

# ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DE TÚNEIS DE PRESSÃO



IGOR MOREIRA MOTA

*MSc, Ministério da Integração Nacional, Brasília-DF, igormot@gmail.com*

ANDRÉ PACHECO DE ASSIS

*PhD, Universidade de Brasília, Brasília-DF, aassis@unb.br*

## RESUMO ABSTRACT

Os túneis de pressão possuem aplicação em diversas obras, cujo objetivo é o transporte de água. No Brasil, a aplicação dessas estruturas como parte do sistema de adução hidrelétrica vem crescendo consideravelmente, principalmente nas Pequenas Centrais Hidrelétricas. Os critérios de projeto largamente utilizados possuem, ainda hoje, base empírica, embora a evolução de métodos racionais tenha sido significativa ao longo dos últimos anos. Este trabalho traz uma revisão de alguns métodos empíricos ao longo dos anos. Faz, também, a comparação do comprimento do túnel sem suporte e o comprimento do túnel revestido com blindagem, avaliando os resultados obtidos por critérios empíricos e numéricos, evidenciando que em alguns casos as soluções empíricas podem ser conservadoras e em outros elas podem colocar em risco a segurança estrutural da obra. Por fim, algumas recomendações de projeto foram sintetizadas de forma a complementar o arcabouço de recomendações de projetos no Brasil, voltado ao projeto de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

**Palavras-chave:** Obras subterrâneas, Túneis de pressão, Critérios de Projeto.

Pressure tunnels are found in many engineering projects with water transportation purpose. The use of these structures as elements of hydraulic circuit of hydroelectric schemes is growing very much in Brazil, mainly for small power plants. However the design criteria largely used today are based in empirical methods despite the developments of rational methods in recent years. A design of support systems comparison, to define the length of unlined tunnel and the length of steel line tunnel was done, evaluating the results obtained from empirical and numerical methods, showing that, in some cases, empirical methods should be conservative and in other cases should be unsafe. Finally, some design recommendations were grouped to complement the limited framework design in Brazil, directed specifically for small power plants project.

## 1 INTRODUÇÃO

As condições topográficas de diversos países do mundo favorecem o arranjo de aproveitamentos hidrelétricos com circuito hidráulico subterrâneo. Os túneis e poços de pressão são elementos importantes nos aproveitamentos hidrelétricos e possuem grande complexidade em razão da variedade de condições geológico-geotécnicas que podem ser encontradas ao longo do comprimento.

A principal característica desses elementos é que estão sujeitos a uma pressão interna do fluido em seu interior, maior que a pressão atmosférica, e por vezes perfazem grandes distâncias.

Os túneis de pressão podem ser não revestidos, revestidos com concreto projetado, concreto moldado in loco com ou sem armadura, ou ainda, revestidos em aço. Uma combinação entre os vários tipos de revestimentos em um mesmo túnel é comum para esse tipo de estrutura.

No Brasil, diversos túneis de pressão foram construídos para geração hidrelétrica, com concentração maior na parte sul do país, onde a topografia e os vales encaixados favorecem o arranjo com circuito de geração subterrâneo. É cada vez maior a demanda por circuitos de geração subterrâneos em razão da minimização dos impactos ambientais, principalmente nas PCHs.

Embora o panorama de expansão do setor mostre crescimento de demanda por túneis de pressão, as normas e recomendações específicas para o projeto e construção desses tipos de estrutura, são ainda precárias no Brasil, e se baseiam em critérios empíricos de dimensionamento.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivos:

- Identificar os principais critérios de projeto de túneis de pressão existentes, em nível internacional;
- Comparar os principais critérios empíricos existentes com análises numéricas de forma a definir a extensão e o tipo dos diferentes suportes ao longo do comprimento do túnel e;
- Fornecer recomendações gerais para projeto de túneis de pressão para cada fase de estudo.

## 3 CRITÉRIOS DE PROJETO EM TÚNEIS SOB PRESSÃO

Hendron et al. (1989) destaca algumas decisões a serem tomadas nos projetos de túneis de pressão que são:

- O traçado do túnel, levando em consideração a topografia e o nível d'água existente;
- O comprimento dos diversos tipos de revestimento ao longo do túnel;
- O comprimento da blindagem necessária nos trechos sem o adequado confinamento;
- O tratamento do maciço durante a escavação e/ou instalação do sistema de suporte;
- O projeto do sistema de drenagem que garanta segurança durante todas as etapas ao longo da vida útil desses túneis.

