOP, deve-se encarar apenas como indicativo o fator de segurança encontrado;

b) no cálculo do fator de segurança pelo método simplificado de BISHOP, quando se encontrar em qualquer fatia a condição $m_\alpha < 0,2$, deve-se calcular a força normal na base da fatia por FELLENIUS.

c) para casos de taludes como os estudados neste trabalho, tomando-se da ordem de 20 fatias por círculo ou largura de fatias da ordem de 10% da altura do talude, são obtidos fatores de segurança praticamente sem influência devido ao número de fatias, mesmo para parâmetros de pressão neutra $r_u = 0,8$;

d) a influência do número de fatias na precisão do fator de segurança é diretamente proporcional ao coeficiente de pressão neutra r_u;

e) baseando-se na mesma definição de fator de segurança, a comparação dos resultados obtidos pela utilização do método dos elementos finitos e do método simplificado de BISHOP permite concluir que, por estes dois métodos utilizarem hipóteses de cálculo diferentes, o método de BISHOP fornece para os casos estudados valores confiáveis para o fator de segurança;

f) o programa BISPO foi testado, com exemplos difundidos ou verificados por outros métodos, apresentando desempenho satisfatório.

Como sugestões para teses futuras, indicamos:

I - Mais comparações de resultados obtidos pela utilização do método dos elementos finitos e do método simplificado de BISHOP, para análises de barragens, com fatores de segurança mais baixos, possibilidade de ruptura pela fundação, redes de fluxo, etc.

II - Investigações do significado do fator de segurança, pelo método simplificado de BISHOP, quando obtido de superfícies não circulares.

III - Influência de diferentes mobilizações de resistência ao cisalhamento ao longo da superfície circular de ruptura, conforme preconizado por PECK (1966):

- no terço superior do arco, a resistência a ser utilizada é a residual;

- no terço central utilizar a resistência máxima;

- no terço inferior utilizar um valor intermediário entre os dois anteriores.

BIBLIOGRAFIA

A.S.C.E. (1973) - "Engineering Computer Program Documentation Standards" - Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE - March.

BELL, J.M. (1968) - "General Slope Stability Analysis" - Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE - November.

BISHOP, A.W. (1954) - "The Use of Pore-Pressure Coefficients in Practice" - Geotechnique - December.

BISHOP, A.W. (1955) - "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes" - Geotechnique - September.

BISHOP, A.W. & MORGENSTERN, N. R. (1960) - "Stability Coefficients for Earth Slopes" - Geotechnique - December.

CRUZ, P.T. (1973) - "Estabilidade de Taludes" - EPUSP

EISENSTEIN, Z. & KAZDA, I. (1970) - "Determination of Critical Slip Surface" - Anais do X.ICOLD - Q.36 R.48 - Montreal

HEHL, M.E. (1972) - "Sistema de Programação FORTRAN IV G-H" - Mc Graw-Hill.

HEHL, M.E. (1974) - "FORTRAN Técnicas Práticas e Eficientes de Programação" - Livros Técnicos e Científicos Editora.

JANBU, N. (1973) - "Slope Stability Computations" - in EMBANKMENT DAM ENGINEERING - WILEY.

KULHAWY, F. H., DUNCAN, J.M. & SEED, H.B. (1969) - "Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Embankments during Construction" - Report No. TE-69-4 to U.S. Army Engineers, Waterways Experiment Station - University of California, Berkeley.

LACERDA, W.A., DIAS, P.H & PEIXOTO, F.L. (1974) - "Estudo dos Parâmetros de Solos para Análise por Elementos Finitos" - 1º Seminário Brasileiro de Aplicação do Método dos Elementos Finitos à Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações.

L.C.P.C. (1971) - "Reflexions sur la Methode de Bishop Simplifiée" - Publicação Interna do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

LEE, K.L. & SEED, H.B. (1967) - "Drained Strength Characteristics of Sands" - Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE - November.

LITTLE, A.L. & PRICE, V.E. (1958) - "The Use of an Electronic Computer for Slope Stability Analysis" - Geotechnique - September.

LOPES, F.R. (1974) - "Análise do Controle da Água em Escavações pelo Método dos Elementos Finitos" - Tese de Mestrado COPPE-UFRJ.

MORGENSTERN, N.R. & PRICE, V.E. (1965) - "The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces" - Geotechnique - March.

NUNES, A. Costa (1956) - "Curso de Mecânica dos Solos e Fundações" - Ed. Globo.

OZAWA, Y. & DUNCAN, J.M. (1973) - ISBILD - a Computer Program for Analysis of Static Stresses and Movements in Embankments" - Report TE-73-4 to National Science Foundation - University of California, Berkeley.

PECK, Ralph B. (1966) - "Stability of Natural Slopes" - Berkeley Conference on Stability and Performance of Slopes and Embankments.

PFAFSTETTER, Otto (1963) - "Estabilidade de Barragens de Terra" - Departamento Nacional de Obras de Saneamento (M.V.O.P.).

PICHAVANT, P. (1972) - "Cálculo da Estabilidade de Taludes" - Publicação Interna da COPPE-UFRJ.

RESENDIZ, Daniel (1974) - Discussão do Artigo de WRIGHT et al (1973) Journal of the Geotechnical Division, ASCE - August

SALOMON, D.V. (1974) - "Como fazer uma Monografia" - Entrelivros de Minas Gerais Editora.

SHERARD, J.L. et allia (1963) - "Earth and Earth Rock Dams" - Wiley.

SPENCER, E. (1967) - "A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces" - Geotechnique- March.

WHITMAN, R.V. & BAILEY, W.A. (1966) - "Use of Computers for Slope Stability Analysis" - Berkeley Conference on Stability and Performance of Slopes and Embankments.

WONG, K.S. & DUNCAN, J.M. (1974) - "Hyperbolic Stress-Strain Parameters for Nonlinear Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Soil Masses" - Report No. TE-74-3 to National Science Foundation - University of California, Berkeeley.

WRIGHT, S.G. (1969) - "A Study of Slope Stability and the Undrained Shear Strength of Clay Shales" - Ph. D. Thesis - University of California, Berkeley.

WRIGHT, S.G., KULHAWY, F.H. & DUNCAN, J.M. (1973) - "Accuracy of Equilibrium Slope Stability Analysis" - Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE - October.

NOTAÇÃO ADOTADA

A, $\underline{B}$, B — Parâmetros de pressão neutra de Skempton

C - Coesão aparente do solo

C_m - Coesão (mobilizada para equilíbrio) do solo

C' - Coesão efetiva do solo

d - Fator de proporcionalidade do coeficiente de Poisson, em relação à deformações

E_n - Esforço normal entre fatias

F - Fator de proporcionalidade de coeficientes de Poisson, em relação a tensões confinantes

FS - Fator de segurança

FS_{min} - Fator de segurança mínimo, encontrado

FS_{BISHOP} - Fator de segurança obtido pelo método simplificado de BISHOP

$FS_{FELLENIUS}$ - Fator de segurança obtido pelo método de FELLENIUS

G - Valor do coeficiente de Poisson para tensão confinante atmosférica

g - Distância do ponto de aplicação do esforço normal à base da fatia

h - Altura de solo acima de um ponto

H - Altura do talude

K - Fator de proporcionalidade no carregamento do módulo de elasticidade

K_{ur} - Fator de proporcionalidade no descarregamento do módulo de elasticidade

ℓ - Comprimento de arco de circunferência

ℓ_1 - Braço de alavanca de momento devido ao peso de massa deslizante

m_α - Parte da equação para cálculo do FS por BISHOP

M - Ponto médio da base da fatia

n - Expoente de proporcionalidade do método de elasticidade

N - Força normal atuante na base da fatia

N' - Força normal efetiva atuante na base da fatia

Q_n - Resultante dos esforços entre fatias, para a fatia n

Q_R - Resultante da força Q_n e Q_{n-1}, para fatia n

R - Raio da circunferência da superfície de deslizamento ou raio qualquer da espiral logarítmica

R_o - Raio de referência da espiral logarítmica

R_f - Coeficiente de níveis de tensões

r_u - Coeficiente de pressão neutra de BISHOP

S_u - Resistência ao cisalhamento não drenada

T_n - Resistência ao cisalhamento na base da fatia

u - Pressão neutra

u_x - Deslocamento do ponto nodal na direção $\underline{x}$

u_y - Deslocamento do ponto nodal na direção $\underline{y}$

X_n - Esforço tangencial entre fatias

x - Abscissas

y - Ordenadas

y_t - Ordenadas, em relação à base da fatia, do ponto de aplicação do esforço normal entre fatias

W - Peso da massa de solo

α - Ângulo, com a horizontal, da base da fatia

β - Ângulo, com a horizontal, da superfície do talude

γ - Peso específico aparente do solo
Deformação cisalhante

Δx - Largura das fatias (medida na horizontal)

ε_a - Deformação específica axial

ε_1 - Deformação específica principal maior

σ_x - Tensão na direção do eixo das abscissas

σ_y - Tensão na direção do eixo das ordenadas

σ_1 - Tensão principal maior

σ_3 - Tensão principal menor

τ_o - Tensão cisalhante média

τ_{xy} - Tensão cisalhante num ponto, conjugada às tensões σ_x e σ_y

ϕ - Ângulo de atrito interno aparente do solo

ϕ_m - Ângulo de atrito interno (mobilizado para equilíbrio) do solo

ϕ' - Ângulo de atrito interno efetivo do solo

APÊNDICE

DOCUMENTAÇÃO DO PROGRAMA BISPO

0. OBJETIVO

Esta documentação visa facilitar e incentivar a aplicação do programa "BISPO". Apresenta e descreve as características principais do referido programa, escrito em linguagem FORTRAN IV, visando processamento em um computador IBM-370 mod. 165, para análise da estabilidade dos taludes de um maciço de terra através do cálculo dos fatores de segurança ao deslizamento de superfícies circulares pelos métodos de FELLENIUS e de BISHOP simplificado.

Foi seguida a proposta de norma para documentação de programas de computador para fins de engenharia ("Proposed Engineering Computer Program Documentation Standard"), do Subcomitê de Documentação de Programas, Comitê para Aplicação de Computadores da Divisão de Mecânica dos Solos e Fundações da Sociedade Americana de Engenheiros Civis (The Subcommittee on Program Documentation of the Committee on Computer Applications of the Soil Mechanics and Foundation Division - ASCE), publicada em março de 1973 no Journal da referida divisão.

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROGRAMA

1.1 TÍTULO DO PROGRAMA

"Análise da Estabilidade de Taludes - Métodos de FELLENIUS e BISHOP Simplificado".

1.2 Nome codificado do programa: BISPO

1.3 Autor: Luciano Jacques de Moraes Junior

1.4 Entidade: COPPE-UFRJ
Programa de Engenharia Civil
Área de Mecânica dos Solos
Cidade Universitária - Ilha do Fundão
20.000 - Rio de Janeiro - Guanabara

1.5 Data: Dezembro - 1975

1.6 Atualização: Nenhuma.
Versão: 0 (14 de dezembro de 1975)

1.7 Linguagem do programa fonte: IBM FORTRAN-IV

1.8 DISPONIBILIDADE DO PROGRAMA FONTE

- Listagem completa na figura A-1.
- Conjunto de cartões com o coordenador da área de Mecânica dos Solos (COPPE-UFRJ).

1.9 RESUMO

O programa calcula, para uma dada geometria dos taludes de um maciço de terra, o fator de segurança ao deslizamento de superfícies circulares de diferentes raios (máximo 20) para cada centro de uma malha fornecida, pelos métodos de FELLENIUS e de BISHOP simplificado. O maciço pode ser composto de até 12 tipos (camadas) diferentes de solos, cada um com seus parâmetros próprios (peso específico aparente, coesão, ângulo de atrito, incremento de coesão com a profundidade, parâmetro de pressão neutra r_u). Pressões neutras- devidas à percolação, rebaixamento rápido do nível d'água, etc. - podem ser levadas em consideração através do fornecimento de uma malha, cujos nós representam pontos de carga total conhecida de água. As unidades adotadas são tonelada, metro e graus (para ângulo de atrito interno).

```
          C* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
          C
          C     COPPE-UFRJ.....PROGRAMA DE ENGENHARIA CIVIL......
          C
          C                .....AREA DE MECANICA DOS SOLOS.....
          C
          C     ....APOIO FINANCEIRO DO CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS....
          C
          C     ....LUCIANO JACQUES DE MORAES JUNIOR - SETEMBRO DE 1975....
          C
          C     PROGRAMA BISPCO ANALISE DA ESTABULIDADE DOS TALUDES DE UM
          C                     MACICO DE TERRA ATRAVES DO CALCULO DOS
          C                     FATORES DE SEGURANCA AO DESLIZAMENTO DE
          C                     SUPEEFICIES CIRCULARES PELOS METODOS DE
          C                     FELLENIUS E BISHOP SIMPLIFICADO.
          C*****************************************************************
          C
0001            INTEGER NO/'NO'/,SI/'SI'/,          GEOMA,GAMAW,COESW,
               QPHIW,DCZW,BBARW,GEOMF,GEOMP
0002            DIMENSION TITUL(20),REBU(18),XYD(11),ICOND(17),LADO(2)
          C     MALHA DE CARGA TOTAL DE AGUA
0003            REAL XP(16)/16*0./,YP(12)/12*0./,P(16,12)/192*0./
          C     NUMERO DE CAMADAS
0004            DIMENSION GAMA(12),COES(12),PHI(12),DCZ(12),BAR(12)
          C------NUMERO DE CONTORNOS E DE PONTOS DEFINIDORES (NF)
0005            DIMENSION XF(13,16),YF(13,16),XF1(16),Y(13,200)
          C     NUMERO MAXIMO DE FATIAS DO TRECHO EM ESTUDO
0006            DIMENSION COSAL(200),R(200),Q(200),COESA(200),ATFEL(200)
          C     NUMERO MAXIMO DE CIRCULOS POR CENTRO
0007            DIMENSION FS(20),RR(20),WSEN(20),NRITE(20),NRFAT(20),FEL(20)
0008            EQUIVALENCE (ICOND(17),NFAT),(ICOND(16),NITER),
               1(ICOND(15),NPY),(ICOND(14),NPX),(ICOND(13),NF),
               2(ICOND(12),NCAM),(ICOND(11),IBTOT),(ICOND(10),GEOMP),
               3(ICOND(9),GEOMF),(ICOND(8),BBARW),(ICOND(7),DCZW),
               4(ICOND(6),PHIW),(ICOND(5),COESW),(ICOND(4),GAMAW),
               5(ICOND(3),GEOMA),(ICOND(2),MONTA),(ICOND(1),LISTA)
0009            EQUIVALENCE (XYD(11),DR),(XYD(10),YRB),(XYD(9),YRA),
               1(XYD(8),DC),(XYD(7),XLONGE),(XYD(6),YQUINA),(XYD(5),XQUINA),
               2(XYD(4),YPONTA),(XYD(3),XPONTA),(XYD(2),XB),(XYD(1),XA)
0010            DATA REBU/'  FO','RNEC','IDOS',' NES','SE F','LUXO',' DE ',
               1'DADO','S   ',' MES','MOS ','DO F','LUXO',' DE ','DADO',
               2'S AN','TERI','OR  '/,LADO/'MONT',' JUS'/
0011            DATA GAMA,COES,PHI,DCZ,BAR,XF,YF/476*0./
0012            DATA Y,COSAL,R,Q,COESA,ATFEL/3600*0./
0013            DATA FS,RR,WSEN,FEL,NRITE,NRFAT,NRAIO,KTG/80*0.,40*0,20,1/
0014            DATA LIMAX,IR,IW/58,1,3/
          C
          C     ENTRADA DE DADOS
          C
0015      10    FORMAT(16F5.2)
          C.............................--TITULO E CONDICOES
0016      12    READ(IR,13,ERR=888,END=999)TITUL,ICOND,PRECI,POFIX,POFIY
0017      13    FORMAT(20A4,/,10A2,6I2,I3,3F5.2)
0018            IF(NCAM.EQ.0)NCAM=12
```

