

## MINI TÚNEIS E TÚNEIS DE PEQUENA DIMENSÃO

Por

**ROBERTO KOCHEN** – Presidente e Diretor Técnico – GeoCompany Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente, São Paulo, SP, Brasil ([www.geocompany.com.br](http://www.geocompany.com.br)), & Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica da USP;

**Resumo de palestra apresentada na ABGE em 29/09/2009.**

RESUMO: Túneis de pequena dimensão são usualmente construídos com a técnica do tubo cravado, ou “Slurry Pipe Jacking”. Trata-se de um método de escavação subterrâneo, desenvolvido no início da década de 80, para túneis de pequeno diâmetro (< 3 m), resultante da combinação da técnica de instalação de dutos subterrâneos através da cravação de tubos “Pipe Jacking”, e da técnica de escavações subterrâneas com couraça mecanizada de pressões balanceadas por lama “Slurry Shield”.

Para um projeto correto e uma construção adequada é necessário dar ênfase à definição de dois requisitos básicos de projeto: estimativa dos esforços de cravação necessários para a instalação dos tubos consecutivos, e a magnitude dos recalques induzidos pela construção do túnel. Estes são os requisitos que definem a capacidade do sistema de cravação, espessura dos tubos cravados e o potencial de danos induzidos nas estruturas superficiais e utilidades enterradas.

### **INTRODUÇÃO**

Com o crescimento dos centros urbanos, tornou-se necessária a melhoria e a expansão da rede de utilidades públicas (água, esgoto, eletricidade, telefonia, etc.). Em áreas densamente edificadas, com grande ocupação do espaço subterrâneo, a execução de obras subterrâneas em valas a céu aberto causa impactos sócio-econômico-ambiental cada vez maiores. Por menores e de pouca profundidade que sejam, obras subterrâneas a céu aberto causam enormes transtornos nos centros urbanos e nas vias principais, em especial na interferência com o trânsito naturalmente intenso. Por esse motivo, obras com custos diretos extremamente modestos inviabilizam-se devido aos altos custos sociais inerentes aos atrasos e perturbações que ocasionam a milhares de pessoas, muitas vezes por períodos prolongados.

Dentro deste panorama, a tecnologia de túneis de pequena dimensão tornou-se atraente frente à métodos tradicionais como a solução em vala a céu aberto, principalmente para a construção de novas redes de esgotos, por minimizar os impactos e oferecer maior produtividade com menor risco técnico e econômico.

## EQUIPAMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS DE PEQUENO DIAMETRO

Para métodos de tubo cravado, que predominam atualmente, são necessários poços de partida e chegada. Os primeiros além de serem utilizados como poços de serviço, para acesso dos equipamentos de escavação, são concebidos de modo a mobilizar os esforços de cravação dos tubos de concreto. Os poços de chegada são utilizados para retirada do "shield" e posteriormente como poços de visita.

O processo tem início com a escavação do solo, que é desagregado e triturado na cabeça cortante, cujo esquema é indicado na Figura 1. A cabeça cortante consiste numa peça cônica que tritura as partículas de maiores dimensões contra a parede interior cilíndrica do escudo. Os fragmentos, quando atingem as dimensões apropriadas, são conduzidos para um compartimento estanque e isolado do restante do túnel, localizado na parte frontal do "shield". Esse compartimento frontal é pressurizado com o bombeamento de lama bentonítica que garante o equilíbrio das pressões da face de escavação. Além deste equilíbrio, a lama tem a função de transportar o material escavado até tanques de decantação localizados na superfície. Após a separação dos sólidos em suspensão nestes tanques, a lama volta a ser bombeada para o sistema. O arranjo geral do "slurry pipe jacking", o método predominante hoje em dia para a construção de túneis de pequena dimensão, é apresentado na Figura 2.