Dentre essas decisões de projeto, um destaque especial deve ser dado à extensão da blindagem em aço nos túneis de pressão.

Ainda hoje as diversas normas e procedimentos de projeto sugerem dois métodos para determinar o ponto do início da blindagem:

- O primeiro baseado no critério empírico do confinamento do maciço acima do túnel de pressão;
- O segundo baseado no resultados de medida de tensão *in situ*.

### 3.1 Critérios Empíricos para Definição da Extensão da Blindagem de Aço do Túnel

Os critérios empíricos para túneis de pressão são utilizados para definir a extensão da blindagem de aço em razão do confinamento inadequado de rocha acima do túnel de pressão. O conceito de confinamento refere-se à habilidade do maciço rochoso em resistir à pressão interna em um túnel sem a necessidade de revestimento. Segundo esse conceito, um adequado confinamento evita a ocorrência de *hydraulic jacking*. É notória a importância dos critérios empíricos e o grande número de obras onde, com sucesso, essa metodologia foi utilizada nas mais variadas condições geológicas. Há de se destacar que grandes obras de engenharia, com pressões da ordem de 1000 mca de pressão interna estão em pleno funcionamento, com desempenho satisfatório.

Os critérios empíricos remontam ao início do século XX, mais precisamente por volta do ano de 1913, quando foi desenvolvido um critério de cobertura mínima para o sistema de abastecimento da cidade de Nova York (Berkey & Senborn, 1923 - citado por Brekke & Ripley, 1987). Após isso diversos autores como Dunn (1923), Bleifuss (1949), Spencer et al. (1963), Dann et al. (1964), citados por Benson (1989), Bergh-Christensen & Dannevig (1971), Stini (1974), Patterson et al. (1975), Deere (1983), Lauffer, (1985), contribuíram com o tema desenvolvendo diversas proposições para definir o cobrimento necessário aos túneis de pressão. Algumas dessas metodologias tornaram-se mais consagradas que outras sendo utilizadas em vários projetos ao redor do mundo. Dentre essas, destaca-se a metodologia proposta por Bergh-Christensen & Dannevig (1971) também conhecido como critério norueguês, e a metodologia proposta por Deere (1983).

#### 3.1.1 Critério Norueguês:

Como na maioria dos demais critérios de confinamento a tensão vertical coincide com a tensão

principal menor, sendo o coeficiente de empuxo no repouso superior a unidade. Por esse critério para que o túnel não necessite de blindagem a distância mínima ( $L_{\min}$ ) entre o teto do túnel e o topo rochoso deve obedecer a inequação a seguir:

$$L_{\min} > \frac{B \cdot \gamma_w \cdot h_w}{\gamma_r \cos(\omega)} \quad (1)$$

Onde,  $\gamma_w$ ,  $\gamma_r$  representam os pesos específicos da água e da rocha, respectivamente;  $h_w$  é a altura piezométrica e  $\omega$  é o ângulo formado entre a horizontal e a superfície do terreno.

### 3.1.2 – Critério de Deere:

A metodologia apresentada por Deere (1983) propõe que além da cobertura vertical é necessário obedecer a uma cobertura lateral de rocha cujo valor deve ser igual a duas vezes a cobertura vertical. A extensão do trecho em concreto armado e a extensão do trecho blindado devem obedecer às seguintes inequações, respectivamente:

$$\frac{h_r}{h_w} > 1,0 \quad (2)$$

$$\frac{h_r}{h_w} > 0,8 \quad (3)$$

A proposição feita por Deere (1983) possibilita não somente definir o comprimento da blindagem (inequação 3) mas também definir a extensão da transição e, concreto armado que deve anteceder o trecho com blindagem. Assim, a inequação 2 fornece a extensão do túnel em que não se faz necessário um revestimento estrutural em razão da pressão interna no túnel.

## 4 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS EMPÍRICOS DE PROJETO

Essa seção apresenta os resultados obtidos pela comparação entre a metodologia empírica e os resultados numéricos para definir a extensão do trecho sem revestimento e a extensão do trecho com blindagem.