Fig. A1

```
0019              NCONT=NCAM+1
0020              IF(NF.EQ.0)NF=16
0021              IF(NPX.EQ.0)NPX=2
0022              IF(NPY.EQ.0)NPY=12
0023              IF(NITER.EQ.0)NITER=8
0024              IF(NFAT.EQ.0)NFAT=200
0025              IF(PRECI.EQ.0.)PRECI=0.002
0026              KLADO=2
0027              IF(MONTA.EQ.SI)KLADO=1
0028              WRITE(IW,15)TITUL,LADC(KLADO)
0029        15    FORMAT(1H1,T20,20A4,/,5X,12(1H*),3X,'ANALISE DA ESTABILIDADE
                 1'DE TALUDES-METODOS DE FELLENIUS E BISHOP SIMPLIFICADO',3X,
                 212(1H*),/,5X,'BISPO SET 75',T46,
                 3'ESTUDO DO TALUDE DE ',A4,'ANTE',/)
            C-----------------------------1 -GEOMETRIA DA MALHA DE CENTROS
0030        16    CALL ENTRA(GEOMA,K1,K1F,IR,XYD,11,&888,&26)
            C-----------------------------2 GAMA DAS NCAM CAMADAS
0031        26    CALL ENTRA(GAMAW,K2,K2F,IR,GAMA,NCAM,&888,&36)
            C-----------------------------3 -COESAO DAS NCAM CAMADAS
0032        36    CALL ENTRA(COESW,K3,K3F,IR,COES,NCAM,&888,&46)
            C-----------------------------4 -PHI DAS NCAM CAMADAS
0033        46    CALL ENTRA(PHIW,K4,K4F,IR,PHI,NCAM,&888,&56)
0034              KTG=0
            C-----------------------------5 -INCREMENTO DE COESAO COM A PROF.
0035        56    CALL ENTRA(DCZW,K5,K5F,IR,DCZ,NCAM,&888,&66)
            C-----------------------------6 -PARAMETROS DE PRESSAO NEUTRA RU
0036        66    CALL ENTRA(BBARW,K6,K6F,IR,BAR,NCAM,&888,&68)
            C-----------------------------7A-NF ABSCISSAS DOS NCONT CONTORNOS
0037        68    CALL ENTRA(GEOMF,K7,K7F,IR,XF1,NF,&888,&86)
0038              DO 681 J=1,NF
0039        681   XF(1,J)=XF1(J)
0040        76    DO 761 J=2,NCONT
0041        761   READ(IR,10,ERR=888)(XF(J,I),I=1,NF)
            C-----------------------------7B-NF ORDENADAS DOS NCONT CONTORNOS
0042              DO 762 J=1,NCONT
0043        762   READ(IR,10,ERR=888)(YF(J,I),I=1,NF)
            C-----------------------------...MALHA DE CARGA TOTAL DE AGUA
            C-----------------------------8A-ABSCISSAS DAS VERTICAIS DA MALHA
0044        86    CALL ENTRA(GEOMP,K8,K8F,IR,XP,NPX,&888,&88)
            C-----------------------------8B-ORDENADAS DAS HORIZONTAIS DA MALHA
0045              READ(IR,10,ERR=888)YP
            C-----------------------------8C-VALORES DAS CARGAS NOS NOS
0046              DO 861 J=1,NPX
0047        861   READ(IR,10,ERR=888)(P(J,I),I=1,NPY)
0048        88    IF(LISTA-NO)92,90,92
0049        90    WRITE(IW,91)
0050        91    FORMAT(///,120(1H*),//,16(1H.),4X,'DADOS DE ENTRADA NAO ',
                 1'SERAO LISTADOS',4X,16(1H.),//,120(1H*))
0051              GO TO 120
            C
            C     IMPRESSAO DOS DADOS DE ENTRADA
            C
0052        92    WRITE(IW,93)(REBU(I1),I1=K1,K1F),(REBU(I2),I2=K2,K2F),
                 1             (REBU(I3),I3=K3,K3F),(REBU(I4),I4=K4,K4F),
```

Fig A1 (1 de 9)

```
                 2              (REBU(I5),I5=K5,K5F),(REBU(I6),I6=K6,K6F),
                 3              (REBU(I7),I7=K7,K7F),(REBU(I8),I8=K8,K8F)
0053        93    FORMAT(46(1H.),4X,'CONDICCES DOS DADOS',4X,46(1H.),/,
                 1T10,'GEOMETRIA DA MALHA DE CENTROS',          26(1H.),9A4,/,
                 2T10,'PESO ESPECIFICO DAS CAMADAS',            28(1H.),9A4,/,
                 3T10,'COESAO INTERNA DAS CAMADAS',             29(1H.),9A4,/,
                 4T10,'ANGULO DE ATRITO INTERNO DAS CAMADAS',   19(1H.),9A4,/,
                 5T10,'INCREMENTO DE COESAO COM A PROFUNDIDADE',
                 6                          ' DAS CAMADAS',     4(1H.),9A4,/,
                 7T10,'PARAMETRO DE PRESSAO NEUTRA (RU) ',
                 8                          'DAS CAMADAS',     11(1H.),9A4,/,
                 9T10,'GEOMETRIA DOS CONTORNOS DAS CAMADAS',    20(1H.),9A4,/,
                 AT10,'GEOMETRIA E VALORES DA MALHA DE CARGA',
                 B                          ' TOTAL DE AGUA',   4(1H.),9A4,/)
0054              IF(IBTOT-1)94,95,96
0055        94     WRITE(IW,941)
0056        941   FORMAT(T20,'PRESSOES NEUTRAS NAO SERAO COMPUTADAS NESSE',
                 +'FLUXO DE DADOS',20(1H.)/)
0057              GO TO 97
0058        95    WRITE(IW,951)
0059        951   FORMAT(T20,'PRESSOES NEUTRAS COMPUTADAS A PARTIR DO ',
                 1'PARAMETRO RU',   20(1H.)/)
0060              GO TO 97
0061        96    WRITE(IW,961)
0062        961   FORMAT(T20,'PRESSOES NEUTRAS COMPUTADAS DA MALHA DE CARGA ',
                 1' TOTAL DE AGUA',20(1H.)/)
0063        97    WRITE(IW,971)NCAM,NF,NPX,NPY,NITER,NFAT,PRECI
0064        971   FORMAT(T30,'NUMERO DE CAMADAS DE MATERIAIS EXISTENTES ',
                 1'NA SECAO EM ESTUDO',                          10(1H.),I4,/,
                 2T30,'NUMERO MAXIMO DE PONTOS DEFINIDORES DOS ',
                 3'CONTORNOS DAS CAMADAS',                        9(1H.),I4,/,
                 4T30,'NUMERO DE VERTICAIS DA MALHA DE PRESSOES',30(1H.),I4/,
                 5T30,'NUMERO DE HORIZONTAIS DA MALHA ',
                 6                          'DE PRESSOES',       28(1H.),I4,/,
                 7T30,'NUMERO LIMITE DE ITERACOES DO FATOR ',
                 8                      'DE SEGURANCA',          22(1H.),I4,/,
                 9T30,'NUMERO DE FATIAS PARA O TRECHO EM ESTUDO',30(1H.),I4/,
                 AT30,'PRECISAO DA CONVERGENCIA DOS FATORES ',
                 B                          'DE SEGURANCA',      21(1H.),F6.4)
0065              IF(POFIX)98,100,98
0066        98    WRITE(IW,981)POFIX,POFIY
0067        981   FORMAT(120(1H*),/,88X,'X=',F6.2,/,20X,'TODOS OS CIRCULOS ',
                 1'PASSAM OBRIGATORIAMENTE PELO PONTO DE COORDENADAS ',/,
                 288X,'Y=',F6.2)
0068        100   WRITE(IW,1001)XYD
0069        1001  FORMAT(/,41(1H*),4X,'GEOMETRIA DA MALHA DE CENTROS',4X,
                 141(1H*),/,T40,'ABSCISSA EXTREMA ESQUERDA DO TRECHO EM ',
                 2'ESTUDO',13(1H.),F6.2 ,' M',/,T40,'ABSCISSA EXTREMA ',
                 3'DIREITA DO TRECHO EM ESTUDO',14(1H.),F6.2,' M',/,T40,
                 4'ABSCISSA SUPERIOR ESQUERDA EXTREMA DA MALHA DE CENTROS',
                 5 4(1H.),F6.2,' M',/,T40,'ORDENADA EXTREMA SUPERIOR DA ',
                 6'MALHA DE CENTROS',13(1H.),F6.2,' M',/,T40,'ABSCISSA ',
                 7'INFERIOR ESQUERDA EXTREMA DA MALHA DE CENTROS', 4(1H.),
                 8F6.2,/,T40,'ORDENADA EXTREMA INFERIOR DA MALHA DE CENTROS',
```

Fig A1 (2 de 9)

```
                913(1H.),F6.2,' M',/,T40,'ABSCISSA INFERIOR DIREITA ',
                A'EXTREMA DA MALHA DE CENTROS', 5(1H.),F6.2,' M',/,T40,
                B'ESPACAMENTO (HORIZONTAL E VERTICAL) DOS CENTROS',11(1H.),
                CF6.2,' M',/,T40,'ORDENADA INFERIOR DE TANGENCIA DOS ',
                J'CIRCULOS',15(1H.),F6.2,' M',/,T40,'ORDENADA SUPERIOR ',
                E'DE TANGENCIA DOS CIRCULOS',15(1H.),F6.2,' M',/,T40,
                F'INCREMENTO DE RAIOS PARA CADA CENTRO',22(1H.),F6.2,' M')
0070             WRITE(IW,1002)NCAM
0071      1002  FORMAT(/46(1H*),4X,'DADOS DAS',I3,' CAMADAS',4X,46(1H*),//,
                1T5,'(1)...PESO ESPECIFICO EM T/M2',
                2T60,'(4)...INCREMENTO DE COESAO COM A PROFUNDIDADE ',
                3                                          'EM T/M2/M',/,
                4T5,'(2)...COESAO INTERNA EM T/M2',
                5T60,'(5)...PARAMETRO DE PRESSAO NEUTRA (RU)')
0072             IF(KTG)1003,1003,1005
0073      1003   WRITE(IW,1004)
0074      1004   FORMAT(2X,
                6T5,'(3)...ANGULO DE ATRITO INTERNO EM GRAUS'///T7,'CAMADA',
                7T28,'(1)',T48,'(2)',T68,'(3)',T88,'(4)',T108,'(5)',/)
0075             GO TO 1007
0076      1005    WRITE(IW,1006)
0077      1006   FORMAT(T5,
                1'(3)...TANGENTE DO ANGULO DE ATRITO INTERNO'///T7,'CAMADA',
                7T28,'(1)',T48,'(2)',T68,'(3)',T88,'(4)',T108,'(5)',/)
0078      1007   DO 101 I=1,NCAM
0079      101    WRITE(IW,1011)I,GAMA(I),COES(I),PHI(I),DCZ(I),BAR(I)
0080      1011   FORMAT(2X,I10,T24,4(F8.2,12X),F6.3)
0081             WRITE(IW,1012)
0082      1012    FORMAT(//,21(1H*),4X,'ABSCISSAS EM METROS DOS PONTOS ',
                1'DEFINIDORES DOS CONTORNOS DAS CAMADAS',4X,21(1H*),//,
                2' CONTORNO')
0083             DO 102 J=1,NCONT
0084      102    WRITE(IW,1021)J,(XF(J,I),I=1,NF)
0085      1021   FORMAT(3X,I2,3X,16F7.2)
0086             WRITE(IW,1022)
0087      1022   FORMAT(//,20(1H*),4X,'ORDENADAS (EM METROS) DOS PONTOS ',
                1'DEFINIDORES DOS CONTORNOS DAS CAMADAS',4X,20(1H*),//,
                2' CONTORNO')
0088             DO 103 J=1,NCONT
0089      103    WRITE(IW,1021)J,(YF(J,I),I=1,NF)
0090             WRITE(IW,1031)YP
0091      1031   FORMAT(//,31(1H*),4X,' DADOS (EM METROS) DA MALHA DE CARGA',
                1' TOTAL DE AGUA',4X,31(1H*),//,T52,'O R D E N A D A S',/,
                22X,'ABSCISSAS',/,11X,12F9.2,//)
0092              DO 104 J=1,NPX
0093      104    WRITE(IW,1041)XP(J),(P(J,I),I=1,NPY)
0094      1041   FORMAT(F9.2,2X,12F9.2)
          C
          C      FIM DE IMPRESSAO DOS DADOS DE ENTRADA
          C
0095      120    IF(POFIX)121,122,121
0096      121    KRAIO=1
0097             GO TO 124
0098      122    KRAIO=(YRB-YRA)/DR+1.4
```