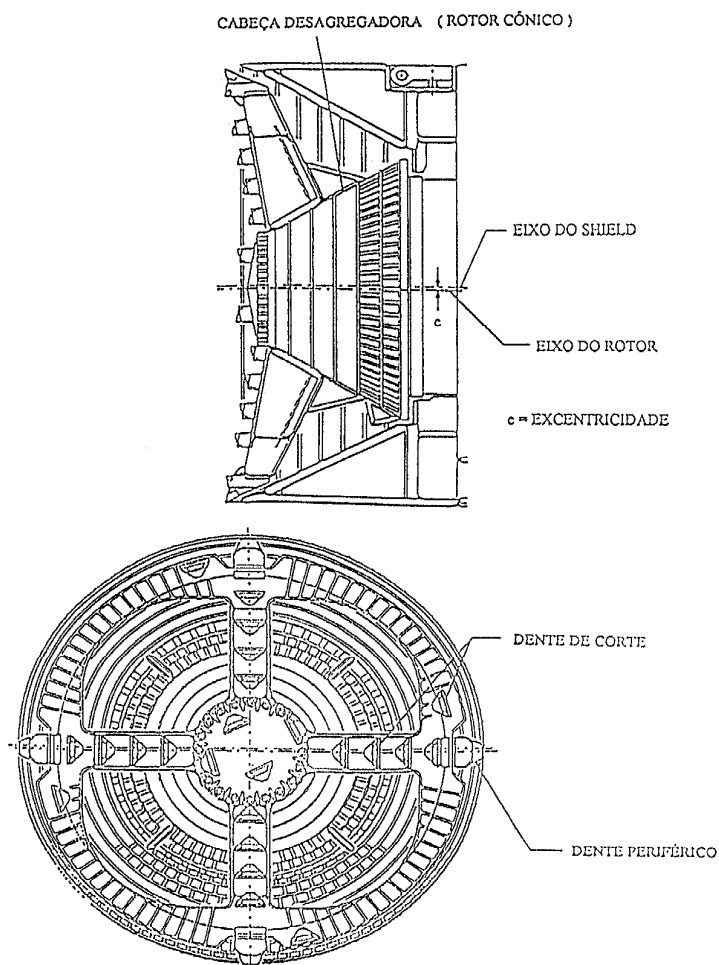


Figura 1 - Cabeça cortante desagregadora de uma Tuneladora a Lama Bentonítica (Slurry Shield)

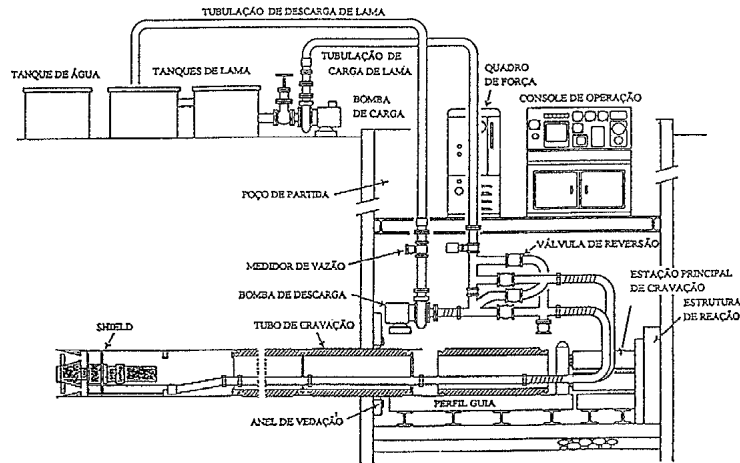


Figura 2 - Arranjo geral de um sistema de túnel de pequeno diâmetro tipo "slurry pipe jacking"

Simultaneamente à escavação e transporte do material escavado, é feita a cravação dos tubos de concreto (Figura 3) através de pistões hidráulicos localizados no poço de partida. Cada tubo cravado movimenta toda a composição ("shield" mais tubos) que avança em direção ao poço de chegada. Para minimizar os esforços de cravação e conseqüentemente o atrito na interface tubomacício, bombas instaladas na superfície injetam lama bentonítica através de orifícios localizados na cauda do "shield" e nos tubos de concreto.

