



GeoCompany

Tecnologia, Engenharia
e Meio Ambiente



 **Krozai**
aprimoramento profissional
WWW.KROZAI.COM.BR

Túneis – Evolução dos Projetos CBT 2005

Prof. Dr. Roberto Kochen – Diretor de Infraestrutura do Instituto de Engenharia e Diretor Técnico da GeoCompany – Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente kochen@geocompany.com.br

MODELAGEM NUMÉRICA - RODOANEL

Na análise do Túnel 1 do Rodoanel de São Paulo, Elo Oeste, foram formulados modelos matemáticos pelo programa FLAC, do Itasca Consulting Group. Foram elaborados modelos para várias seções do Túnel 1, com parâmetros estabelecidos de acordo com a compartimentação geológico-geomecânica do Maciço Rochoso. Foram estudadas a seção de transição solo-rocha e seção em rocha, presente nos emboques do túnel, e mais duas seções em rocha ao longo do túnel (Kochen & Castro, 2004).

Para a modelagem numérica do Túnel 1, foi utilizado o programa de diferenças finitas FLAC, que permite analisar obras geotécnicas com grande precisão, e modelar fases de escavação e revestimento, comportamento não-linear dos materiais (plastificação), comportamento não-linear do maciço (grandes deslocamentos, etc.).

Foram considerados 4 cenários para as solicitações no revestimento secundário:

- Cenário I (favorável ao revestimento de 2ª Fase) - alívio de 50 % das tensões iniciais na escavação, alívio de 30% na instalação do revestimento de 1ª Fase, e alívio dos 20% finais (por efeito de deformação lenta do maciço) na instalação do revestimento de 2ª Fase, atuando solidariamente ao revestimento de 1ª Fase com espessura integral.

- Cenário II (neutro para o revestimento de 2ª Fase) - alívio de 30% das tensões iniciais na escavação, alívio de 20% na instalação do primário, e alívio dos 50% finais (por efeito de deformação lenta do maciço) na instalação do revestimento de 2ª Fase, atuando solidariamente ao revestimento de 1ª Fase com espessura integral.
- Cenário III (desfavorável ao revestimento de 2ª Fase) - alívio de 0% das tensões iniciais na escavação, alívio de 30% na instalação do primário, e alívio dos 70% finais (por efeito de deformação lenta do maciço) na instalação do revestimento de 2ª Fase, atuando solidariamente ao revestimento de 1ª Fase com espessura integral.

- Cenário IV (extremo para o revestimento de 2ª Fase) - alívio de 0% das tensões iniciais na escavação, e alívio dos 100% finais (por efeito de deformação lenta do maciço) na instalação do revestimento de 1ª Fase e 2ª Fase simultaneamente, atuando solidariamente ao revestimento de 1ª Fase com espessura integral.

O Cenário IV se revelou o mais desfavorável para o revestimento de 2ª Fase. Para efeito de dimensionamento, foi considerado o cenário IV nos Emboques. Na análise dos trechos em rocha, no interior do túnel, foram considerados apenas os Cenários I e II. Isto porque o passo de avanço da escavação é muito elevado (cerca de 4 metros), possibilitando o alívio de tensões iniciais na escavação. Ocorrendo esse alívio, não é razoável considerar os cenários III e IV.

Resultados da Análise

A seguir será apresentado um exemplo dos diagramas gerados pela modelagem numérica pelo FLAC.