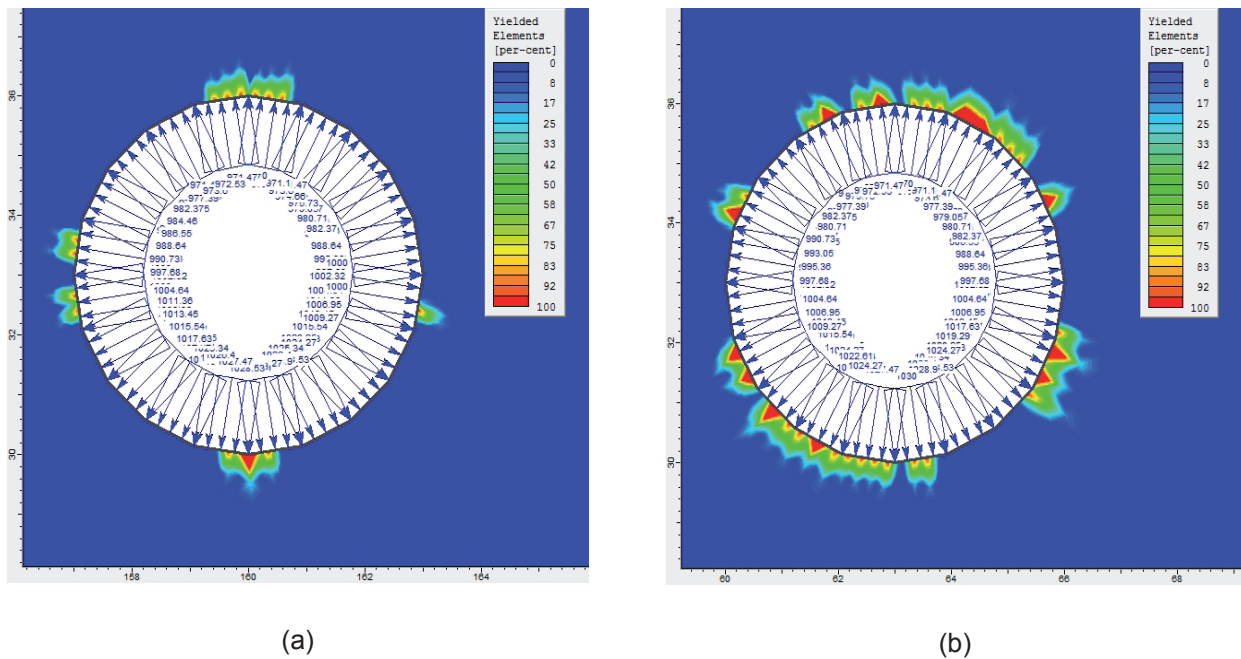
Para avaliar os critérios empíricos foram utilizadas simulações numéricas de forma a modelar um túnel de pressão com 100 mca de pressão interna. Considerou-se o efeito somado da escavação e da pressão de água em um túnel de pressão utilizando o software Phase<sup>2</sup> v.6.0 (Rocscience, 2005) baseado no método de elementos finitos. O maciço rochoso simulado por um modelo elasto-plástico com critério de ruptura Hoek & Brown, sendo o comportamento pós-pico do tipo *strain softening* com redução em 30% dos parâmetros de resistência de pico. Os parâmetros do material foram:  $\gamma_r=25 \text{ kN/m}^3$ ;  $\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$ ;  $K_x=K_y=10^{-7} \text{ m/s}$ ;  $GSI=55$ ;  $E_{mr}=15310 \text{ MPa}$ ;  $\nu=0,2$ ;  $\sigma_{si}=100 \text{ MPa}$ ;  $m_b=4,009$ ;  $s=0,0067$ .

Foram simuladas as condições de talude horizontal e com talude de 45° de inclinação para os casos com  $k_0=0,5$ ,  $k_0=1$  e  $k_0=2$ . As análises foram feitas em duas etapas: a primeira para estabelecer a cobertura de rocha de forma que o túnel seja não revestido; a segunda para estabelecer a cobertura de rocha em que se faz necessário o uso de blindagem. Os resultados foram divididos conforme as etapas.

### 4.1 Túnel Sem Revestimento

O critério para determinar a cobertura de rocha acima do túnel de forma que não seja necessário um sistema de suporte contínuo foi limitar a extensão da zona plástica a elementos discretos como pequenos blocos que possam, por ventura, se desprender do teto ou das paredes sem comprometer a funcionalidade do túnel de pressão. Esse critério segue a linha de projeto dos noruegueses em que são admitidas algumas quedas de blocos e contidos por recuos de contenção de blocos (*rocktraps*).

A Figura 1 mostra a zona plástica obtida para dois dos casos simulados numericamente sendo a Figura 1a referente a um caso com talude horizontal e a Figura 1b para um caso com talude inclinado ( $\omega = 45^\circ$ ). Interessante notar que apesar de ambos os casos necessitarem de apenas eventuais suportes discretos há um aumento da zona plástica com o aumento da inclinação do talude, o que corrobora com a recomendação encontrada na literatura.