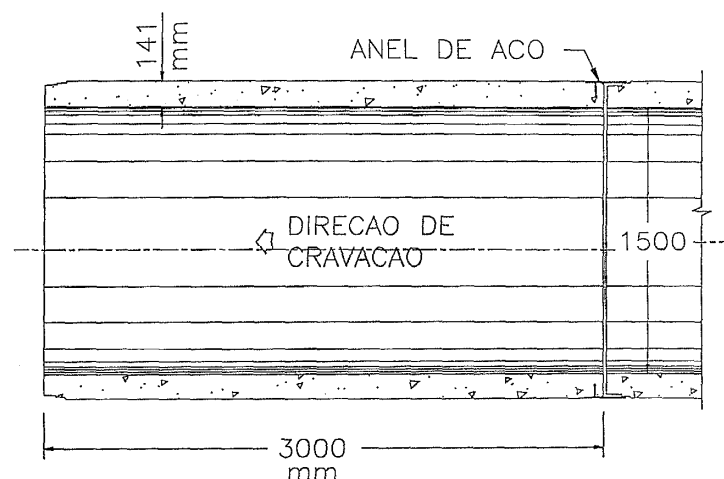


Figura 3 - Tubo de concreto armado para cravação (típico)

O sistema de direcionamento e posicionamento é constituído por um inclinômetro e uma mira com raio laser localizados na parte frontal do "shield". Este, por ser articulado, possibilita a correção da sua rota.

Todos os parâmetros envolvidos na operação do equipamento "slurry pipe jacking" (torque da cabeça de escavação, velocidade de avanço, carga de cravação, vazão e pressão de lama, direcionamento, posicionamento, etc.) são controlados e comandados de uma cabine de operação localizada junto ao poço de partida.

## PROJETO DE TÚNEIS DE PEQUENAS DIMENSÕES

O projeto adota basicamente uma solução analítica que permite associar os esforços de cravação, com as pressões de lama e deslocamentos induzidos do maciço. Os procedimentos adotados usualmente são essencialmente empíricos e, como tal, não permitem otimizações, como retro - análises do desempenho de campo. Para superar este problema, utilizam - se os conceitos da Curva de Reação do Maciço (CRM), para associar os esforços de cravação com as tensões do maciço e os deslocamentos. Trata do método conhecido por Convergência - Confinamento. A teoria da elasto - plasticidade, expansão e colapso de cavidades, fornece a ligação entre os esforços aplicados e deslocamentos associados, para problemas de simetria axial (túnel) e simetria esférica (frente de escavação). O modelo constitutivo elasto-plástico, com queda de resistência após o pico, é adotado conjuntamente com o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, com fluxo plástico não associado.

No caso de comportamento elasto - plástico, como ocorre em solos, a CRM apresenta duas regiões distintas, como mostra a Figura 4. O trecho linear corresponde ao comportamento elástico-linear do solo e o trecho não linear final corresponde ao comportamento elasto-plástico do solo. Para este modelo de comportamento, quando a pressão interna da abertura atinge  $P_1$  o maciço ao seu redor começa a plastificar e a CRM passa a ser realmente curva. As equações da curva de reação do maciço para comportamento de maciço elasto - plástico, normalmente utilizadas, são aquelas obtidas por Brown et. al., 1983.

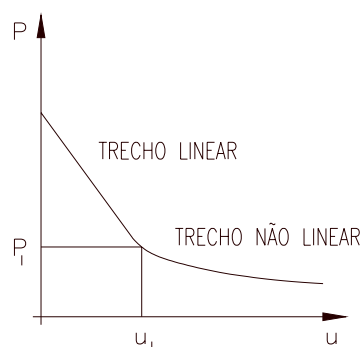


Figura 4 - Curva de reação de maciço para comportamento elasto - plástico

## PARÂMETROS OPERACIONAIS

O objetivo principal dos parâmetros operacionais diz respeito à manutenção da estabilidade do maciço durante a construção do túnel e dos limites de danos causados às estruturas superficiais e sub - superficiais. No método "slurry pipe jacking" o controle dos itens citados acima está diretamente relacionado com a pressão de lama a ser aplicada na frente de escavação, que garante a estabilidade da escavação e, conseqüentemente, as perdas de solo pela frente de escavação, minimizando assim os recalques induzidos pela escavação. No entanto, deve-se lembrar que a mesma pressão de lama está também relacionada com a relaxação das tensões do maciço, de modo que, quanto maior for a pressão na frente de escavação, maiores serão as tensões normais do maciço sobre o revestimento. Como conseqüência, maiores serão também os esforços necessários para a cravação dos tubos, devido ao atrito. Deve-se lembrar que estes esforços estão diretamente relacionados aos deslocamentos dos poços de partida do sistema, à estrutura de reação, à capacidade de propulsão dos pistões e à resistência dos tubos de concreto.