Fig A1 (3 de 9)

```
0099                IF(KRAIO-NRAIO)124,124,123
0100          123   DRNEW=(YRB-YRA)/(NRAIO)
0101                WRITE(IW,1231)KRAIO,DR,NRAIO,DRNEW,NRAIO
0102          1231  FORMAT(/,120(1H*),/,2H..,4X,'NUNERC CALCULADO DE RAIOS (',
                   1I3,' ) PARA O INCREMENTO DADO DE RAIO (',F6.2,' ) EXCEDE ',
                   2'O LIMITE DO PROGRAMA (',I3,')',4X,2H..,/,6(1H.),4X,
                   3'SERA UTILIZADO NOVO VALOR DE INCREMENTO DE RAIO (',F6.2,
                   4' ) PARA ATENDER AO LIMITE DO PROGRAMA (',I3,' )',4X,
                   56(1H.),/,120(1H*))
0103                DR=DRNEW
0104                KRAIO=NRAIO
0105          124   IF(KTG)801,801,803
0106          801   DO 802 I=1,NCAM
0107                FIRAD=PHI(I)*0.0174533
0108          802   PHI(I)=TAN(FIRAD)
0109                KTG=1
0110          803   DX=(XB-XA)/FLOAT(NFAT)
0111                XDX=XA+DX/2.
0112                WRITE(IW,81)DX
0113          81    FORMAT(//,120(1H*),//,30(1H.),4X,'LARGURA DAS FATIAS =, DX =
                   F8.3,' M',4X,46(1H.),//,120(1H*),//)
                C
                C---- ORDENADAS Y(I,J) DOS CONTORNOS 'I' NO MEIO DAS FATIAS 'J'
                C
0114                IF(GEOMF-SI)820,125,820
0115          820   DO 863I=1,NCONT
0116                DO 863J=1,NFAT
                C---- X - ABSCISSA DOS CENTROS DAS FATIAS
0117                X=XDX+(J-1)*DX
0118                DO 82 L=2,NF
0119                XD=XF(I,L)
0120                IF(XD-X)82,82,83
0121          82    CONTINUE
0122                L=L-1
0123          83    XZERO=XD-XF(I,L-1)
0124                IF(XZERO)85,84,85
0125          84    Y(I,J)=(YF(I,L-1)+YF(I,L))*.5
0126                 GO TO 863
0127          85    Y(I,J)=YF(I,L-1)+(X-XF(I,L-1))*(YF(I,L)-YF(I,L-1))/XZERO
0128          863   CONTINUE
0129          125   WRITE(IW,15)TITUL,LADO(KLADO)
0130                WRITE(IW,1251)
0131          1251  FORMAT(T12,'CARACTERISTICAS DOS CIRCULOS',
                   1T62,'FATORES DE SEGURANCA',T101,'NUMERO',T111,'NUMERO DE',
                   2/,T5,'ABSCISSA DO CENTRO',T27,'ORDENADA',T45,'RAIO',T61,
                   3'BISHOP',T74,'FELLENIUS',T85,'W*SEN(ALFA)',T99,
                   4'DE FATIAS',T111,'ITERACOES',/)
0132                NLI=7
                C
                C     CALCULO DOS FATORES DE SEGURANCA
                C
0133                XCINCR=DC*(XPONTA-XQUINA)/(YPONTA-YQUINA)
0134                XCI=XPONTA+XCINCR
0135                YC=YPONTA+DC
```

Fig A1 (4 de 9)

```
                C          PARA CADA HORIZONTAL DA MALHA DE CENTROS
0136                       KYC=(YPONTA-YQUINA)/DC+1.5
0137                       KXC=(XLENGE-XQUINA)/DC+1.5
0138                       DO 300 IYC=1,KYC
0139                       XCI=XCI-XCINCR
0140                       YC=YC-DC
0141                       XC=XCI-DC
                C------PARA CADA CENTRO DA HORIZONTAL
0142                       DO 300 IXC=1,KXC
0143                       XC=XC+DC
0144                       IRAIO=1
                C---- CALCULO DO RAIO PARA POFIX
0145                       IF(POFIX)201,203,201
0146            201        RAIO=SQRT((XC-POFIX)**2+(YC-POFIY)**2)
0147                       GO TO 204
0148            202        IRAIO=IRAIO+1
0149                       IF(IRAIO-KRAIO)203,203,52
                C---- PARA CADA RAIO
0150            203        RAIO=YC-YRB+(IRAIO-1)*DR
0151            204        LAMEL=0
0152                       RESIS=0.
0153                       CONST=0.
0154                       ATIVO=0.
                C---- ABSCISSAS EXTREMAS DA FAIXA DE INTEGRACAO
0155                       EA=XC-.998*RAIO
0156                       EB=XC+.998*RAIO
                C---- PARA CADA FATIA
0157                       DO 212 IFAT=1,NFAT
0158                       G=0.
0159                       BBAR=0.
0160                       X=XDX+(IFAT-1)*DX
                C---- VERIFICACAO DO PRIMEIRO VALOR DE X
0161                       IF(X-EA)212,212,205
                C---- VERIFICACAO DO ILTIMO VALOR DE X
0162            205        IF(X-EB)206,39,39
                C---- ORDENADA DO PNTO MEDIO DA BASE DA FATIA
0163            206        XMXC=X-XC
0164                       YR=YC-SQRT(RAIO*RAIO-XMXC*XMXC)
                C---- YA E A ORDENADA DO CONTORNO DA PRIMEIRA CAMADA DE SOLO NO CE
0165                       YA=Y(1,IFAT)
                C---- VERIFICACAO DA ORDENADA
0166                       IF(YA-YR)212,212,24
                C---- CALCULO DO PESO DAS CAMADAS
0167            24         DO 25 I=1,NCAM
0168                       YB=Y(I+1,IFAT)
0169                       IF(YB-YR)207,207,25
0170            25         G=G+GAMA(I)*(Y(I,IFAT)-YB)
0171                       YR=Y(NCONT,IFAT)
0172                       GO TO 208
                C---- NOTAR QUE I E A CAMADA EM QUE SE SITUA A BASE DA FATIA
0173            207        G=G+GAMA(I)*(Y(I,IFAT)-YR)
                C---- CALCULO DA PRESSAO NEUTRA
0174            208        IF(IBTOT-1)34,209,29
0175            209        BBAR=BAR(I)
```

Fig A1 (5 de 9)

```
0176                IF(BBAR)29,34,34
                C---- INTERPOLACAO DOS POTENCIAIS NA BASE DA FATIA
0177        29      DO 30 K=2,NPX
0178                XPA=XP(K)
0179                IF(XPA-X)30,30,31
0180        30      CONTINUE
0181                K=K-1
0182        31      FX=(X-XPA)/(XP(K-1)-XPA)
0183                DO 32 M=2,NPY
0184                YPA=YP(M)
0185                IF(YPA-YR)32,32,33
0186        32      CONTINUE
0187                M=M+1
0188        33      FY=(YR-YPA)/(YP(M-1)-YPA)
0189                PPB=P(K,M)+(P(K-1,M)-P(K,M))*FX
0190                PPA=P(K,M-1)+(P(K-1,M-1)-P(K,M-1))*FX
0191                PP=(PPB+(PPA-PPB)*FY)-YR
0192                BBAR=PP/G
0193        34      LAMEL=LAMEL+1
0194                COSAL(LAMEL)=(YC-YR)/RAIO
0195                IF(MONTA.NE.SI)XMXC=-XMXC
0196                SENAL=XMXC/RAIO
0197                COESA(LAMEL)=(COES(I)+DCZ(I)*(Y(I,IFAT)-YR))*DX/COSAL(LAMEL)
0198                GDP=G*DX*PHI(I)
0199                R(LAMEL)=GDP*(1.-BBAR)
0200                Q(LAMEL)=SENAL*PHI(I)
0201                SINEG=COSAL(LAMEL)-BBAR/COSAL(LAMEL)
0202                ATFEL(LAMEL)=GDP*SINEG
0203                IF(SINEG.LT.0.)ATFEL(LAMEL)=0.
0204                RESIS=RESIS+ATFEL(LAMEL)
0205        372       CONST=CONST+COESA(LAMEL)
0206                ATIVO=ATIVO+G*DX*SENAL
0207        212     CONTINUE
                C---- CIRCULO INTERCEPTA TALUDE
0208        39      IF(LAMEL)395,391,395
0209        391     FS(IRAIO)=28888.
0210                FEL(IRAIO)=28888.
0211                RR(IRAIO)=RAIO
0212                WSEN(IRAIO)=0.
0213                NRITE(IRAIO)=0
0214                NRFAT(IRAIO)=0
0215                GO TO 202
                C---- PRIMEIRA ITERACAO DO FS
0216        395     ITER=1
                C-----EVITANDO DIVISAO POR ZERO...
0217                IF(ATIVO-0.002)396,396,397
0218        396     FS(IRAIO)=25555.
0219                FEL(IRAIO)=25555.
0220                RR(IRAIO)=RAIO
0221                WSEN(IRAIO)=ATIVO
0222                NRITE(IRAIO)=ITER
0223                NRFAT(IRAIO)=LAMEL
0224                GO TO 202
0225        397     RESIS=CONST+RESIS
```

Fig A1 (6 de 9)

```
                C-----FATOR DE SEGURANCA FELLENIUS
0226                    FEL(IRAIO)=RESIS/ATIVO
0227                    F1=1.1*FEL(IRAIC)
0228                    IF(F1.LT.0.3)F1=1.
                C---- INICIALIZANDO PARA A SEGUIR ITERAR
0229            40       SOMA1=CONST
0230                    DO 41 L=1,LAMEL
0231                    EMALF=CCSAL(L)+Q(L)/F1
0232                    IF(EMALF-0.2)401,401,402
0233             401     SOMA1=SOMA1+ATFEL(L)
0234                    GO TO 41
0235            402     SOMA1=SOMA1+(R(L)-COESA(L)*Q(L)/F1)/EMALF
0236            41      CONTINUE
0237                    F2=SOMA1/ATIVO
                C---- TESTE VALOR COMPATIVEL
0238                    IF(F2-0.3)42,42,45
0239            42      FS(IRAIC)=0.333
0240                    RR(IRAIO)=RAIO
0241                    WSEN(IRAIO)=ATIVO
0242                    NRITE(IRAIO)=ITER
0243                    NRFAT(IRAIO)=LAMEL
0244                    GO TO 202
                C---- TESTE DE CONVERGENCIA
0245            45      IF(ABS(F2-F1)-PRECI)213,213,214
0246            213     FS(IRAIC)=F2
0247                    RR(IRAIO)=RAIO
0248                    WSEN(IRAIO)=ATIVO
0249                    NRITE(IRAIO)=ITER
0250                    NRFAT(IRAIO)=LAMEL
0251                    GO TO 202
                C---- TESTE DE LIMITE DE ITERACOES
0252            214     IF(ITER-NITER)215,215,49
0253            215     ITER=ITER+1
0254                    F1=F2
0255                    GO TO 40
0256            49      FS(IRAIO)=F2
0257                    RR(IRAIO)=RAIO
0258                    WSEN(IRAIO)=ATIVO
0259                    NRITE(IRAIO)=ITER +10000
0260                    NRFAT(IRAIO)=LAMEL
0261                    GO TO 202
                C---- CALCULADOS TODOS OS FS PARA UM CENTRO
                C---- ORDENACAO CRESCENTE (PARA UM CENTRO) DOS DADOS DE SAIDA
0262            52      KKK=KRAIO-1
0263                    IF(KKK)218,218,53
0264            53      KEY=0
0265                    DO 55 KK=1,KKK
0266                    IF(FS(KK)-FS(KK+1))55,55,54
0267            54      T1=FS(KK)
0268                    FS(KK)=FS(KK+1)
0269                    FS(KK+1)=T1
0270                    T1=RR(KK)
0271                    RR(KK)=RR(KK+1)
0272                    RR(KK+1)=T1
```