**Figura 1.** Zona plástica para túnel sem suporte obtida pelo MEF (Método dos Elementos Finitos) para: (a)  $\omega = 0^\circ$  e (b)  $\omega = 45^\circ$

A Tabela 1 apresenta os valores de cobertura de rocha ( $h_r$ ) necessária para garantir a não necessidade de revestimento considerando os critérios empíricos Norueguês e de Deere. Vale salientar

que ambos os critérios possuem como variável apenas a inclinação do talude e a pressão interna de água no túnel.

**Tabela 1.** Valores de cobertura de rocha para os critérios empíricos (sem suporte).

Método Empírico:	Inclinação do talude $\omega$ ( $^\circ$ )	Cobertura Vertical $h_r$ (m)	Cobertura Lateral $d_{lateral}$ (m)
Norueguês	0	40,0	-
	45	81,3	-
Deere (sem suporte)	0	100	130
	45	127	130

A Tabela 2 apresenta os valores de cobertura de rocha ( $h_r$ ), para todos os casos analisados numericamente. Comparando os valores da Tabela 1 com a Tabela 2 é possível inferir que no caso do talude horizontal com baixo coeficiente de empuxo ( $k_0=0,5$ ) ambos os critérios são contra a segurança sendo que a diferença entre o valor de cobertura obtido numericamente é 20% superior para o critério de Deere e 200% superior para o critério Norueguês.

Considerando o talude horizontal com  $k_0=1$  ambos os critérios estão a favor da segurança sendo que o critério Norueguês fornece valores mais

próximos dos valores obtidos pelo Phase<sup>2</sup> com um erro de 10%. Já para o critério de Deere essa diferença é de 64%. O último caso de talude horizontal, cujo valor de coeficiente de empuxo no repouso é de  $k_0=2$ , mostra que o critério Norueguês está contra a segurança, e o critério de Deere a favor da segurança com uma diferença de 15% em relação ao método numérico, enquanto a diferença entre o critério Norueguês e o método numérico é da ordem de 110%.

**Tabela 2.** Cobertura de rocha obtidos nas análises numéricas para túnel sem suporte.

Inclinação do Talude $\omega$ (°)	Cobertura de Rocha - h (m)		
	$k_0 = 0,5$	$k_0 = 1$	$k_0 = 2$
0	120	36	85
45	228	86	116

Com a inclinação do talude, o critério Norueguês torna-se contra a segurança para todos os casos de coeficiente de empuxo, sendo que para  $k_0=0,5$  a diferença para o método numérico é de 180%, para  $k_0=1$  a diferença é de apenas 6% e para  $k_0=2$  é de 43%. Já o critério de Deere é contra a segurança para  $k_0=0,5$  com uma diferença de 80% em relação ao resultado numérico, mas é a favor da segurança para  $k_0=1$  e  $k_0=2$ , com uma diferença entre o resultado numérico de 32 e 9%, respectivamente.

Com base nos resultados encontrados é possível afirmar que o critério Norueguês fornece resultados satisfatórios apenas para  $k_0=1$ , embora o efeito da inclinação exija o seu uso com cautela. Esse resultado vai ao encontro da premissa em que se baseia o método, que foi desenvolvido para maciços de boa qualidade assumindo que a tensão vertical é sempre igual ou inferior à tensão horizontal. No entanto, à medida que essa razão aumenta muito ( $k_0=2$ ) o método fornece valores subestimados de cobertura.

O critério proposto por Deere não conduz a resultados satisfatórios para baixos valores de coeficiente de empuxo, sendo mais adequado nos casos em que a tensão horizontal é superior a tensão vertical, fornecendo valores superestimados em relação aos resultados numéricos quando  $k_0=1$ , e resultados satisfatórios para  $k_0=2$ , inclusive nos casos de talude inclinado. Isso decorre da cobertura lateral mínima exigida para o túnel de pressão, limitando a distância do túnel para a encosta.

Assim, para definir os casos onde o túnel deva ser não revestido o critério de Deere se mostrou

adequado para  $k_0=2$  tanto para taludes horizontais quanto para taludes inclinados. Já para a condição de  $k_0=1$  o método mais próximo aos resultados numéricos são fornecidos pelo critério Norueguês, no entanto, para o caso do talude inclinado, esse método leva a resultados subestimados devendo ser corrigido de forma a aumentar a cobertura.

