

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), & 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.

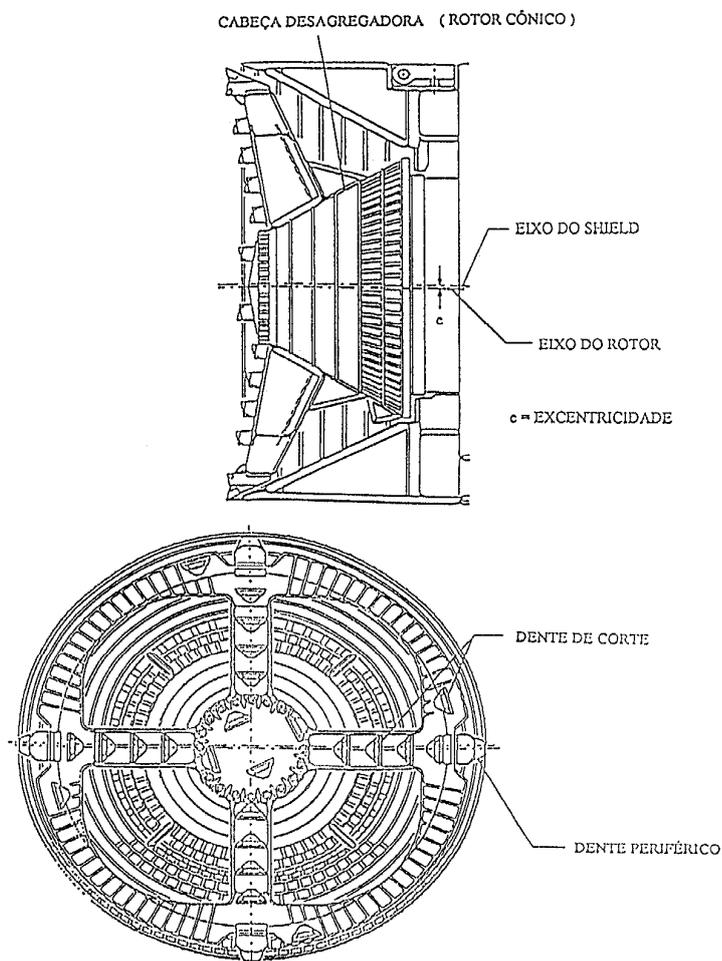


Figura 1 - Cabeça cortante desagregadora de uma Tuneladora a Lama Bentonítica (Slurry Shield)

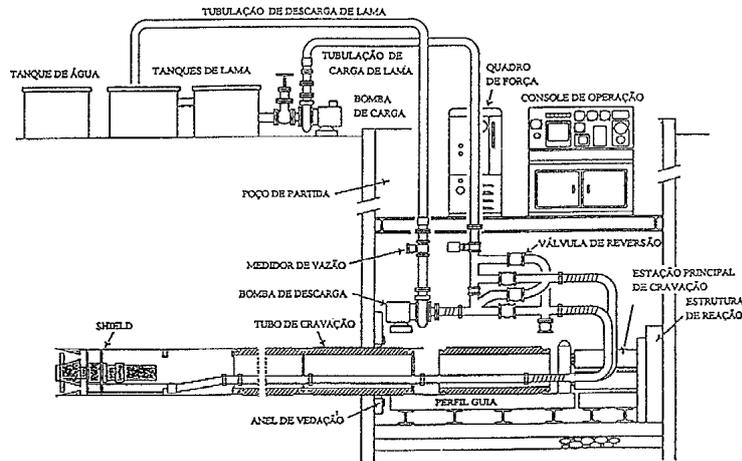


Figura 2 - Arranjo geral de um sistema de túnel de pequeno diâmetro tipo "slurry pipe jacking"

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.

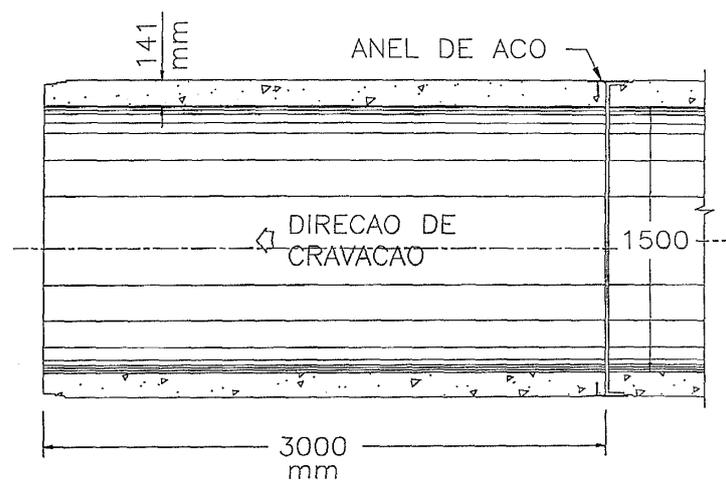


Figura 3 - Tubo de concreto armado para cravação (típico)

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 DIMENSOES

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.