Basicamente dois conjuntos de parâmetros devem ser determinados durante a sua operação, que designamos como parâmetros operacionais, e que são :

- tensões na face do "shield" (determinação das pressões de lama a serem aplicadas);
- 
- esforços de cravação da composição ("shield" e tubos de concreto).

As tensões na face do "shield" dependem basicamente das condições de empuxo atuantes que determinam as pressões de lama a serem aplicadas para manter a frente estável.

Os esforços de cravação dos tubos podem ser determinados através da estimativa das tensões do maciço e do atrito na interface tubo - bentonita.

Durante a operação do "slurry pipe jacking", o esforço de cravação deve superar a resistência friccional do tubo com o solo, somado a resistência de penetração da frente cortante do "shield". Se a escavação for executada com suporte fluido pressurizado, a determinação do esforço de cravação deverá leva-la em consideração.

A pressão aplicada na câmara de suspensão de bentonita serve para equilibrar as tensões do maciço, mantendo a frente estável. A estabilização da frente de escavação depende muito da formação do "cake", que por sua vez depende da concentração de bentonita que é função do tipo de maciço escavado.

A outra parcela, além do esforço de cravação originado na face do "shield", é a resultante do atrito gerado pelo contato do tubo e do "shield" com o maciço.

Dependendo da extensão do túnel a ser executado, o atrito gerado pode chegar a valores que inviabilizam o processo. O atrito na interface (M) pode ser reduzido através de sobrecavação do maciço ou através do uso de lubrificante. Em maciços estáveis, a sobrecavação pode ser mantida ao longo de toda extensão do túnel, apesar do atrito na interface ocorrer somente na parte inferior do tubo. O artifício da sobrecavação, entretanto, é limitado à solos estáveis. Em solos instáveis, a sobrecavação inviabiliza a performance necessária para o processo de cravação, além da indução indesejável de recalques devido ao confinamento parcial. A utilização de lama bentonítica para lubrificação, nestes casos, diminui o atrito na interface, além de estabilizar a escavação.

## **ESFORÇOS DE CRAVAÇÃO**

Com as tensões do maciço analisadas para as três condições de escavação, podemos determinar os esforços de cravação para o "slurry pipe jacking" para três condições: esforços de cravação máximo, mínimo e limitantes.

Os esforços mínimos de cravação são determinados através de limitações de distorções transversais máximas (1:450) na superfície do terreno ou por recalques que levam à plastificação do maciço. Após o cálculo dos deslocamentos, adota-se como deslocamento máximo o menor valor daqueles obtidos através dos dois critérios. Determinado o deslocamento máximo, determina-se as pressões correspondentes através da CRM, que multiplicadas pelo coeficiente de atrito tubo - bentonita, fornecem as tensões de cisalhamento que atuam na periferia dos tubos. A integral destas tensões fornecem os esforços mínimos de cravação que deverão se desenvolver.

## **ASPECTOS PRATICOS DA EXECUÇÃO DE PIPE JACKING**

Neste item vamos apresentar exemplos ilustrativos da execução de pipe jacking, de modo a esclarecer os aspectos construtivos deste método.



Foto 1 – Exemplo de Slurry Shield Misto (Solo e Rocha) para execução de coletor tronco de esgoto por Pipe Jacking