Fig A1 (7 de 9)

```
0273                T1=WSEN(KK)
0274                WSEN(KK)=WSEN(KK+1)
0275                WSEN(KK+1)=T1
0276                T1=NRITE(KK)
0277                NRITE(KK)=NRITE(KK+1)
0278                NRITE(KK+1)=T1
0279                T1=NRFAT(KK)
0280                NRFAT(KK)=NRFAT(KK+1)
0281                NRFAT(KK+1)=T1
0282                T1=FEL(KK)
0283                FEL(KK)=FEL(KK+1)
0284                FEL(KK+1)=T1
0285                KEY=1
0286          55    CONTINUE
0287                IF(KEY)216,216,53
                C---- IMPRESAAO DOS RESULTADOS
0288          216   IF(LISTA-SI)218,217,218
0289          217   IFS=KRAIO
0290                GO TO 59
0291          218    IF(LISTA-NO)581,582,581
0292          581    IFS=3
0293                IF(KRAIO-IFS)582,59,59
0294          582   IFS=1
0295          59    DO 300 JA=1,IFS
0296                WRITE(IW,60)XC,YC,RR(JA),FS(JA),FEL(JA),WSEN(JA),NRFAT(JA),
                   CNRITE(JA)
0297          60    FORMAT(5X,3F15.2,3F15.3,2I10)
0298                NLI=NLI+1
0299                IF(NLI-LIMAX)300,61,61
0300          61    WRITE(IW,15)TITUL,LADC(KLADO)
0301                WRITE(IW,1251)
0302                NLI=7
0303          300   CONTINUE
0304                GO TO 12
0305          888   WRITE(IW,889)
0306          889   FORMAT(//,20X,'DADOS INCOERENTES.....EXECUCAO ABANDONADA')
0307          999   STOP
0308                END
```

Fig A1 (8 de 9)

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8 ENTRA DATE 23/09/75 TI

```
0001            SUBROUTINE ENTRA(I,KI,KF,K,AA,M,*,*)
0002            DIMENSION AA(M)
0003            DATA L/'  '/
0004            IF(I-L)7,6,7
0005        6   READ(K,2,ERR=1)AA
0006        2   FORMAT(16F5.2)
0007            KI=1
0008            KF=9
0009            RETURN
0010        1   RETURN 1
0011        7   KI=10
0012            KF=18
0013            RETURN 2
0014            END
```

Fig A1 (9 de 9)

1.10 RESTRIÇÕES

O autor,mestrando em solos pela COPPE-UFRJ, desenvolveu o programa especificamente para suprir a programateca de área de Mecânica de Solos da COPPE-UFRJ, com um programa versátil para análise da estabilidade de taludes. O programa foi verificado exaustivamente para três casos, correntes da prática: uma barragem, um aterro sobre argila mole e um corte em solo residual. Os círculos críticos foram calculados manualmente para verificação, encontrando-se diferenças, no valor do fator de segurança, menores que 1%. Entretanto, recomenda-se aos usuários o estudo apropriado do programa para bem conhecer suas capacidades e limitações, para se assegurar que os resultados fornecidos sejam válidos. É essencial que cada talude analisado seja minuciosamente conhecido, principalmente em suas peculiaridades. Para isso, é imprescindível um desenho completo da seção típica do maciço em estudo (Escala 1/100 ou 1/200), incluindo as características das camadas.

2. DOCUMENTAÇÃO DE ENGENHARIA

2.1 DESCRIÇÃO

O programa "BISPO" (Análise da Estabilidade de Taludes - Métodos de FELLENIUS e BISHOP simplificado) analise a estabilidade dos taludes de um maciço de terra, através do cálculo dos fatores de segurança do deslizamento de superfícies circulares pelos métodos de FELLENIUS e BISHOP simplificado.

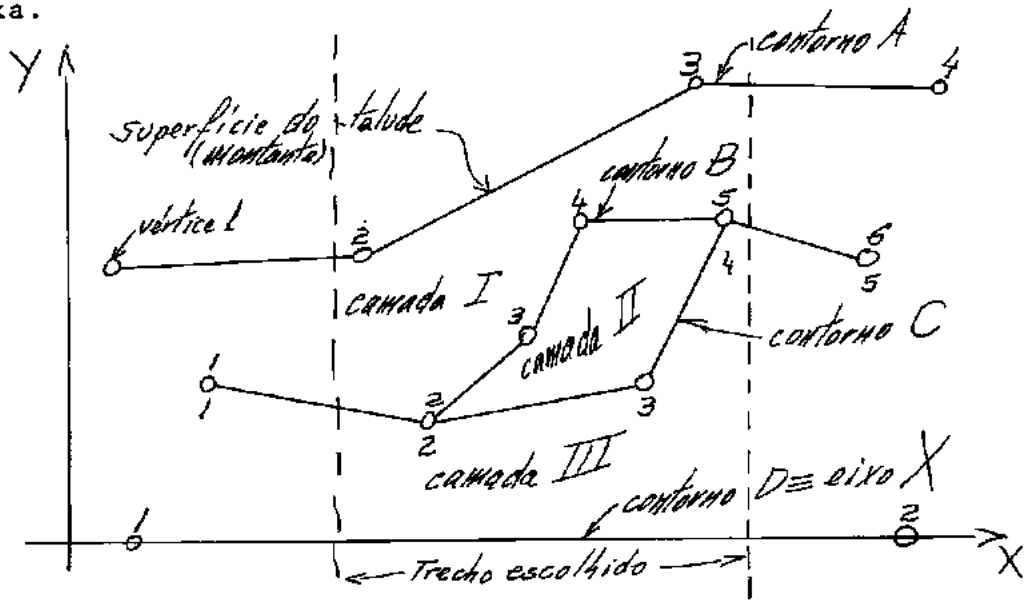
Foi adotada a convenção de que os taludes faceando o lado esquerdo são de montante, portanto os que faceiam o lado direito são de jusante.

O maciço pode ser composto de até 12 camadas diferentes

de solos, cada uma com características definidas conhecidas.

Cada camada é delimitada por dois contornos (superior e inferior) que realmente são polígonos definidos, cada um, por no máximo dezesseis vértices. Note-se a necessidade de n + 1 contornos para delimitar n camadas. As camadas e os contornos devem ser ordenados de cima para baixo. Os vértices de cada contorno devem ser ordenados da esquerda para a direita. Assim, um polígono que delimita inferiormente uma camada (II por exemplo), delimita superiormente outra camada (III por exemplo), logo abaixo da camada II.

Nas situações em que uma camada só existe em determinada faixa (ou trecho) do maciço, basta fazer coincidir as coordenadas dos vértices dos contornos superior e inferior dessa camada fora da faixa em questão. Desta forma, o programa considera a camada com espessura nula fora da faixa.



Deve ser escolhido um trecho vertical do maciço, dentro do qual estarão compreendidos todos os círculos a serem pesquisados. Dentro desse trecho, nenhum contorno pode co

meçar ou terminar, isto é, não pode haver indefinição de camadas. As pressões neutras podem ser levadas em consideração através de uma malha cujos nós representam pontos de carga total conhecida de água.

Deve ser fornecida uma malha de centros para que se pesquise para cada centro, vários círculos de raios diferentes (máximo 20). O dimensionamento da malha (quantidade de centros) é ilimitado, porém o menor número possível de centros deverá ser programado para evitar tempo excessivo de processamento. Opcionalmente pode ser fornecido um ponto de passagem obrigatória de todos os círculos (pé do talude por exemplo) reduzindo a apenas um o número de círculos por centro.

Antes de calcular o fator de segurança para cada círculo, o programa divide o trecho escolhido do maciço em um número pré-estipulado de fatias verticais. Todos os círculos a serem pesquisados devem estar compreendidos dentro do trecho escolhido, caso contrário a parte dos círculos fora do trecho escolhido não será levada em consideração no cálculo do fator de segurança conduzindo a valores absurdos (sem significado) desses fatores. Por esse motivo, o trecho escolhido deve ser o mais amplo possível. Por outro lado, quanto menor o trecho escolhido, menor a largura das fatias e maior a precisão do cálculo. Se possível, o trecho em estudo deve, ainda, ser calculado para que a largura das fatias seja um número redondo, para facilitar as verificações.

Para cada círculo, o programa varre o trecho escolhido , fatia por fatia, pesquisando quais delas pertencem ao círculo em questão. Para cada fatia é feito o somatório do peso das diversas camadas componentes da fatia na faixa compreendida pela superfície do talude (topo) e pela interseção do círculo (base da fatia), quando também fica conhecida a camada na qual se situa o ponto médio da base

da fatia. Conhecidos os esforços envolvidos, obtidos a partir do somatório do peso, pressão neutra e ângulo de inclinação da base de cada fatia, é calculado o fator de segurança por FELLENIUS e em seguida por BISHOP simplificado.

As tensões normais na base das fatias, calculadas por FELLENIUS, podem em alguns casos tomar valores negativos, sem sentido para o cálculo do fator de segurança. Quando isto acontece, o programa zera essas tensões.

Quando um círculo pesquisado é vazio, isto é, não intercepta o talude, é atribuído o valor 28888. ao fator de segurança.

Quando o denominador da fração que fornece o valor do fator de segurança é menor ou igual a zero, é atribuído o valor 25555. ao fator de segurança.

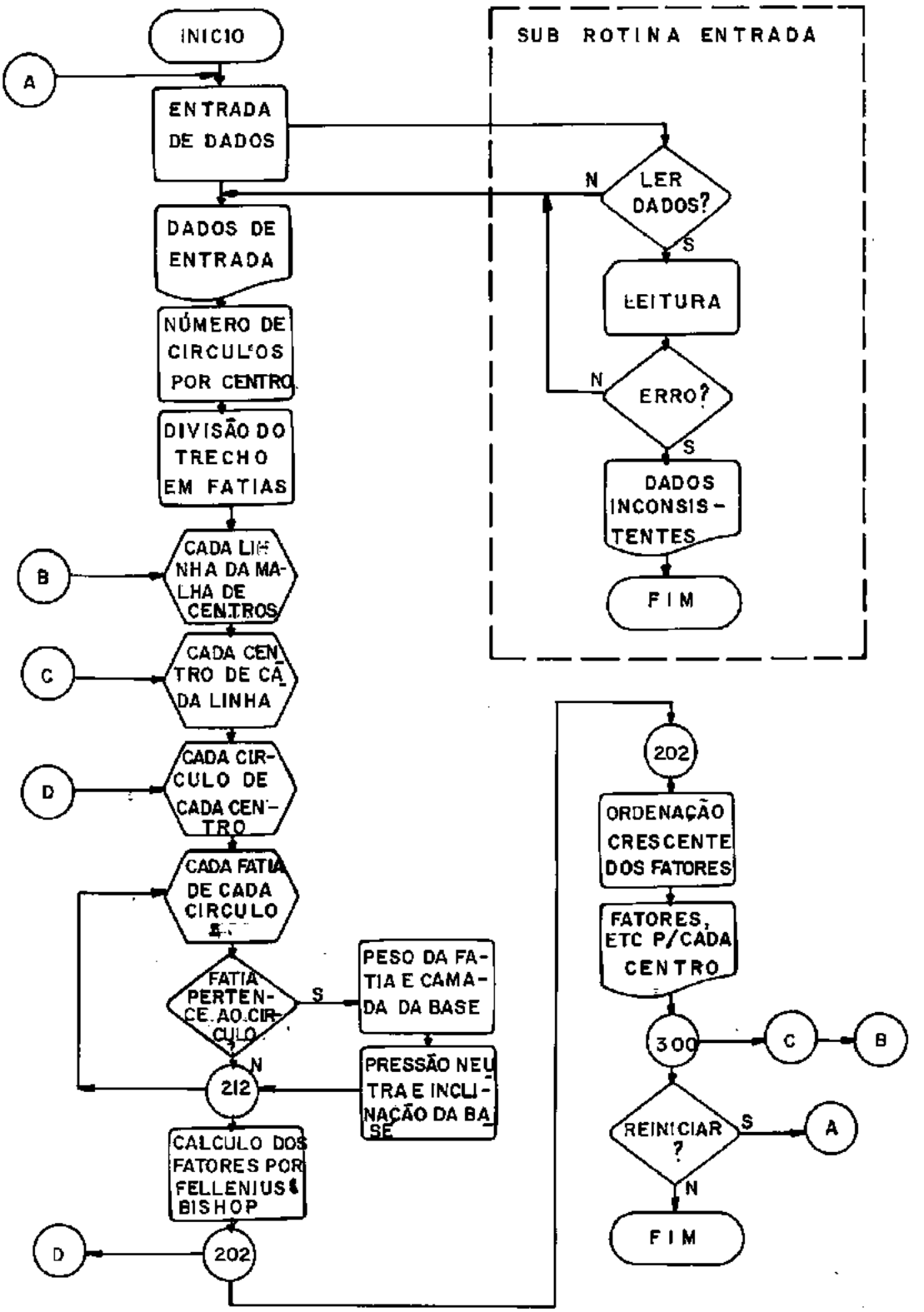
Quando o fator de segurança por BISHOP simplificado é menor ou igual a 0,3 é atribuído ao mesmo o valor 0,333.

Depois de calculados os fatores de segurança de todos os círculos desejados, para um mesmo centro, o programa ordena esses fatores em ordem crescente e lista-os. A seguir passa para o próximo centro à direita. Assim, a malha de centros é percorrida, linha por linha, da esquerda para a direita. A 1a. linha de centro a ser estudada é a superior e a última é a inferior.

O programa termina a rodada quando chega ao centro mais à direita da linha inferior.

Se há novos dados para serem lidos, recomeça-se a execução. Na figura A-2 consta o fluxograma principal.