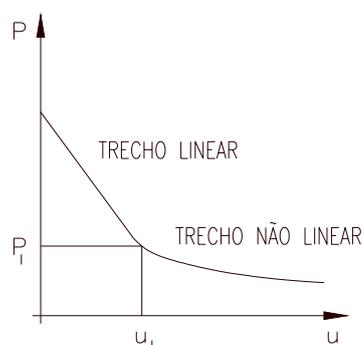


Figura 4 - Curva de reação de maciço para comportamento elasto - plástico

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

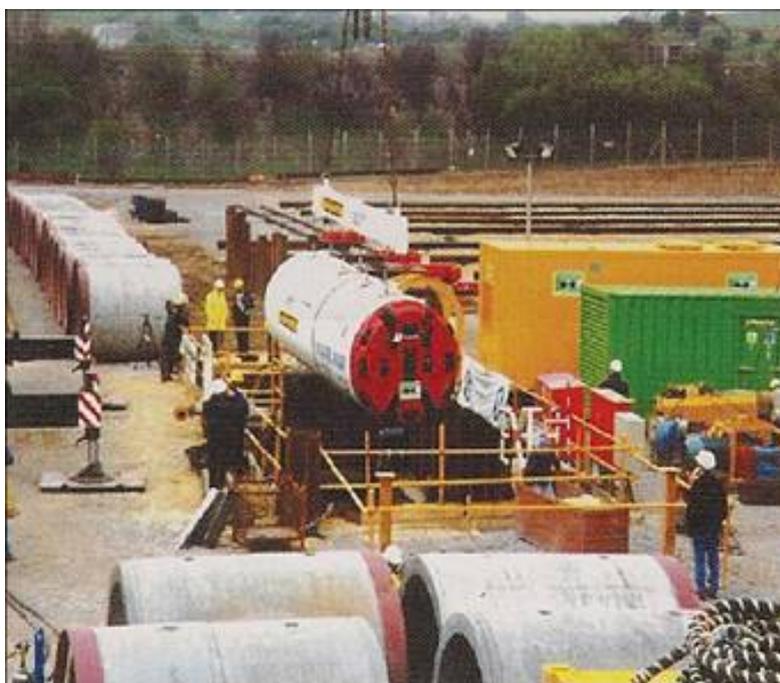


Foto 2 – Outro exemplo de Shield para Pipe Jacking (em rocha), com os tubos de revestimento a serem cravados, pré fabricados, em 1º plano.



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

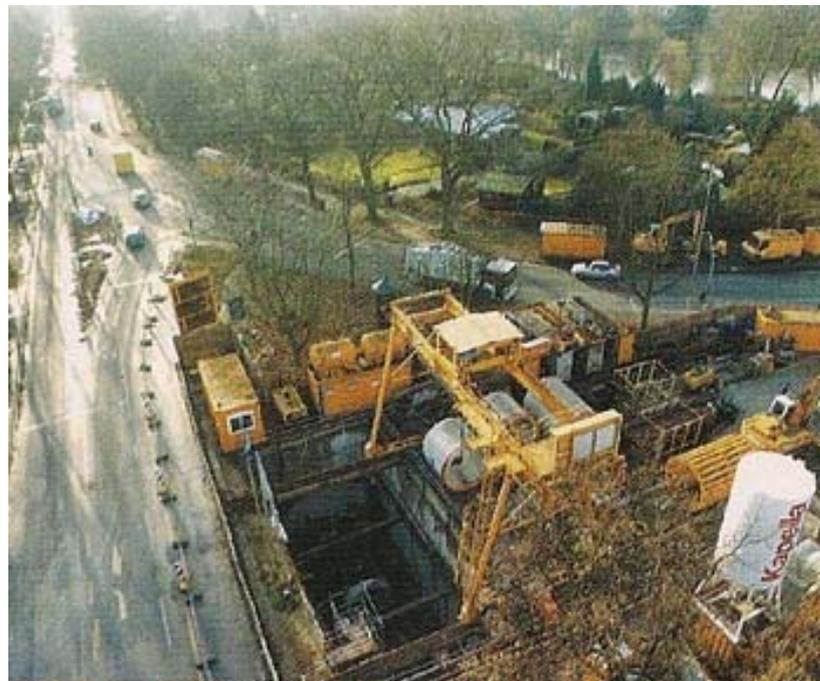


Foto 8 - Obra de Pipe Jacking em Região Urbana, com o mínimo de interferência (restrita ao poço de cravação)



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

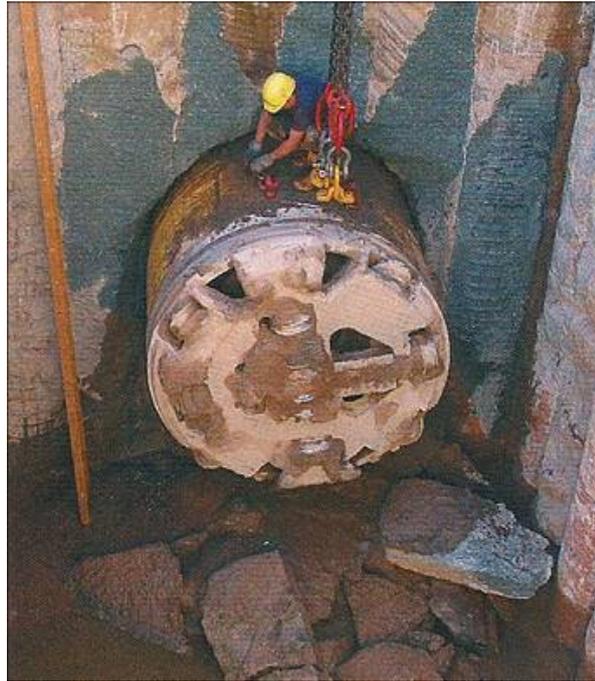


Foto 19 – Outbreak do Slurry Shield no Poço de Chegada

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.