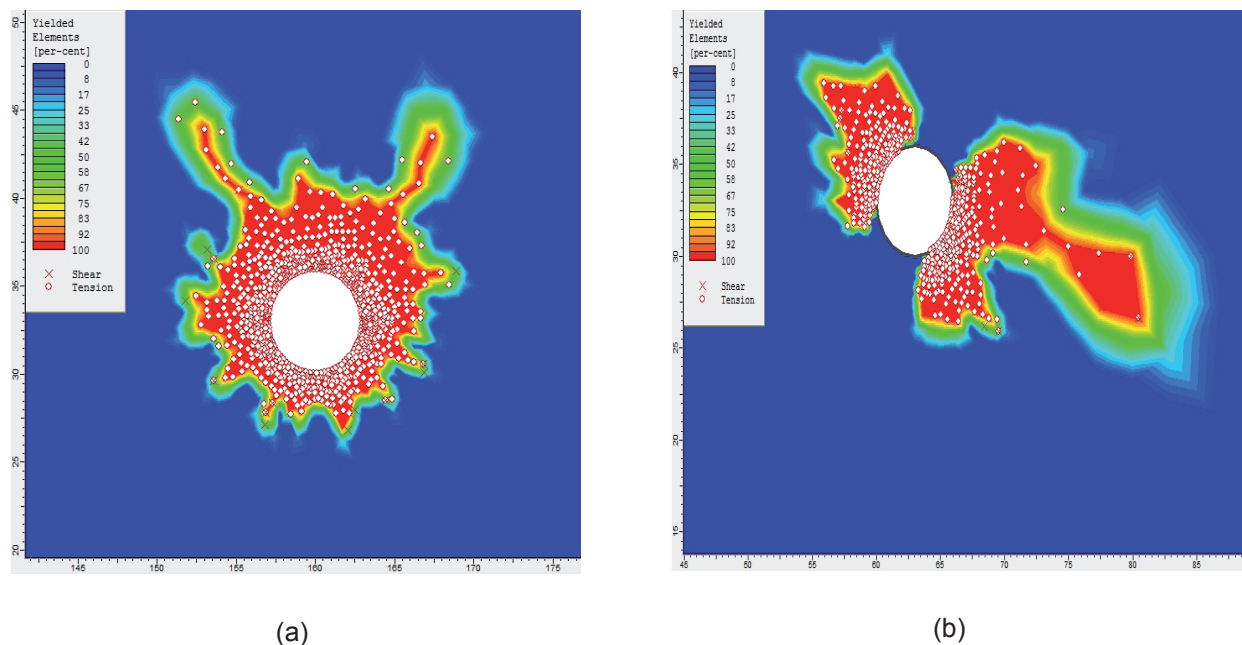
## 4.2 Túnel Com Blindagem

Para definir a necessidade de blindagem considerando a resistência do maciço, foi preciso estabelecer um critério em termos de extensão da zona plástica a partir do qual se tornará necessário lançar mão de blindagem. Assim, dois critérios foram definidos neste trabalho, sendo a blindagem necessária se um deles fosse constatado nas análises numéricas. Sendo assim, deve-se utilizar blindagem se:

- a área da zona plástica for igual ou superior a três vezes a área do túnel;
- qualquer extensão linear da zona plástica for igual ou superior à metade da profundidade relativa ( $z/r$ ) do túnel.

A primeira hipótese parte da premissa de que uma ruptura global ao redor da escavação ocorre quando o raio da zona plástica for igual a duas vezes o raio do túnel. Já a segunda está ligada a propagação da fissura em uma direção linear que tende a abrir sob o efeito da água gerando perda de pressão e água no túnel.

A Figura 2 mostra a zona plástica obtida para dois dos casos simulados numericamente, sendo a Figura 2a referente a um caso com talude horizontal e a Figura 2b para um caso com talude inclinado ( $\omega = 45^\circ$ ). O comportamento apresentado na Figura 2 ocorreu para todos os casos, mostrando que para o talude horizontal a ruptura se dá ao redor de toda a escavação e para o caso inclinado a ruptura tende a se propagar lateralmente ao túnel.



**Figura 2.** Zona plástica indicando a necessidade de blindagem obtida pelo MEF para: (a)  $\omega = 0^\circ$  e (b)  $\omega = 45^\circ$ .