PROGRAMA BISPO



FLUXOGRAMA DO PROGRAMA BISPO

FiguraAA-2

2.2 MÉTODO DE SOLUÇÃO

O programa usa a seguinte fórmula para o cálculo dos fatores de segurança:

$$FS = \frac{\Sigma \left(C' . \frac{\Delta x}{\cos \alpha} + N' . \tan \phi' \right)}{\Sigma W . \operatorname{sen} \alpha}$$

onde FS - fator de segurança
c' - coesão efetiva do solo existente na base da fatia
Δx - largura (medida na horizontal) da fatia
α - ângulo de inclinação da base da fatia
N' - força normal efetiva atuante na base da fatia
ϕ' - ângulo de atrito efetivo do solo existente na base da fatia
W - peso da fatia
r_u - parâmetro de pressão neutra

A diferença da fórmula de FELLENIUS para a de BISHOP está no cálculo de N':

$$N'_{FELLENIUS} = W \left(\cos \alpha - \frac{r_u}{\cos \alpha} \right)$$

$$N'_{BISHOP} = \frac{W (1 - r_u) - c' . \frac{\Delta x}{\cos \alpha} . \frac{\operatorname{sen} \alpha}{FS}}{\cos \alpha + \tan \phi' . \frac{\operatorname{sen} \alpha}{FS}}$$

Para maiores detalhes vide a comunicação de Whitman & Bailey - 1966 (Use of Computers for Slope Stability Analysis) nos "Proceedings of the Berkeley Conference on Stability and Performance of Slopes and Embankments", publicado pela American Society of Civil Engineers.

Para cada fatia o programa calcula as variáveis mencionadas zerando $N'_{FELLENIUS}$, caso negativa.

É verificado se o círculo intercepta o talude. Caso não intercepte, é atribuído o valor 28888. aos fatores de segurança e reiniciados os cálculos para outro círculo. Determinado o número de fatias do círculo em estudo, é calculado o fator de segurança segundo FELLENIUS. Esse valor é adotado como base para o fator de segurança inicial para as iterações necessárias ao cálculo do fator de segurança segundo BISHOP.

Para evitar divisão por zero, é testado o valor do denominador da fração que fornece o fator de segurança. Caso menor ou igual a zero é atribuído o valor 25555. dos fatores de segurança, passando-se para outro círculo.

Depois de cada iteração é verificado se o fator de segurança por BISHOP tem valor compatível (maior que 0,3).Caso não tenha, é atribuído o valor 0,333 e iniciados os cálculos para outro círculo.

A convergência do processo iterativo é muito rápida,principalmente pelo fato do valor inicial (FELLENIUS) ser bem próximo do final, dependendo entretanto da precisão final desejada. O valor assumido pelo programa para essa precisão é 0,002. A mesma pode ser alterada (como dado de entrada) afetando diretamente o tempo de processamento.

Usualmente a precisão de 0,002 é atingida com 2 a 4 iterações. Para evitar casos possíveis de dificuldades de convergência, o programa assume um máximo de 8 iterações permissíveis. Esse valor de máximos permissíveis pode ser alterado (como dado de entrada). Quando é atingido esse máximo durante o processo iterativo, é interrompido o processo, ficando o fator de segurança com o último valor encontrado e ao número de iterações é somado o valor 10000.

2.3 CAPACIDADE DO PROGRAMA

2.3.1 Dimensionamento de Variáveis Subscritadas

O programa aceita (na atual configuração) até doze camadas de materiais diferentes, cada camada caracterizada por seu peso específico (t/m^3), coesão interna (t/m^2), ângulo de atrito interno (graus), incremento de coesão com a profundidade ($t/m^2/m$) e parâmetro r_u de pressão neutra (adimensional). Cada camada é definida por dois contornos - superior e inferior. Cada contorno é uma poligonal com no máximo dezesseis vértices (inclusive os extremos).

Se forem fornecidas mais camadas que as permitidas, o programa falhará ou fornecerá resultados anômalos. O mesmo acontecerá se forem fornecidos mais de dezesseis vértices para cada contorno.

A malha de carga total de água pode ter no máximo dezesseis verticais e doze horizontais. Quando essa malha for fornecida, o material da 1ª camada deverá ser água (coesão e atrito nulos), para que as tensões normais na base das fatias não sejam todas negativas.

Caso seja indicada uma malha de carga total de água maior que a permitida, o programa inicialmente adotará uma malha que se encaixe no canto inferior esquerdo da malha indicada.

Porém, no cálculo da pressão neutra para cada fatia, o programa encontrará valores absurdos para a pressão neutra e, consequentemente, para os fatores de segurança.

O número máximo de iterações (alterável como dado de entrada) para o fator de segurança por BISHOP é 8. Caso atingido esse valor, é interrompido o processo iterativo - sendo atribuído ao fator de segurança o último valor encontrado - e somado 10000 ao número de iterações calculado, para apresentação na tabela de resultados.

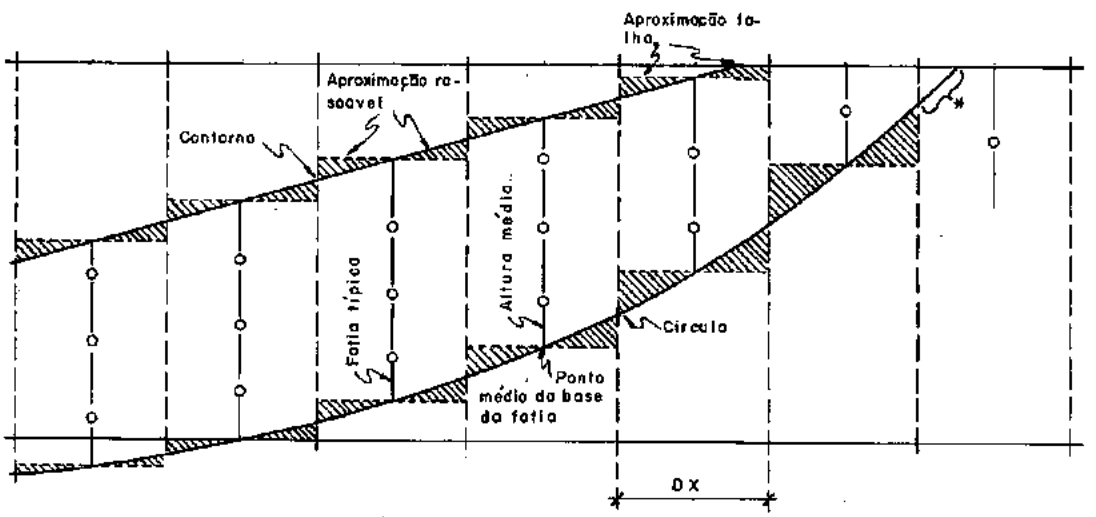
O número máximo de fatias em que será dividido o trecho escolhido é de duzentos. Caso seja fornecido como dado de entrada um valor superior a esse máximo, o programa falhará ou fornecerá resultados anômalos.

O número máximo de círculos para cada centro é de 20. O número de círculos a ser usado por centro (KRAIO) é calculado pelo programa a partir dos dados de entrada, inclusive o valor do incremento de raios. Caso KRAIO calculado seja maior que 20, o programa recalcula o valor do incremento de raios (aumentando-o) para que KRAIO se torne igual a 20, e imprima uma mensagem informando dessa mudança.

Para evitar dificuldades e dúvidas na interpretação dos resultados, principalmente em caso de execução interrompida, recomenda-se que os valores das coordenadas fornecidas como dados, sejam todos positivos.

2.3.2 Limitações do Método de Solução

É feita uma pequena aproximação no cálculo do peso das fatias. Este é obtido a partir da altura considerada na vertical que passa pelo meio da fatia.

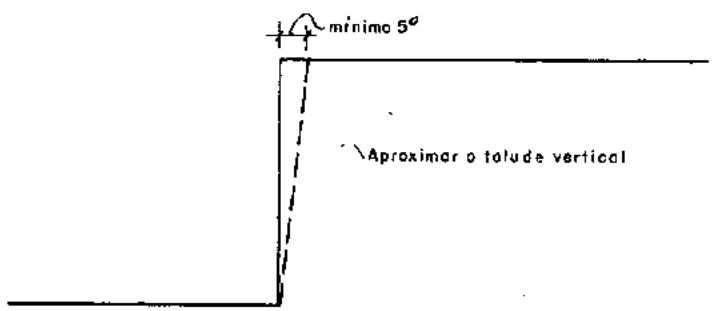


* Trecho do círculo desprezado no cálculo pois não intercepta a altura média da fatia.

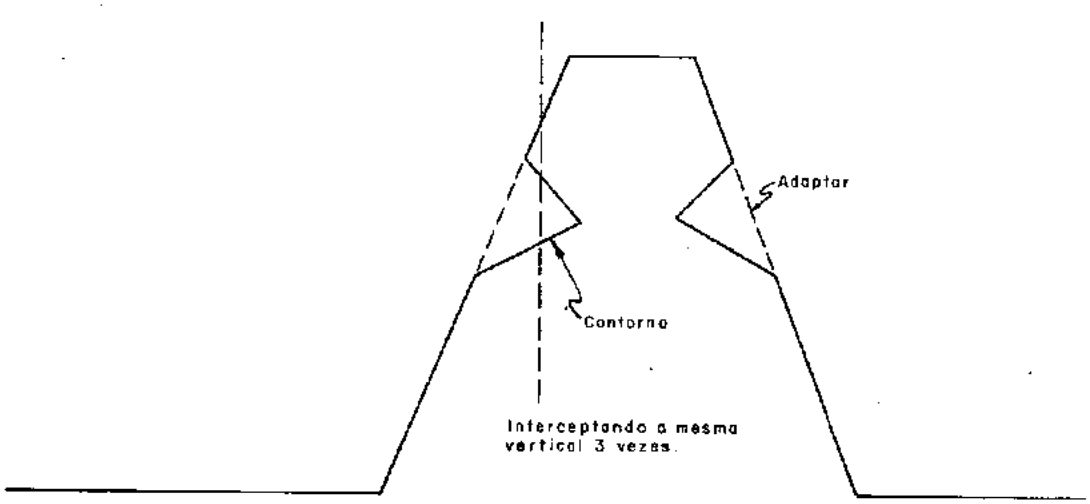
Conforme mostra o desenho essa aproximação só é falha em pontos de descontinuidade das camadas, onde as áreas não se compensam. Por isto, recomenda-se fatias de pequena largura para minimizar o erro dessa aproximação. Com a adoção dessa medida também se alivia a diferença que tende a aparecer de se aproximar o arco do círculo - base da fatia - por uma reta tangente ao círculo no ponto médio da base da fatia. Essa última aproximação também é feita para o cálculo da coesão.

Na disposição dos contornos das camadas devem ser evitadas as seguintes situações, pois as mesmas causam interrupção do programa:

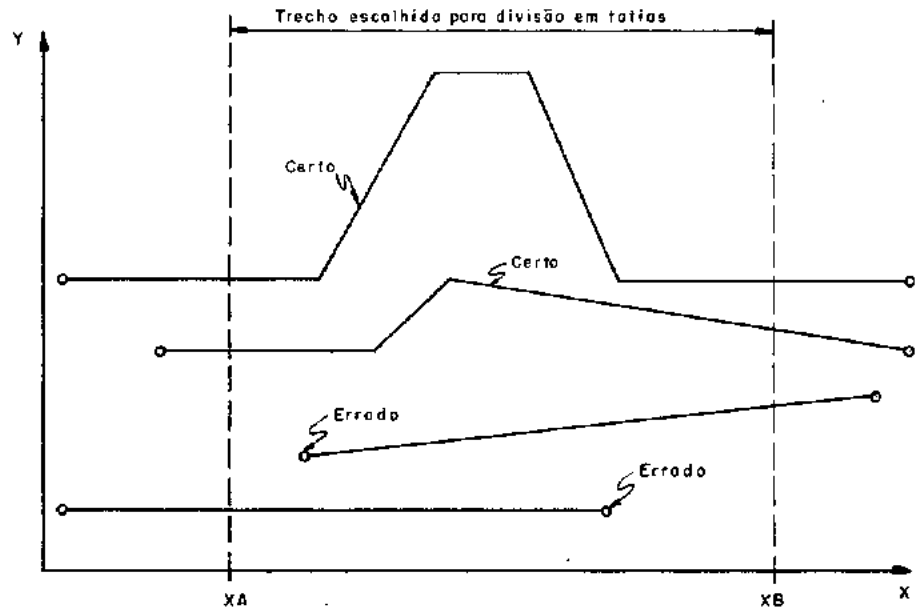
a) Talude vertical. Basta inclinã-lo ligeiramente.



b) Contorno interceptando a mesma vertical mais de uma vez.

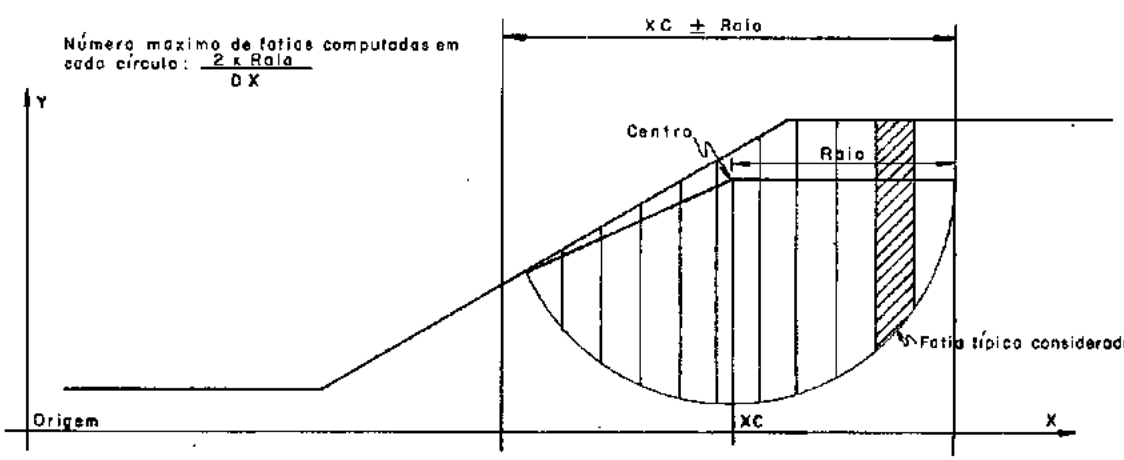


c) Contorno indefinido dentro do trecho escolhido para divisão das fatias.