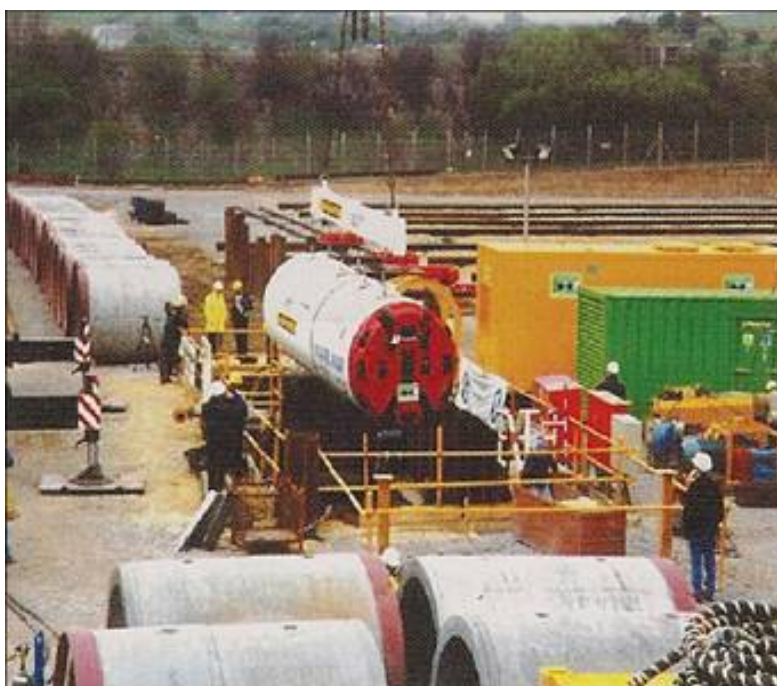


Foto 2 – Outro exemplo de Shield para Pipe Jacking (em rocha), com os tubos de revestimento a serem cravados, pré fabricados, em 1º plano.



Foto 3 - Descida de Máquina dentro de Poço de Partida



Foto 4 - Início da Cravação de Tubo Pré Fabricado



Foto 5 - Vista de canteiro de obra com estoque de tubos pré fabricados



Foto 6 - Vista de cravação em vala retangular



Foto 7 - Cravação em Poço Circular

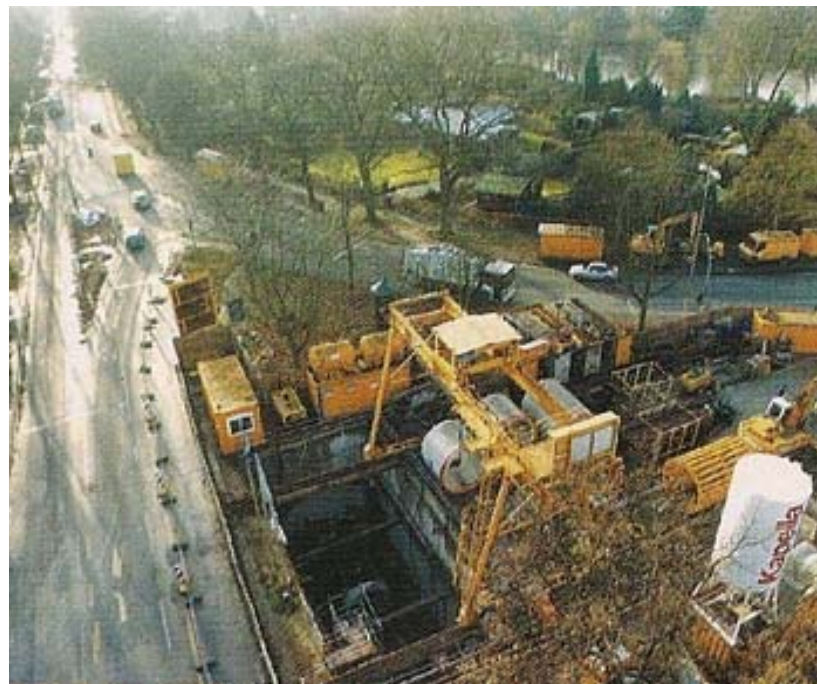


Foto 8 - Obra de Pipe Jacking em Região Urbana, com o mínimo de interferência (restrita ao poço de cravação)



Foto 9 - Exemplo de Poço de Cravação em Operação



Foto 10 - Outro exemplo de poço de cravação em operação



Foto 11 - Vista de Estação Intermediária de Cravação para Pipe Jacking de Grande Extensão



Foto 12 - Túnel em Execução com Revestimento Instalado. Notar estanqueidade das juntas dos tubos cravados.



