

ATENÇÃO AOS MICROTÚNEIS!

Beware of Microtunneling!

por

MANUEL DE MATOS FERNANDES*

RESUMO — Definem-se microtúneis e salienta-se a possibilidade de com eles se instalarem condutas e cabos subterrâneos sem recorrer à abertura de valas a céu aberto. Apresentam-se duas tecnologias muito divulgadas na sua construção e as respectivas características e potencialidades. Apontam-se as diversas vantagens dos microtúneis em relação aos métodos tradicionais. Discutem-se e sugerem-se medidas para o emprego de microtúneis em Portugal.

SYNOPSIS — Microtunneling is presented as a technique for the underground installation of pipes and cables without the recourse to trenches. Two widely used microtunneling technologies are described. Several advantages of microtunneling over traditional methods are identified. Suggestions are made for the introduction of microtunneling in Portugal.

1 — O QUE SÃO OS MICROTÚNEIS

Até muito recentemente (digamos, 10 anos) os diâmetros dos túneis estavam limitados pelas dimensões que permitissem o acesso humano, que era indispensável para a sua construção. Isso era válido não só para os túneis escavados manualmente ou por processos rudimentares, mas também para os construídos com recurso às modernas tuneladoras.

Por tuneladoras designam-se as máquinas que permitem a escavação do túnel em secção total e que de forma coordenada desempenham as seguintes operações: i) o desmonte do maciço; ii) o suporte provisório das paredes e da frente da escavação; iii) a condução dos escombros até à retaguarda; iv) a colocação do revestimento definitivo.

Por microtúneis são em geral designadas as obras subterrâneas de grande desenvolvimento linear de diâmetro inferior a 900 mm, valor abaixo do qual se admite como impraticável o acesso humano.

No Quadro I mostram-se, a título de exemplo, as dimensões dos túneis acessíveis regularmente definidas na Alemanha. O Quadro II inclui, por sua vez, uma classificação dos túneis quanto ao diâmetro, classificação essa que reúne largo consenso entre os especialistas.

Os microtúneis utilizam-se essencialmente como alternativa às valas escavadas a céu aberto para instalação de condutas de águas, gás, cabos de telecomunicações, etc., e são construídos com recurso a equipamentos que resultaram da miniaturização das tuneladoras, dotados de controlo e guiamento remotos de grande precisão.

(*) Doutor em Engenharia Civil, Professor Associado da Faculdade de Engenharia do Porto.

QUADRO I

Comprimento (m)	Forma da Secção		
	Circular	Rectangular	
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)
<50	800	800	600
>50	1000	1000	600

QUADRO II

	Diâmetro (mm)
Microtúneis	$\phi < 900$
Minitúneis	$900 < \phi < 2800$
Túneis	$2800 < \phi$

Os microtúneis distinguem-se assim da técnica (mais antiga) da cravação horizontal de canalizações com deslocamento do terreno envolvente pelos quatro seguintes aspectos fundamentais:

- i) pela grande diversidade de condições geotécnicas em que são possíveis (desde solos muito brandos aos maciços rochosos);
- ii) pelo comprimento susceptível de ser construído de uma só vez (da ordem das centenas de metros);
- iii) pela gama contínua de diâmetros utilizados, desde os mais reduzidos (da ordem dos 100 mm) até aos visitáveis;
- iv) pela grande precisão de instalação, quer em nível quer em planta, que com eles se consegue.

2 — PORQUE APARECEM OS MICROTÚNEIS

Vários factores contribuíram para o aparecimento deste novo tipo de obra geotécnica, já que é disso (e não propriamente de uma nova tecnologia) que se trata.

Em primeiro lugar, está a grande dependência da vida moderna em relação às redes de infraestruturas de águas, esgotos, gás, electricidade e telecomunicações, a maior parte das quais, em particular nos centros urbanos, é constituída por canalizações e cabos subterrâneos de reduzido diâmetro. A propósito, vale a pena citar um relatório recentemente publicado no Reino Unido no qual se estima que os cerca de 21 milhões de propriedades são servidos por 1 600 000 km de tubos e cabos através de 97 milhões de ligações individuais. O aumento da rede e a respectiva manutenção implicam ainda cerca de 20 000 km anuais de novos trabalhos e cerca de 1,5 milhões de poços e valas em ruas e estradas. O mesmo relatório calcula em 600 000 km o comprimento total anual das escavações em vala no Ocidente, correspondendo a um custo global da ordem dos 3000 milhões de contos [1].