Pelo mesmo motivo a malha de carga total de água deve ser mais larga que o trecho escolhido e mais alta que a altura do talude.

O sistema de coordenadas deve ser escolhido conforme mostra a figura(origem em baixo à esquerda). O programa calcula o fator de segurança incluindo apenas as fatias do talude que tem abscissa média X dentro do entorno XC ± RAIO, onde XC abscissa do centro do círculo. Atenção especial deve ser dada a este fato quando o centro do círculo está situado dentro do talude.



2.4 LISTAGEM DO PROGRAMA FONTE

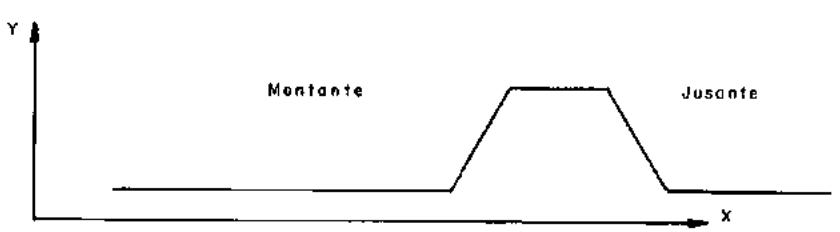
Vide figura A-1.

2.5 OPÇÕES (CONDIÇÕES) DO PROGRAMA

As seguintes opções são escolhidas para o programa, fornecidas na entrada de dados:

a) Opções de entrada: todos os dados de entrada (individualmente), à exceção dos dois primeiros cartões (TÍTULO e CONDIÇÕES), podem ser reutilizados. Para isso, na rodada seguinte, deve ser perfurado no cartão CONDIÇÕES o valor SI para a condição de cada variável que não será lida, mas será utilizada na rodada com o mesmo valor da rodada anterior. Isso é particularmente interessante para variáveis que terão valor nulo durante todo o programa, pois, como todas as variáveis são zeradas no início do programa, basta dar o valor SI à condição desta variável, omitindo-se consequentemente o(s) cartão(ões) com os valores (nulos) dessas variáveis. Se não se desejar essas condições, basta deixar o(s) campo(s) respectivo(s) em branco.

b) Opções de utilização: Segundo a convenção adotada para o programa, os taludes faceando o lado esquerdo são de montante (condição: MONTA = SI), enquanto os que faceam o lado direito são de jusante (condição MONTA em branco).



A condição IBTOT impõe o tipo de pressão neutra a considerar:

00 - nula
01 - parâmetro r_u fornecido para cada camada
02 - malha de carga total de água - fornecida

c) Opções de impressão (vide item 2.6).

d) Opções de continuação: O programa, terminada uma rodada, procura automaticamente outros dados (TÍTULO, CONDIÇÕES, etc.), para reiniciar.

2.6 SAÍDA IMPRESSA

O programa inclui as seguintes opções (escolhidas e fornecidas na entrada de dados), conforme os seguintes valores da CONDIÇÃO LISTA:

NO - Não lista dados de entrada. Para cada centro lista somente o fator de segurança mínimo.

(branco) - Lista dados de entrada. Para cada centro lista apenas os três menores fatores de segurança.

SI - Lista dados de entrada. Para cada centro lista todos os fatores de segurança calculados.

2.7 OUTRAS SAÍDAS

O programa produz as seguintes possíveis mensagens na impressora:

causa: erro de leitura - mensagem: DADOS INCOERENTES- EXECUÇÃO ABANDONADA.

causa: mais de 20 círculos por centro - mensagem:Vide FORMAT 1231 da listagem (Fig. A-1).

Além dessas saídas o programa não usa nenhuma outra (cartões, discos, fitas, etc.).

2.8 ENTRADA DE DADOS

É feita por cartões perfurados, usando os formulários de entrada de dados (Fig. A-3). Para definição das variáveis vide item 3.4.

2.9 FLUXOGRAMA

Vide Fig. A-2.

3. DOCUMENTAÇÃO DO SISTEMA

3.1 COMPUTADOR

O programa BISPO foi desenvolvido no computador IBM sistema 370-165 OS/MVT 21.7 com monitor HASP 3.1, com ..... 2000 K bytes de capacidade de memória, unidades para disco 3330 e para fitas magnéticas. O computador usa palavras usuais compostas de 2 bytes. Cada byte é composto de 16 bits.

3.2 EQUIPAMENTO PERIFÉRICO

Para rodar o programa, são necessárias apenas uma leitora de cartões 2501 e uma impressora 1403.

3.3 PROGRAMA FONTE

Listagem na fig. A-1.

3.4 VARIÁVEIS E SUB-ROTINAS

3.4.1 Variáveis Simples

FOLHA DE CODIFICAÇÃO DE DADOS	— PROGRAMA BISBO — ANALISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES METODOS DE FELLENIUS E BISHOP SIMPLIFICADO	DATA: _____ PAG.: 1/3 POR: _____

COLUNA DO CARTÃO → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

TITULO (IDENTIFICAÇÃO DO FLUXO DE DADOS) (MAX. 80 CARACTERES) FORMAT (20A4)

LISTA	MONTA	GEOMA	GAMAW	COESW	PHIW	DCZW	BBARW	GEOMF	GEOMP	IBTOT	NCAM	NF	NPX	NPY	NITER	NEAT	PRECI	POFIX	POFIY

CONDIÇÕES

FORMAT (10A2, 6I2, I3, 3F5.2)

GEOMETRIA DA MALHA DE CENTROS – EM METROS – SE GEOMA* = SI OMITIR ESTE CARTÃO.

FORMAT (16 F5.2)

XA	XB	X PONTA	Y PONTA	X QUINA	Y QUINA	X LONGE	DC	YRA	YRB	DR

GAMA – PESO ESPECIFICO DAS CAMADAS – EM t/m^3 (MAX 16 VALORES) – SE GAMAW* = SI OMITIR ESTE CARTÃO.

COES – COESÃO INTERNA DAS CAMADAS – EM t/m^2 (MAX 16 VALORES) – SE COESW* = SI OMITIR ESTE CARTÃO.

PHI – ANGULO DE ATRITO DAS CAMADAS – EM GRAUS (MAX 16 VALORES) – SE PHIW* = SI OMITIR ESTE CARTÃO.

DCZ – INCREMENTO DE COESÃO DAS CAMADAS – EM $t/m^2/M$ (MAX 16 VALORES) – SE DCZW* = SI OMITIR ESTE CARTÃO

BAR – BARAM, Ru DE PRESSÃO NEUTRA DAS CAMADAS (MAX 16 VALORES) – SE BBARW* = SI OMITIR ESTE CARTÃO.

* – VARIAVEL DE ENTRADA, INTEGRANTE DO CARTÃO DE CONDIÇÕES.

NOTA : OS PONTOS DECIMAIS INDICADOS NOS CAMPOS DOS CARTÕES NÃO PRECISAM SER PERFURADOS.

Fig A3 (1 de 3)

FOLHA DE CODIFICAÇÃO DE DADOS	— PROGRAMA BISPO — ANALISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES METODOS DE FELLENIUS E BISHOP SIMPLIFICADO	DATA: _____ PAG.: 2/3 POR : _____

COLUNA DO CARTÃO → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

FORMAT (16F5.2)

XF - ABSCISSAS DOS PONTOS DEFINIDORES DOS CONTORNOS — EM METROS - SE GEOMF* = SI OMITIR ESTES CARTÕES.

(MAX 16 VALORES POR CONTORNO - UM CONTORNO POR CARTÃO - NCAM* + 1 CARTÕES)

MAXIMO 13 CARTÕES

YF - ORDENADAS DOS PONTOS DEFINIDORES DOS CONTORNOS — EM METROS — SE GEOMF* = SI OMITIR ESTE CARTÃO

(MAX 16 VALORES POR CONTORNO - UM CONTORNO POR CARTÃO - NCAM* + 1 CARTÕES)

MAXIMO 13 CARTÕES

* VARIÁVEL DE ENTRADA, INTEGRANTE DO CARTÃO DE CONDIÇÕES.

Fig A3 (2 de 3)

FOLHA DE CODIFICAÇÃO DE DADOS	— PROGRAMA BISPO — ANALISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES METODOS DE FELLENIUS E BISHOP SIMPLIFICADO	DATA: _____ PAG.: 3/3 POR : _____

COLUNA DO CARTÃO → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

FORMAT (16F5.2)

ABSCISSAS DAS VERTICAIS DA MALHA DE CARGA TOTAL DE AGUA – EM METROS – (MAX. 16 VALORES)

SE GEOMP* = SI OMITIR ESTE CARTÃO.

XP

ORDENADAS DAS HORIZONTAIS DA MALHA DE CARGA TOTAL DE AGUA – EM METROS – (MAX. 12 VALORES)

SE GEOMP* = SI OMITIR ESTE CARTÃO.

YP

P – VALORES NOS NÓS DA MALHA DE CARGA TOTAL DE AGUA – EM METROS – SE GEOMP = SI OMITIR ESTES CARTÕES.

(MAX 12 VALORES POR VERTICAL – UMA VERTICAL POR CARTÃO – NPX* CARTÕES)

— MAXIMO 16 CARTÕES —

* – VARIÁVEL DE ENTRADA, INTEGRANTE DO CARTÃO DE CONDIÇÕES.

Fig A3 (3 de 3)

3.4.1.1 Geradas dentro do Programa

NO - teste das condições. Tem o valor alfa numérico NO.

SI - teste das condições. Tem o valor alfa numérico SI.

NRAIO - número máximo de círculos por centro. NRAIO = 20.

KTG - indicador para transformar os valores do vetor PHI de ângulo de atrito em graus para tangente do ângulo.
KTG = 0 transforma.
KTG = 1 não transforma.

LIMAX - número máximo de linhas por página. LIMAX = 38 para impressão de 8 linhas por polegada, para meia página.

IR - identificador da leitora de cartões IR = 5.

IW - identificador da impressora. IW = 6

NCONT - número de contornos. Igual ao número de camadas + 1.

KLADO - auxiliar para impressão de cabeçalhos.
MONTA = SI, KLADO = 1
MONTA branco, KLADO = 2

K1, K2, ... K8 - auxiliares para impressão das condições.
Dados lidos K1 = 1
Dados pré-existentes K1 = 10

K1F, K2F, ... K8F - auxiliares para impressão das condições.
Dados lidos K1F = 9
Dados pré-existentes K1F = 18

I1, I2, ... I8 - contadores para impressão das condições.

I, J, K, L, M - contadores dos Do's de leitura, impressão e cálculos secundários.

KRAIO - número calculado de círculos por centro.

DRNEW - novo valor do incremento de raios (vide item 2.3.1).

X - abscissas das verticais que passam pelo meio das fatias.

XZERO - variação de abscissa entre dois vértices de cada contorno.

NLI - contador do número de linhas de impressão.

XCINCR - incremento de abscissa dos centros, na mudança de linha da malha de centros.

XCI - abscissa do primeiro centro de cada linha.

XC - abscissa do centro.

YC - ordenada do centro.

KYC - número de linhas da malha de centros.

KXC - número de centros por linha da malha.

IYC - contador do número de linhas da malha de centros.

IXC - contador do número de centros por linha da malha.

IRAIO - contador do número de círculos por centro.

RAIO - raio de cada círculo.

LAMEL - contador do número de fatias pertinentes ao círculo.

RESIS - somatório das forças de atrito por FELLENIUS.

CONST - somatório das forças de coesão.

ATIVO - somatório das forças instabilizantes.

EA - abscissa esquerda da zona vertical onde se pesquisa fatias passíveis de pertencerem ao círculo.

EB - abscissa direita da zona vertical onde se pesquisa fatias passíveis de pertencerem ao círculo.

IFAT - contador do número total de fatias.

G - pressão, atuante na base da fatia, devida ao peso próprio.

BBAR - parâmetro r_u de pressão neutra.

YR - ordenada do ponto médio da base da fatia.

YA - ordenada do primeiro contorno (superior).

YB - ordenada do segundo contorno em diante.

XPA - auxiliar para cálculo de BBAR a partir da malha de carga total de água.

YPA - auxiliar para cálculo de BBAR a partir da malha de carga total de água.

FX - auxiliar para cálculo de BBAR a partir da malha de carga total de água.

FY - auxiliar para cálculo de BBAR a partir da malha de carga total de água.

PPB - auxiliar para cálculo de BBAR a partir da malha de carga total de água.

PPA - auxiliar para cálculo de BBAR a partir da malha de carga total de água.

PP - auxiliar para cálculo de BBAR a partir da malha de carga total de água.

SENAL - seno do ângulo α, com a horizontal, de inclinação da base da fatia.

GDP - peso próprio multiplicado pela tangente do ângulo de atrito.

SINEG - $\cos \alpha - \frac{r_u}{\cos \alpha}$

ITER - contador do número de iterações do fator de segurança.

F1 - fator inicial na iteração do fator de segurança.

SOMA1 - somatório auxiliar para iteração do fator de segurança.

EMALF - auxiliar para iteração do fator de segurança.

F2 - fator de segurança após iteração.

KKK - auxiliar para ordenação crescente dos fatores de segurança.

KEY - auxiliar para ordenação crescente dos fatores de segurança.

T1 - auxiliar para ordenação crescente dos fatores de segurança.

IFS - auxiliar para impressão dos fatores de segurança.

3.4.1.2 Dados de Entrada: Ver Figura A-4

As dezessete variáveis a seguir foram equivalenciadas ao valor ICOND para maior rapidez de leitura.