Foto 13 - Aplicação de Reação para Cravação em Parede de Poço Circular



Foto 14 - Material Escavado sendo removido por vagoneta



Foto 15 - Sistema Computadorizado Típico de Controle da Cravação



Foto 16 – Detalhe Típico de Cravação de Tubo Pré Fabricado em obra de Coletor Tronco



Foto 17 - Granulometria Típica (notar variabilidade do tamanho de grãos) de Material Escavado com Slurry Shield Misto, em obra de Coletor Tronco



Foto 18 – Detalhe de Bloco Escavado por Slurry Shield em Obra de Coletor Tronco

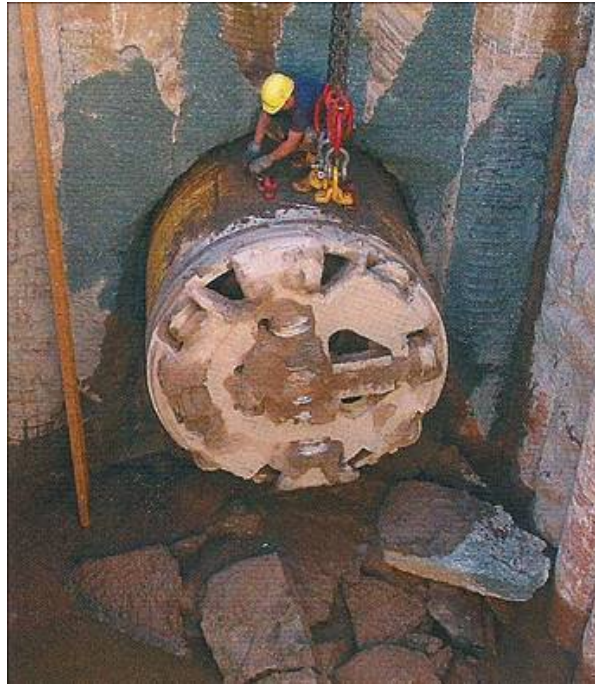


Foto 19 – Outbreak do Slurry Shield no Poço de Chegada

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi apresentar características de mini túneis para obras hidráulicas de saneamento, e é um resumo de palestra apresentada pelo autor na ABGE em 29/09/2009.

A utilização cada vez maior de mini túneis, principalmente os que utilizam a técnica de tubo cravado (pipe jacking), justifica uma maior divulgação do método, de grande interesse pelo reduzido impacto na superfície. O impacto reduzido é importante, e até mesmo necessário, principalmente em áreas urbanas.

## AGRADECIMENTOS

À ABGE, pelo honroso convite de apresentar palestra sobre o tema relevante de Mini Túneis, e pela oportunidade de divulgação do presente trabalho.

## REFERENCIAS

- **Anagnostou, G. e Kovári, K.**, 1996: Face Stability in Slurry and EPB Shield Tunneling, Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London, pp 453-458.
- 
- **Brown, E. T., et al.**, 1983: Ground Response Curves for Rock Tunnels, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.109 nº 1, pp 15-38.
- 
- **Einstein, H.H. & Schwartz, C.W.**, (1979)-Simplified Analysis for Tunnel Supports, Journal of the Geotechnical Engineering Division.
- 
- **Heinz, H. H., Jr.**, 1988: Large Cross Section Tunnels in Soft Ground-Phd Thesis, University of Alberta.
- 
- **Jancsecz, S. & Steiner, W.**, (1994)-Face Support for a large Mix-Shield in heterogeneous ground conditions. Proceed Tunnelling'94, pp531-550.
- 
- **Milligan, G. & Norris, P.**, (1996)-Site-based research in pipe jacking - objectives, procedures and a case history, A Supplement to Tunnelling and Underground Space Technology.
- 
- **Milligan, G. & Norris, P.**, (1992)-Pipe Jacking Research Results and Recommendations- University of Oxford, Department of Engineering Science.
- 
- **Milligan, G. & Norris, P.**, (1992): Frictional Resistance of jacked concrete pipes at full scale, Proceedings International Conference No DIG Paris-No trenches in Town, Henry & Mermet, Balkema, Rotterdam.
- 
- **Stein, D., Möllers, K. & Bielecki, R.**, (1989)-Microtunneling Installation and Renewal of Nonman-Size Supply and Sewage Lines by the Trenchless Construction Method.