A Tabela 3 apresenta os valores de cobertura mínima no qual, a partir daí torna-se necessária a blindagem de aço para resistir à pressão interna de água, dados pelos métodos empíricos. A Tabela 4 mostra os valores de cobertura de rocha para os quais é necessário o uso da blindagem obtidos numericamente.

Comparando-se os valores da Tabela 4 com a Tabela 3 é possível inferir que, exceto no caso do talude horizontal com baixo coeficiente de empuxo ( $k_0=0,5$ ) para o critério Norueguês, ambos os métodos são a favor da segurança sendo na maioria dos casos superestimados.

**Tabela 3.** Cobertura de rocha para os métodos empíricos (blindagem).

Método Empírico:	Inclinação do talude	Cobertura Vertical	Cobertura Lateral
	$\omega$ (°)	$h_r$ (m)	$d_{lateral}$ (m)
Norueguês	0	40,0	-
	45	81,3	-
Deere (blindagem)	0	80	160
	45	157	160

**Tabela 4.** Valor de cobertura de rocha obtidos nas análises numéricas para túnel blindado.

Inclinação do Talude $\omega$ (°)	Cobertura de Rocha - $h_r$ (m)		
	$k_0 = 0,5$	$k_0 = 1$	$k_0 = 2$
0	44	27	26
45	67,5	39	38,5

Para o caso com talude horizontal a diferença entre os resultados numéricos em relação ao critério Norueguês e o critério de Deere gira em torno de 33 e 66% quando  $k_0=1$ , e em torno de 35 e 68% quando  $k_0=2$ , respectivamente.

Quando o talude é inclinado essa diferença aumenta para 17 e 57% com  $k_0=0,5$ ; 52 e 75% com  $k_0=1$ ; 53 e 76% com  $k_0=2$ , (o primeiro valor refere-se à diferença entre o resultado numérico e o critério Norueguês e o segundo valor à diferença entre o resultado numérico e o critério de Deere, respectivamente).

Esses resultados mostram que a extensão da blindagem calculada por métodos empíricos pode levar a grandes comprimentos além do necessário gerando um grande incremento de custo.

O critério de Deere para definir o comprimento da blindagem resulta em valores pelo menos 50% superiores à cobertura necessária.

Já o critério Norueguês leva a um valor superior à necessária com uma diferença variando entre 20 a 50%, mas em casos onde o coeficiente de empuxo é baixo essa metodologia deve ser aferida por outros métodos.

Cabe ressaltar que todas as considerações aqui descritas restringem-se à situação simulada utilizando o MEF aqui apresentada, devendo servir como um indicativo e não como regra geral. Qualquer alteração das hipóteses e casos simulados deve ser reavaliada.

## 5 RECOMENDAÇÕES DE PROJETO PARA DEFINIÇÃO DO SUPORTE

Este item propõe uma rotina para o dimensionamento do sistema de suporte ao longo do túnel para cada uma das fases de projeto.

(a) Nos Estudos de Viabilidade a metodologia a ser utilizada deve ser baseada nos métodos empíricos. Com essa avaliação prévia os critérios empíricos a ser utilizados seguem:

- O método proposto por Bergh-Christensen & Dannevig (1971) conhecido como critério Norueguês, nos casos em que o  $k_0$  é superior a 1. Um fator de segurança de 1,3 deve ser utilizado para definir a cobertura mínima ao longo do traçado do túnel, sendo blindado o trecho em que essa condição não for atendida.
- O método proposto por Deere (1983) deve ser utilizado em casos onde o valor de  $k_0$  é inferior a 0,7;
- Para a determinação do trecho não revestido deve-se utilizar o critério Norueguês nos casos em que  $0,7 \leq k_0 \leq 1,5$ ;
- O método proposto por Deere (1983) deve ser utilizado em situações de baixo coeficiente de empuxo no repouso ( $k_0$  é inferior a 0,7) ou para valores mais elevados ( $k_0$  superior a 1,5).

(b) Na fase de Projeto Básico o nível de informações geológico-geotécnicas permite a utilização de métodos mais racionais de forma a otimizar o projeto do túnel de pressão. É requerida nessa fase uma caracterização do nível freático ao longo do traçado proposto. O mapeamento superficial do maciço ao longo do traçado fornece informações valiosas dos locais de emboque, desemboque as principais estruturas geológicas. Por esse mapeamento devem-se definir os locais mais

apropriados para a investigação direta com retirada de testemunhos. Os parâmetros de resistência advindos do material das sondagens possibilitam a modelagem geomecânica a fim de executar análises mais apuradas.