LISTA - opção de impressão (vide item 2.6).

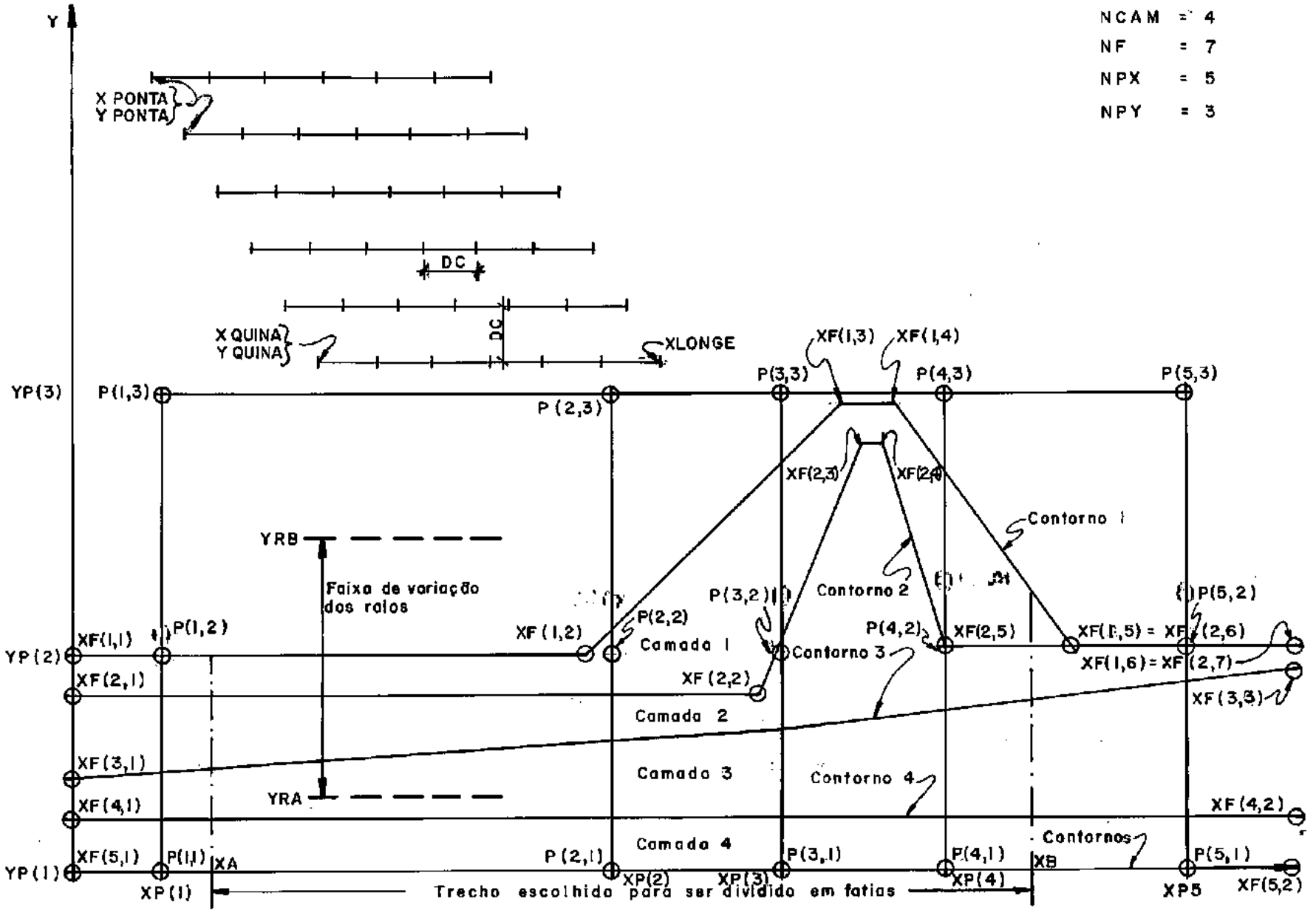


FIGURA A-4 : INDICAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

MONTA - opção de utilização (vide item 2.5.b)

GEOMA - opção de entrada (item 2.5. a) para geometria da malha de centros.

GAMAW - opção de entrada (item 2.5. a) para peso específico das camadas.

COESW - opção de entrada (item 2.5. a) para coesão interna das camadas.

PHIW - opção de entrada (item 2.5. a) para ângulo de atrito interno das camadas.

DCZW - opção de entrada (item 2.5. a) para incremento de coesão com a profundidade das camadas.

BBARW - opção de entrada (item 2.5. a) para parâmetro r_u das camadas.

GEOMF - opção de entrada (item 2.5. a) para coordenadas dos contornos.

GEOMP - opção de entrada (item 2.5. a) para coordenadas e valores dos nós da malha de carga total de água.

IBTOT - indicador de pressão neutra (ver item 2.5. b)

NCAM - número de camadas de materiais existentes, no máximo igual a 12. Se em branco, é assumido o valor máximo.

NF - número máximo de vértices (pontos definidores) dos contornos das camadas.

É igual para todas as NCAM camadas, logo será o número de pontos do contorno de maior número de pontos. No máximo igual a 16. Se em branco, é assumido o valor máximo.

NPX - número de verticais da malha de carga total de água. No máximo igual a 16.

Se em branco é assumido o valor 2.

NPY - número de horizontais da malha de carga total de água. No máximo igual a 12. Se em branco, é assumido o valor máximo.

NITER - número limite de interações do fator de segurança. Se em branco, é assumido o valor 8.

NFAT - número de fatias em que será dividido o trecho escolhido. No máximo igual a 200. Se em branco, é assumido o valor máximo.

PRECI - precisão da convergência dos fatores de segurança por BISHOP. Se em branco é assumido o valor 0,002.

POFIX - abscissa (em metros) do ponto (facultativo) de passagem obrigatória das circunferências. Caso seja fornecida, só será calculado um círculo para cada centro da malha fornecida. Se em branco, serão calculados quantos raios forem necessários (20 máximo para cada centro) para atender à geometria da malha de centros.

POFIY - ordenada (em metros) do ponto (facultativo) de passagem obrigatória das circunferências.

As onze variáveis a seguir foram equivalenciadas ao vetor XYD para maior rapidez de leitura e impressão.

XA - abscissa extrema esquerda do trecho escolhido para ser dividido em NFAT fatias.

XB - abscissa extrema direita do trecho escolhido para ser dividido em NFAT fatias.

XPONTA - abscissa superior extrema esquerda da malha de centros.

YPONTA - ordenada extrema superior da malha de centros.

XQUINA - abscissa inferior extrema esquerda da malha de centros.

YQUINA - ordenada extrema inferior da malha de centros.

XLONGE - abscissa inferior extrema direita da malha de centros.

DC - incremento de abscissas e ordenadas dos centros.

YRA - ordenada da superfície horizontal inferior de tangência dos círculos.

YRB - ordenada da superfície horizontal superior de tangência dos círculos.

DR - incremento de raios.

3.4.2 Variáveis Subscritadas

3.4.2.1 Geradas dentro do Programa

REBU (18) - indicadora das condições dos dados:
1 a 9 - "FORNECIDOS NESSE FLUXO DE DADOS"
10 a 18- "MESMOS DO FLUXO DE DADOS ANTERIOR"

XYD (11) - auxiliar para leitura, equivalenciada às variáveis definidoras da geometria da malha de centros.

ICOND (17) - auxiliar para leitura, equivalenciada às variáveis definidoras das condições.

LADO (2) - indicadora da condição do talude (montante ou jusante).

XF1 (15) - auxiliar para leitura das abscissas dos contornos.

Daqui por diante todas as variáveis são zeradas no início do programa.

Y (13,200) - ordenadas dos (máx.13) contornos no centro das (máx.200) fatias

COSAL (200) - coseno do ângulo α, com a horizontal, da inclinação da base da fatia.

R (200) - 1º (de 2) componente do numerador da fração que fornece a tensão normal por BISHOP.

Q (200) - 2º componente do numerador da fração que fornece a tensão normal por BISHOP.

COESA (200) - força de coesão na base da fatia.

ATFEL (200) - força de atrito devido à tensão normal, por FELLENIUS.

FS (20) - fator de segurança por BISHOP para os círculos de um centro.

RR (20) - raios dos círculos de um centro.

WSEN(20) - denominador da fração que fornece o valor dos fatores de segurança para os círculos de um centro.

NRITE (20) - número de iterações necessárias para encontrar o valor do fator de segurança por BISHOP dentro da precisão estipulada.

NRFAT (20) - número de fatias pertencentes aos círculos de um centro.

FEL (20) - fator de segurança por FELLENIUS para os círculos de um centro.

3.4.2.2 Dados de Entrada: Ver Figura A-4

(Agrupar - respeitando o FORMAT - os valores mais à esquerda no cartão)

Todas essas variáveis são zeradas no início do programa.

GAMA (12) - peso específico das camadas (t/m^3).

COES (12) - coesão das camadas (t/m^2).

PHI (12) - ângulo de atrito das camadas (graus).

DCZ (12) - incremento de coesão com a profundidade das camadas ($t/m^2/m$).

BAR (12) - parâmetro r_u de pressão neutra das camadas. Utilizado quando a condição IBTOT = 1. O programa verifica, para cada camada, o valor de BAR. Se positivo, esse valor é utilizado; porém, se negativo (qualquer valor arbitrário), o programa calcula -- para a camada em questão -- o valor de r_u a partir da malha de carga total de água.

XF (13,16) - abscissas (em metros) dos (máx.16)pontos definidores dos (máx.13) contornos. Um cartão por contorno.

YF (13,16) - ordenadas (em metros) dos (máx.16)pontos definidores dos (máx.13) contornos. Um cartão por contorno.

XP (16) - abscissas das verticais da malha de carga total de água.

YP (12) - ordenadas das horizontais da malha de carga total de água.

P (16,12) - valores em metros, das cargas totais de água nos nós da malha. Um cartão por vertical. Utilizado quando a condição IBTOT = 2, ou quando IBTOT = 1 e BAR de uma ou mais camadas é negativo.

3.4.3 Sub-Rotinas

Além da sub-rotina ENTRA, o programa usa as sub-rotinas do sistema FLOAT, TAN e SQRT, residentes em acesso direto.

3.5 ARQUIVOS

Nenhum arquivo é criado ou utilizado pelo programa.

3.6 OCUPAÇÃO DE MEMÓRIA

Após compilado pelo programa FORTRAN H versão 21.7 com opção para otimização e resolvidas as referências externas, é criado o módulo de carga do programa, o qual fica armazenado em disco. Quando carregado na memória principal, ocupa 60 K bytes de área.

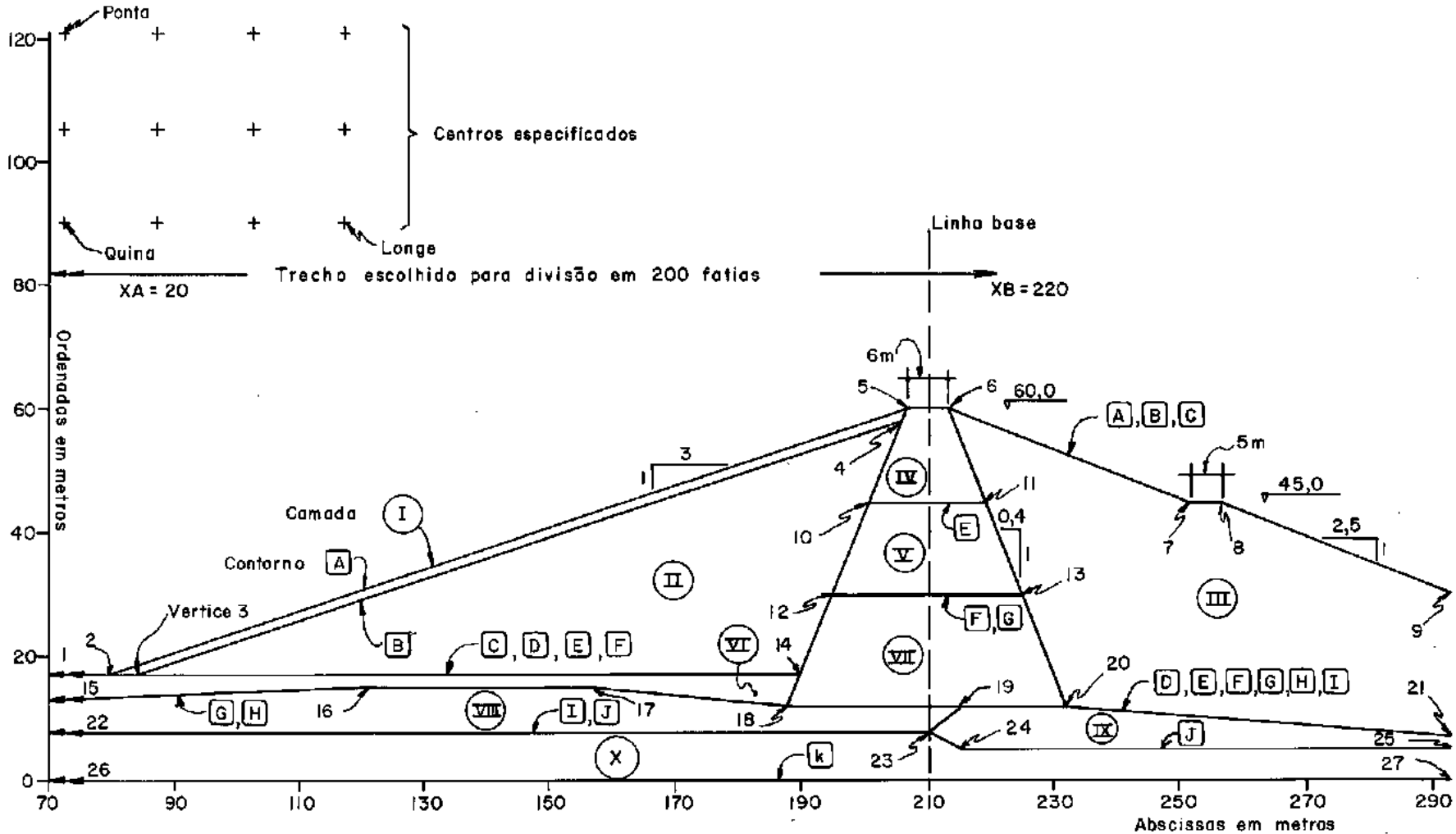
3.7 MANUTENÇÃO E ATUALIZAÇÃO

Nenhuma até o presente. A serem providenciadas pelo autor conforme necessárias. Pede-se aos usuários comunicar quaisquer modificações e/ou adições ao programa que o tornem mais versátil, rápido ou eficiente.