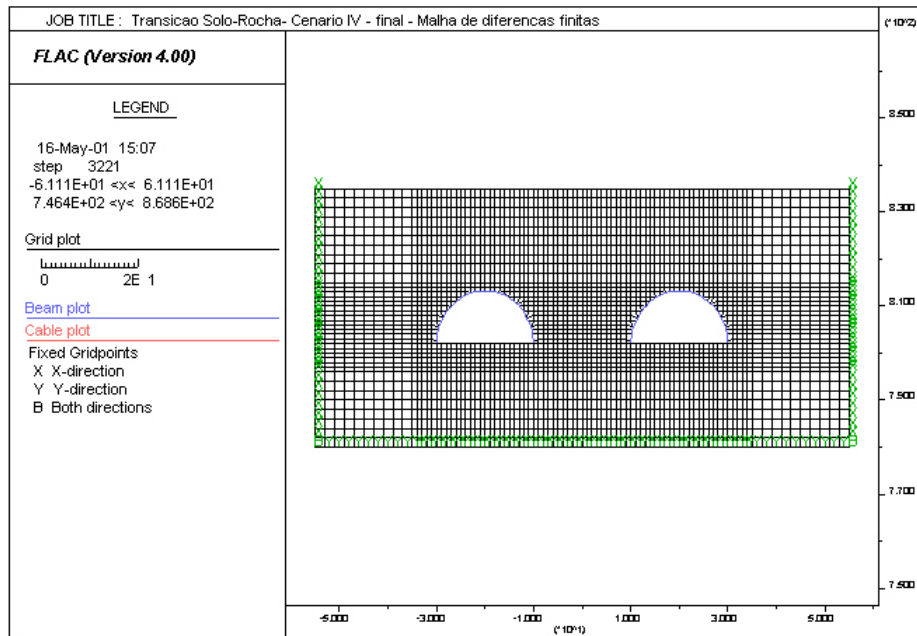


Figura 6 – Malha de diferenças finitas para a seção de transição solo rocha.

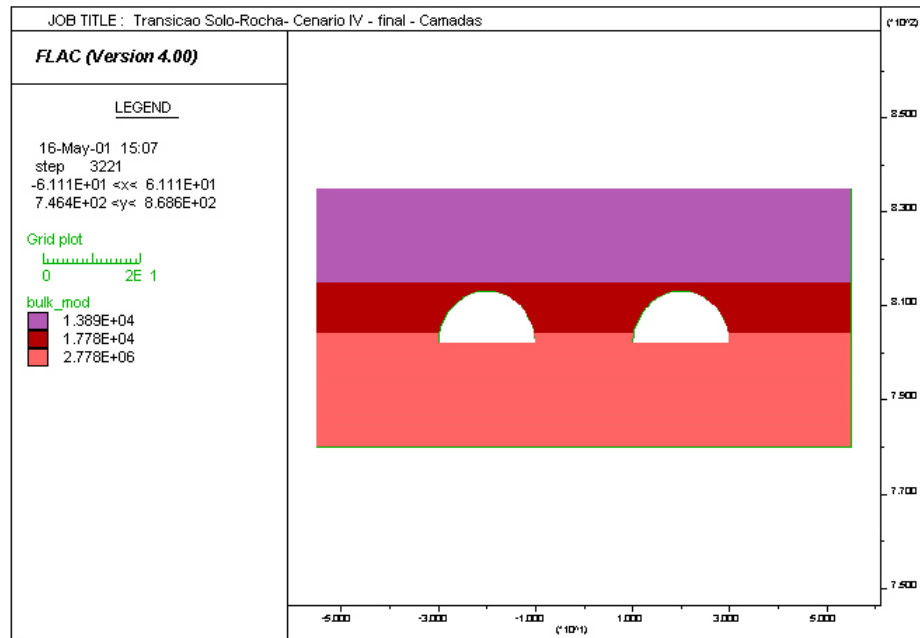


Figura 7 – Substratos rochosos para a seção de transição solo rocha.

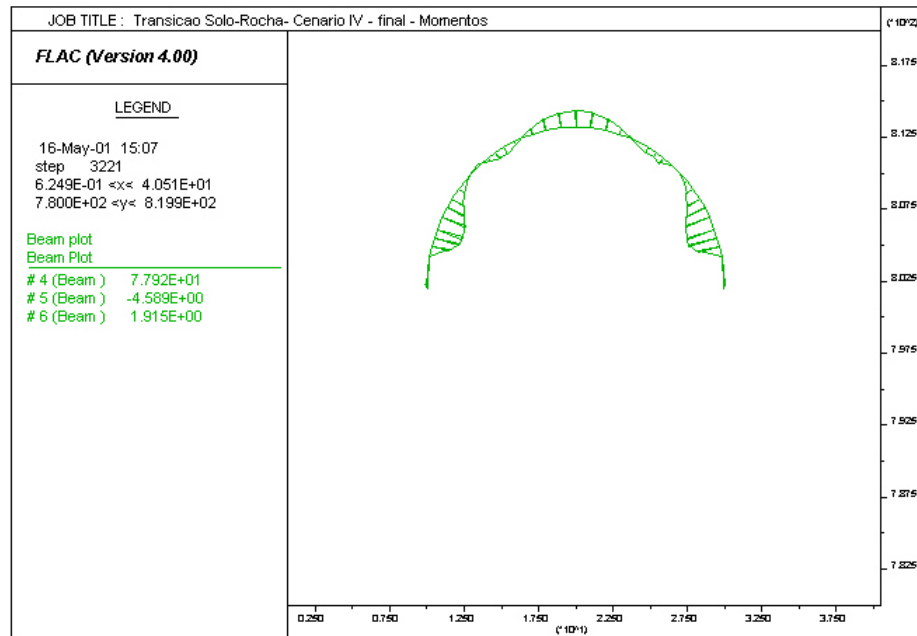


Figura 8 – Momentos fletores para o revestimento de 2ª Fase

ESTUDO DA PERCOLAÇÃO DE ÁGUA NO REVESTIMENTO

Para verificar se a espessura do revestimento calculado satisfaz a condição de estanqueidade foi realizado um estudo de percolação de água no revestimento dos túneis. Isso foi feito através de uma modelagem numérica com a utilização do programa FLAC. Foi criado um modelo representativo da seção do túnel, com geometria e cobertura próximas da situação real. Foi considerado revestimento de concreto para o túnel, e maciço saturado no entorno do mesmo.