(c) Para a fase de Projeto Executivo os locais críticos ao longo do traçado como o início do trecho blindado, o início do trecho em concreto estrutural, o encontro do túnel com a casa de força (subterrânea), exigem a determinação das tensões por meio de ensaios de campo. O ensaio macaqueamento hidráulico é o que fisicamente mais se aproxima das condições em que um túnel de pressão submete o maciço. A pressão de fraturamento deve ser superior a 1,2 vezes a cobertura de rocha. Segundo Hartmaier et al. (1998), o valor médio de diversos ensaios de macaqueamento hidráulico permite uma adequada avaliação da heterogeneidade do maciço.

Entre o trecho blindado e o trecho sem suporte é necessário uma transição em concreto armado. Nas fases iniciais esse trecho é determinado empiricamente. Na Noruega o trecho de transição é limitado a dois diâmetros antes da blindagem (Brekke & Ripley, 1987). No trecho de transição deve ser posicionada a instrumentação necessária para monitorar as poropressões entre o maciço e o concreto de forma a avaliar as premissas de projeto do trecho blindado em relação à pressão externa de água, além de avaliar a eficiência da drenagem quando for o caso.

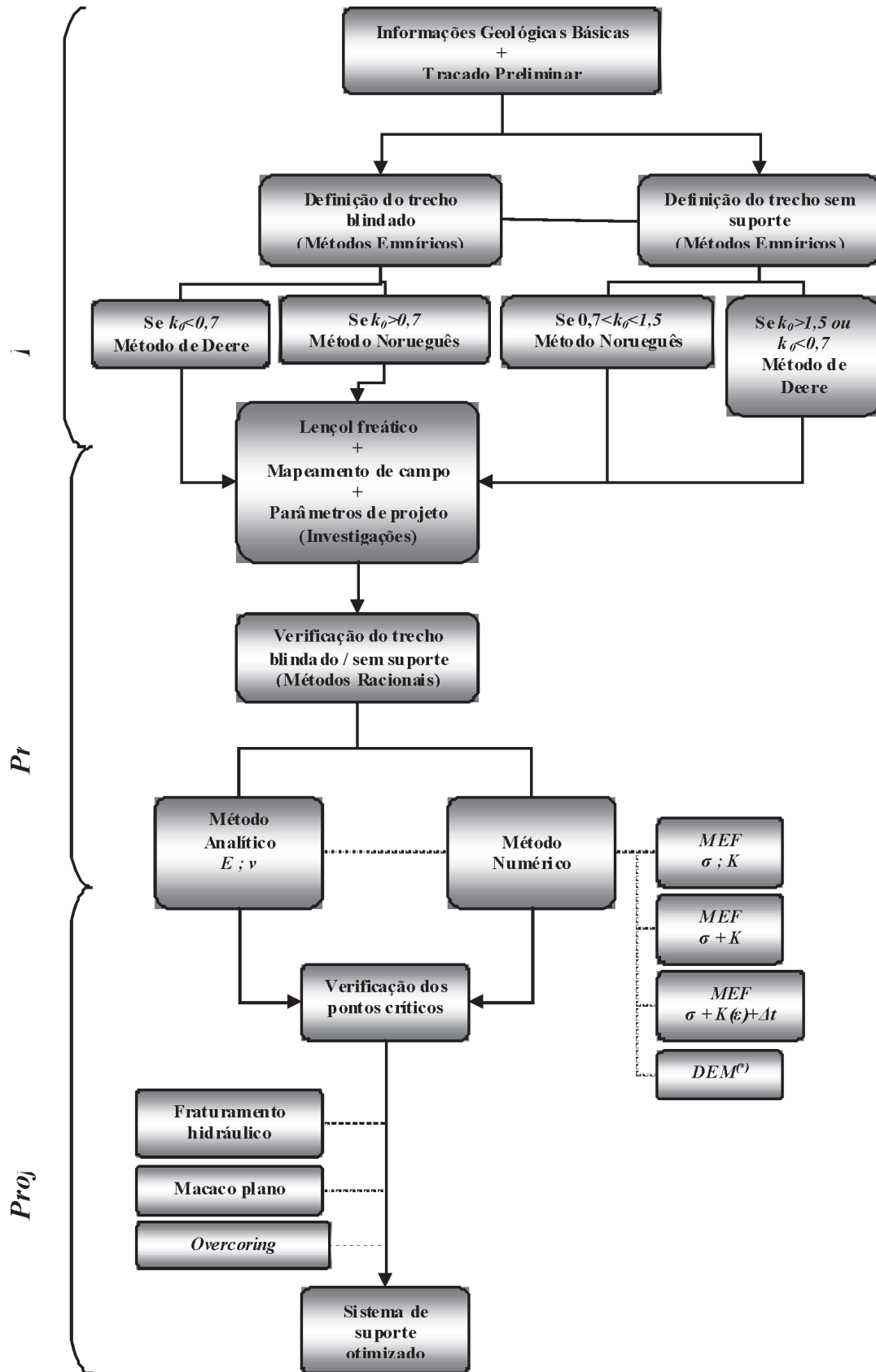
A Figura 3 mostra um esquema de dimensionamento para as diferentes etapas de projeto em túneis de pressão.