4. DOCUMENTAÇÃO PARA OPERAÇÃO

4.1 INSTRUÇÕES PARA OPERAÇÃO

Com o programa armazenado em disco do sistema, os cartões



Seção típica — Segundo LITTLE & PRICE (1958) — Da Barragem do reservatório TRYWERIN, com destaque dos parametros geometricos necessários como dados de entrada para o programa BISPO.

Fig A-5

JCL // JOBLIB e // EXEC iniciam o processamento imediato do programa.

4.2 MENSAGENS DURANTE A OPERAÇÃO

Além das descritas no ítem 2.7, nenhuma mensagem especial de operação é impressa pelo programa. As mensagens usuais do sistema para erros de execução são geradas pelo supervisor e pelo HASP.

4.3 CARTÕES CONTROLE

Depois dos cartões // JOB // JOBLIB e // EXEC, coloca-se o cartão // GO.SYSIN DD * e a seguir os dados.

4.4 RECUPERAÇÃO QUANDO HÁ ERRO

O programa tem de ser reiniciado.

4.5 TEMPO DE PROCESSAMENTO

O tempo de execução depende do número de fatias (quanto menos mais rápido), da quantidade de centros da malha(quanto menos mais rápido), da quantidade de círculos por centro (quanto menos mais rápido), da quantidade de camadas (quanto menos mais rápido) e da malha de carga total de água (sem malha, mais rápido).

Na figura A5 é apresentada a seção típica da barragem do reservatório TRYWERIN (LITTLE & PRICE - 1958), com a indicação dos nove centros pesquisados.

Na figura A6 constam as características principais da seção, necessárias para utilização do programa.

Para cada centro foram calculados apenas dois círculos , por se tratar de um exemplo.

1. DADOS GEOMÉTRICOS

- Trecho escolhido XA=20; XB=220
- Malha de centros XPONTA=72; YPONTA=120; XLONGE=117
  XQUINA=72; YQUINA= 90; DC=15; YRA=8,1;
  YRB=11,1; DR=3

2. CARACTERÍSTICAS DAS CAMADAS

Camada	Peso Específico t/m^3	Coesão t/m^2	Ângulo de Atrito (graus)	Parâmetro de Pressão Neutra
I	2,76	0,00	40,0	0,0
II	2,40	0,49	35,0	-1,0
III	2,40	0,49	35,0	0,0
IV	2,29	0,98	28,0	0,7
V	2,29	0,98	28,0	0,75
VI	2,40	0,49	35,0	-1,0
VII	2,29	0,98	28,0	0,8
VIII	2,24	0,98	35,0	-1,0
IX	2,24	0,98	35,0	0,55
X	1,80	25,00	45,0	0,0

3. CARACTERÍSTICAS DOS CONTORNOS

Camada Definida	Contorno	Vértices do Contorno	
		Número	Discriminação
I	A	7	1-2-5-6-7-8-9
II	B	9	1-2-3-4-5-6-7-8-9
III	C	12	1-2-3-14-12-10-4-5-6-7-8-9
IV	D	13(*)	1-2-3-14-12-10-4-5-6-11-13-20-21
V	E	10	1-2-3-14-12-10-11-13-20-21
VI	F	8	1-2-3-14-12-13-20-21
VII	G	9	15-16-17-18-14-12-13-20-21
VIII	H	7	15-16-17-18-19-20-21
IX	I	5	22-23-19-20-21
X	J	4	22-23-24-25
	K	2	26-27

* Valor adotado para a variável NF

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA BARRAGEM TRYWERIN
NECESSÁRIAS PARA UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA BISPO

Figura A - 6

Em um computador IBM/370-165 a duração total (compilação e execução do programa), para esse exemplo foi de 6 segundos, enquanto que em um IBM/360-40 a duração total foi de 7 minutos. Em anexo a listagem dos resultados fornecidos para os dados do exemplo da barragem TRYWERIN.

BARRAGEM TAVERNIGLIITE E PRICE 1953/REBAIXAMENTO RAPIDO-TENSOES EFETIVAS/JAN
BISPO SET 75 ANALISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES-METODOS DE FELLENIUS E BISHOP SIMPLIFICADO
ESTUDO DO TALUDE DE MONTANTE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
NÚCLEO DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA

CONDICOES DOS DADOS

GEOMETRIA DA MALHA DE CENTROS	FORNECIDOS NESSE FLUXO DE DADOS
PESO ESPECIFICO DAS CAMADAS	FORNECIDOS NESSE FLUXO DE DADOS
COESAO INTERNA DAS CAMADAS	FORNECIDOS NESSE FLUXO DE DADOS
ANGULO DE ATRITO INTERNO DAS CAMADAS	FORNECIDOS NESSE FLUXO DE DADOS
INCREMENTO DE COESAO COM A PROFUNDIDADE DAS CAMADAS	MESMOS DO FLUXO DE DADOS ANTERIOR
PARAMETRO DE PRESSAO NEUTRA (RU) DAS CAMADAS	FORNECIDOS NESSE FLUXO DE DADOS
GEOMETRIA DOS CONTORNOS DAS CAMADAS	FORNECIDOS NESSE FLUXO DE DADOS
GEOMETRIA E VALORES DA MALHA DE CARGA TOTAL DE AGUA	FORNECIDOS NESSE FLUXO DE DADOS

PRESSOES NEUTRAS COMPUTADAS A PARTIR DO PARAMETRO RU

NUMERO DE CAMADAS DE MATERIAIS EXISTENTES NA SECAO EM ESTUDO	10
NUMERO MAXIMO DE PONTOS DEFINIDORES DOS CONTORNOS DAS CAMADAS	13
NUMERO DE VERTICAIS DA MALHA DE PRESSOES	16
NUMERO DE HORIZONTAIS DA MALHA DE PRESSOES	7
NUMERO LIMITE DE ITERACOES DO FATOR DE SEGURANCA	8
NUMERO DE FATIAS PARA O TRECHO EM ESTUDO	200
PRECISAO DA CONVERGENCIA DOS FATORES DE SEGURANCA	0.0020

GEOMETRIA DA MALHA DE CENTROS

ABSCISSA EXTREMA ESQUERDA DO TRECHO EM ESTUDO	20.00	M
ABSCISSA EXTREMA DIREITA DO TRECHO EM ESTUDO	220.00	M
ABSCISSA SUPERIOR ESQUERDA EXTREMA DA MALHA DE CENTROS	72.00	M
ORDENADA EXTREMA SUPERIOR DA MALHA DE CENTROS	120.00	M
ABSCISSA INFERIOR ESQUERDA EXTREMA DA MALHA DE CENTROS	72.00	
ORDENADA EXTREMA INFERIOR DA MALHA DE CENTROS	90.00	M
ABSCISSA INFERIOR DIREITA EXTREMA DA MALHA DE CENTROS	117.00	M
ESPACAMENTO (HORIZONTAL E VERTICAL) DOS CENTROS	15.00	M
ORDENADA INFERIOR DE TANGENCIA DOS CIRCULOS	0.10	M
ORDENADA SUPERIOR DE TANGENCIA DOS CIRCULOS	11.10	M
INCREMENTO DE RAIOS PARA CADA CENTRO	3.00	M

DADOS DAS 10 CAMADAS

(1)...PESO ESPECIFICO EM T/M2
(2)...COESAO INTERNA EM T/M2
(3)...ANGULO DE ATRITO INTERNO EM GRAUS
(4)...INCREMENTO DE COESAO COM A PROFUNDIDADE EM T/M2/M
(5)...PARAMETRO DE PRESSAO NEUTRA (RU)

CAMADA	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	1.76	0.00	40.00	0.00	0.000
2	2.40	0.92	35.00	0.00	-1.000
3	2.40	0.49	35.00	0.00	0.000
4	2.29	0.98	28.00	0.00	0.700
5	2.29	0.98	28.00	0.00	0.750
6	2.40	0.49	35.00	0.00	-1.000
7	2.29	0.98	28.00	0.00	0.800
8	2.24	0.98	35.00	0.00	-1.000
9	2.26	0.98	35.00	0.00	0.550
10	2.80	25.00	45.00	0.00	0.000

ABSCISSAS EM METROS DOS PONTOS DEFINIDORES DOS CONTORNOS DAS CAMADAS

CONTORNO													
1	0.00	79.00	207.00	213.00	250.00	255.00	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	79.00	83.00	206.50	207.00	213.00	250.00	255.00	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	79.00	83.00	190.00	195.00	201.00	206.50	207.00	213.00	250.00	255.00	293.00	0.00
4	0.00	79.00	83.00	190.00	195.00	201.00	206.50	207.00	213.00	219.00	225.00	233.00	293.00
5	0.00	79.00	83.00	190.00	195.00	201.00	219.00	225.00	233.00	293.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	79.00	83.00	190.00	195.00	225.00	233.00	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	120.00	155.00	187.00	190.00	195.00	225.00	233.00	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	120.00	155.00	187.00	215.00	233.00	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	210.00	215.00	233.00	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	210.00	215.00	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	293.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ORDENADAS (EM METROS) DOS PONTOS DEFINIDORES DOS CONTORNOS DAS CAMADAS

CONTORNO													
1	17.30	17.30	60.00	60.00	45.00	45.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	17.30	17.30	17.30	58.70	60.00	60.00	45.00	45.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	17.30	17.30	17.30	17.30	30.00	45.00	58.70	60.00	60.00	45.00	45.00	30.00	0.00
4	17.30	17.30	17.30	17.30	30.00	45.00	58.70	60.00	60.00	45.00	30.00	12.00	7.00
5	17.30	17.30	17.30	17.30	30.00	45.00	45.00	30.00	12.00	7.00	0.00	0.00	0.00
6	17.30	17.30	17.30	17.30	30.00	30.00	12.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	15.00	15.00	15.00	12.00	17.30	30.00	30.00	12.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	15.00	15.00	15.00	12.00	12.00	12.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	8.00	8.00	12.00	12.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	8.00	8.00	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
NÚCLEO DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA

********** DADOS (EM METROS) DA MALHA DE CARGA TOTAL DE AGUA **********

ABSCISSAS	ORDENADAS											
	0.00	10.00	17.30	30.00	40.00	50.00	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	17.30	17.30	17.30	30.00	40.00	50.00	60.00					
80.00	17.30	17.30	17.30	30.00	40.00	50.00	60.00					
90.00	21.00	21.00	21.00	30.00	40.00	50.00	60.00					
100.00	24.50	24.50	24.50	30.00	40.00	50.00	60.00					
110.00	27.50	27.50	27.50	30.00	40.00	50.00	60.00					
120.00	31.00	31.00	31.00	31.00	40.00	50.00	60.00					
130.00	34.50	34.50	34.50	34.50	40.00	50.00	60.00					
140.00	37.50	37.50	37.50	37.50	40.00	50.00	60.00					
150.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	50.00	60.00					
160.00	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	50.00	60.00					
170.00	47.50	47.50	47.50	47.50	47.50	50.00	60.00					
180.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	60.00					
190.00	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	60.00					
207.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00					
213.00	10.00	10.00	17.30	30.00	40.00	50.00	60.00					
290.00	10.00	10.00	17.30	30.00	40.00	50.00	60.00					

********** LARGURA DAS FATIAS => DX = 1.000 M **********

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
NÚCLEO DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA

BARRAGEM IRYNERINCLIFILE E PRICE 1258)REBAIXAMENTO RAPIDO-TENSOES EFETIVAS30/JAN
********** ANALISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES-METODOS DE FELLENIUS E BISHOP SIMPLIFICADO **********
BISPO SET 75 ESTUDO DO TALUDE DE MONTANTE

CARACTERISTICAS DOS CIRCULOS			FATORES DE SEGURANCA			NUMERO	NUMERO DE
ABSCISSA DO CENTRO	ORDENADA	RAIO	BISHOP	FELLENIUS	N*SEN(ALFA)	DE FATIAS	ITERACOES
72.00	120.00	108.90	2.066	1.845	332.025	109	3
87.00	120.00	108.90	1.564	1.377	655.387	117	3
102.00	120.00	108.90	1.432	1.234	1026.196	122	3
117.00	120.00	108.90	1.439	1.204	1411.013	128	3
72.00	105.00	93.90	2.231	1.983	260.333	98	3
87.00	105.00	93.90	1.606	1.397	549.091	105	3
102.00	105.00	93.90	1.455	1.237	880.782	110	3
117.00	105.00	93.90	1.477	1.214	1218.457	117	3
72.00	90.00	78.90	2.475	2.171	195.862	86	3
87.00	90.00	78.90	1.652	1.417	449.392	92	3
102.00	90.00	78.90	1.486	1.241	740.221	97	3
117.00	90.00	78.90	1.538	1.230	1027.758	104	3