Para o concreto projetado foi adotado coeficiente de permeabilidade igual a $1,0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, valor esse considerado médio segundo estudos de retroanálise de infiltrações em vários túneis.

A seguir serão apresentados os diagramas gerados pela modelagem numérica pelo FLAC.

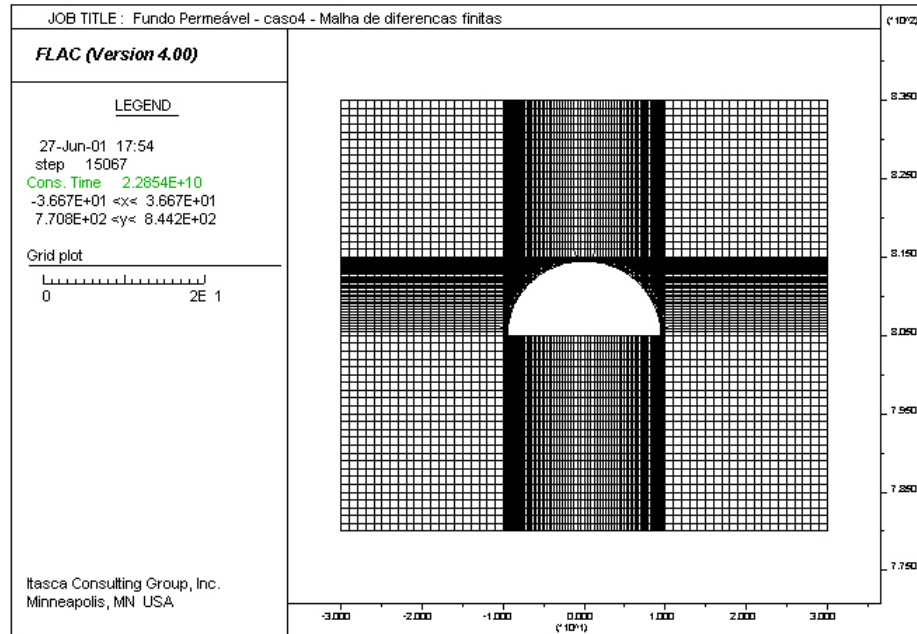


Figura 9 – Malha de diferenças finitas, para o estudo da percolação de água

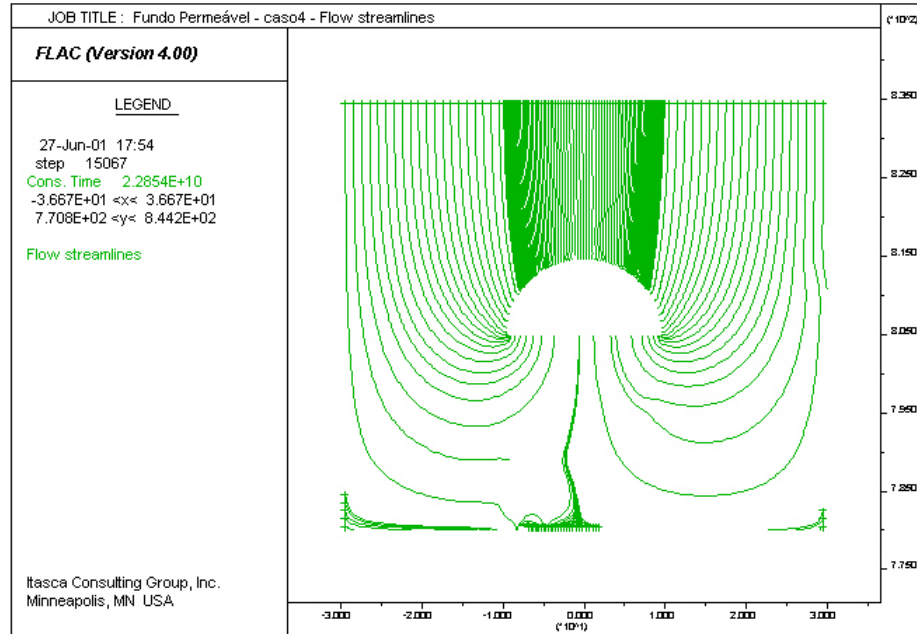
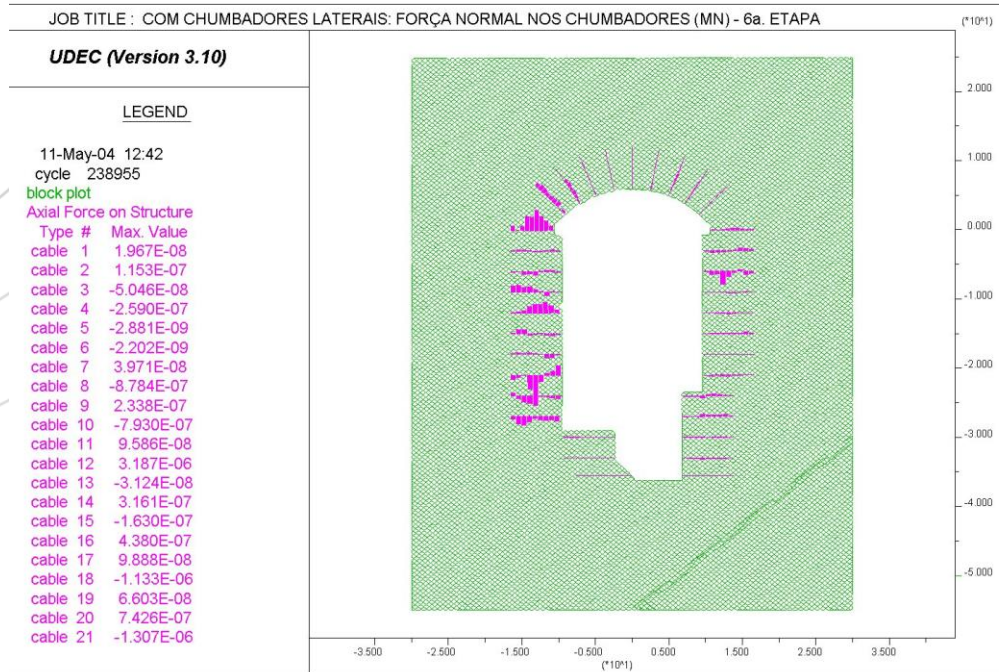


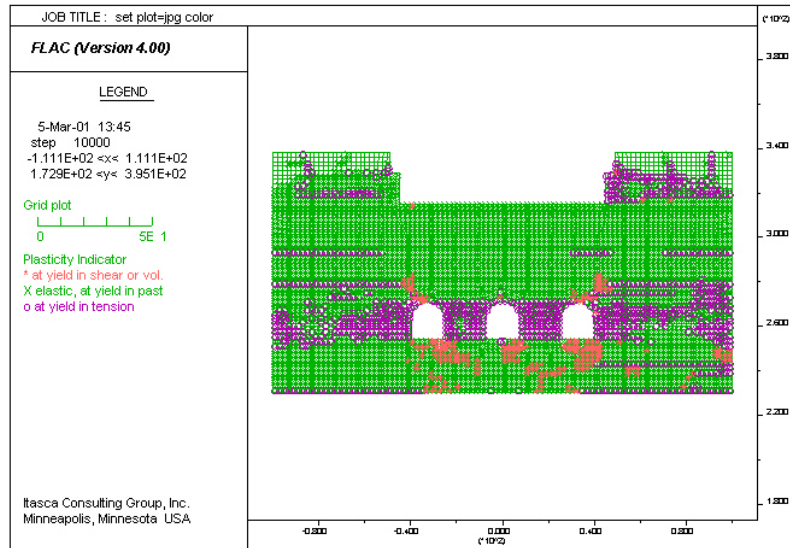
Figura 10 – Linha de fluxo para o regime permanente

Para os parâmetros acima, a vazão máxima no revestimento do túnel é igual a $4,6 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$, ou seja, 0,81 litros / dia / m^2 . Essa vazão é aceitável para o revestimento do túnel, uma vez que não acarretaria infiltrações excessivas ou ocorrência de gotejamentos de água.



UHE San Francisco, Odebrecht Eng. e Construções, Equador

Modelagem Numérica da Casa de Força em Rocha Fraturada, com 22 m de vão e 48 m de altura.



UHE Itá, Rio Uruguai, SC, Odebrecht / CBPO Engenharia, Brasil
Modelagem Numérica dos Túneis de Adução (15m de vão e 17 m de altura),