## 6 CONCLUSÕES

Na determinação do trecho sem revestimento do túnel de pressão, ambos os critérios empíricos (Deere (1983) e Bergh-Christensen & Dannevig (1971)) fornecem um valor superestimado de cobertura de rocha para valores baixos de  $k_0$ .

O critério Norueguês fornece valores satisfatórios para  $k_0=1$ , embora o efeito da inclinação do talude exija uma avaliação criteriosa desse critério que pode levar a valores contra a segurança.

O critério de Deere fornece valores superestimados para  $k_0=1$  e satisfatórios para  $k_0=2$ , inclusive nos casos onde o talude de superfície é inclinado.



(\*) Discreet Element Method

Figura 3. Critérios de cobertura para as diversas etapas de projeto de um túnel de pressão (Mota, 2009).



Esses resultados sugerem, na visão do autor do presente trabalho, que a metodologia empírica deva ser utilizada nas etapas preliminares de projeto, sendo necessária uma avaliação prévia em termos geológico-geotécnico de forma a definir uma faixa representativa para o coeficiente de empuxo do maciço ao qual estará inserido o túnel de pressão.

Já para o caso da definição do comprimento de blindagem, levando em conta o critério de segurança quanto à ruptura do maciço, os métodos empíricos podem fornecer valores superestimados de cobertura de rocha o que pode levar a grandes comprimentos de blindagem.

Foi proposta uma rotina para o dimensionamento do sistema de suporte ao longo do túnel para cada uma das fases de projeto de forma a otimizar a extensão do trecho blindado, cujo custo possui grande impacto financeiro no projeto.

## BIBLIOGRAFIA

- BENSON, R. B. (1989) Design of Unlined and Lined Pressure Tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 4(2), 155-170.
- BERG-CHISTENSEN, J., e DANNEVIG, N. T. (1971) *Engineering geological considerations concerning the unlined pressure shaft at the Mauranger Power Project*. GEOTEAM A/S, Oslo.
- BREKKE, T. L. & RIPLEY, B. D. (1987) Design guidelines for pressure tunnels and shafts. Electric Power Research Institute, report EPRI AP-5273, Berkeley, California.
- DEERE, D. U., (1983) Unique geotechnical problems at some hydroelectric projects. *Proc. 7<sup>th</sup> Pam Am Soil Mechanics Conference*, Vancouver, pp. 865-888.
- HARTMAIER, H. H., DOE, T. W. & DIXON, G. (1998) Evaluation of hydrojacking tests for an unlined pressure tunnel. *Tunneling and Underground Space Technology*, 13(4): 393-401.
- HENDRON, A. J., FERNÁNDEZ, G., LENZINI, P. A., HENDRON, M. A. (1989) *Design of Pressure Tunnels. The Art and Science of Geotechnical Engineering at the dawn of the twenty first century*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 161-192.
- LAUFFER, H. (1985) Austria's contribution towards the development of water power. Supplement to Int. Cong. On Large Dams, Lausanne, pp. 97-104.
- MOTA, I. M. (2009) Análise dos Critérios de Projeto e Comportamento de Túneis de Pressão. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-179/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 238 p.
- PATTERSON, S. J., HALE, G. E. A., IKIN, D. B. (1975) Stabilizing a landslide above fisher penstock, Tasmania. *Proc. 2<sup>nd</sup> Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*, Brisbane, pp. 18-19.
- ROCSCIENCE (2005) Phase<sup>2</sup> v.6.0 – Theory Manual. Rocscience, Toronto, Ontario, Canada, 553 p.
- STINI, J. (1974) Landslides, engineering geology of dams, reservoirs, tunneling, groundwater effects in rock masses and tectonics. *Austrian Society for Geomechanics*, Karlsruhe.