Estas escavações, ainda que muito pouco profundas, causam enormes transtornos nos centros urbanos e nas artérias mais importantes, em especial no condicionamento do tráfego, naturalmente muito intenso nesses locais. Não raro, obras de custos directos extremamente modestos acarretam importantíssimos custos sociais pelos atrasos e perturbações que ocasionam a muitos milhares de pessoas, por vezes durante períodos muito prolongados.

Esta questão constituiu poderoso incentivo ao uso de métodos alternativos de instalação, reparação e substituição das redes de condutas sem escavações a céu aberto. O notável progresso experimentado pela tecnologia para abertura de túneis veio oferecer solução para o problema.

Para o efeito, o primeiro passo foi o desenvolvimento há cerca de três décadas das tuneladoras para abertura de túneis superficiais em solos brandos, como argilas moles e areias soltas abaixo do nível freático, minimizando as deformações do maciço envolvente, nomeadamente os assentamentos na superfície do terreno. O segundo passo tecnológico para os microtúneis foi dado há cerca de 10 anos e consistiu essencialmente na miniaturização das máquinas acima citadas e no apuramento do seu controlo e guiamento remotos utilizando, em geral, raios laser.

O aperfeiçoamento e a utilização de microtúneis têm crescido incessantemente ao longo desta última década, sendo de registar que é no Japão (muito em especial), Alemanha e Reino Unido que o seu emprego e o domínio da respectiva tecnologia mais se concentram.

3 — PRINCIPAIS TECNOLOGIAS EMPREGUES

3.1 — Aspectos comuns

Procurará resumir-se neste ponto as principais tecnologias conhecidas para a construção dos microtúneis.

Em comum aquelas apresentam os seguintes aspectos (Fig. 1):

1 — um poço de partida para onde a microtuneladora é descida e colocada em posição;

- 2 — um poço de chegada onde a máquina é recolhida finda a execução do túnel;
- 3 — no primeiro poço, na parede oposta ao microtúnel, um paramento para apoio dos macacos com os quais são sucessivamente empurrados os elementos de conduta à medida que a escavação progride;
- 4 — um “escudo” (“shield”, na bibliografia de língua inglesa) na frente da escavação, responsável pelo desmonte do maciço e, quando necessário, pela estabilização provisória do terreno imediatamente envolvente;
- 5 — um sistema de remoção dos escombros (não representados na figura);
- 6 — um sistema de guiamento em planta e em nível.

É de notar que os poços de partida e de chegada são em geral aproveitados posteriormente como caixas de visita.

As diferenças entre os vários equipamentos actualmente disponíveis referem-se fundamentalmente ao processo de desmonte e estabilização da frente, por um lado, e ao processo de remoção dos escombros, por outro.

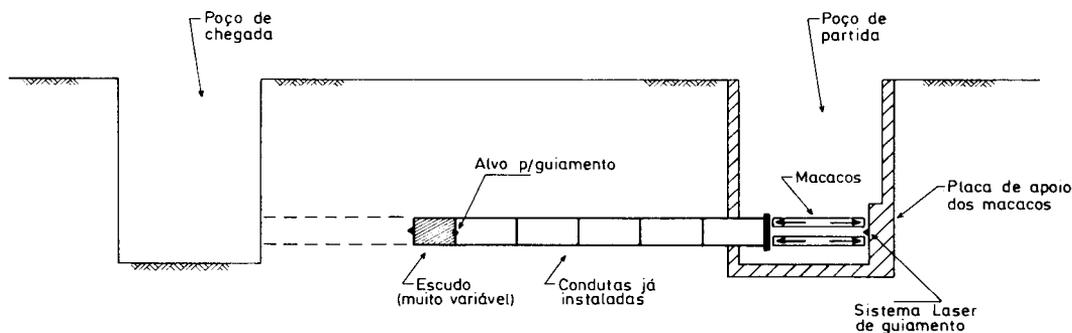


Fig. 1 — Esquema geral da construção de um microtúnel

3.2 — Uma tecnologia europeia

Descreve-se neste ponto uma tecnologia desenvolvida através de uma “joint-venture” germano-britânica para aplicação no Reino Unido [2].

O esquema mostra-se na Fig. 2, apresentando como aspecto curioso o facto de praticamente todo o trabalho se fazer ao abrigo de um contentor (de $6 \times 2,5 \text{ m}^2$), situado sobre o poço de partida, que aloja o gerador de energia e o computador e painel de comando e que nos períodos de interrupção do trabalho serve de protecção de todo o equipamento e de sinalização da obra.

A equipa de trabalho é constituída apenas por quatro elementos:

i) o operador situado no interior do contentor, encarregado do controlo de todo o equipamento e em especial do guiamento do escudo; ii) dois operários no interior do poço; iii) um quarto operário, à superfície, que prepara os elementos da conduta e remove os escombros.

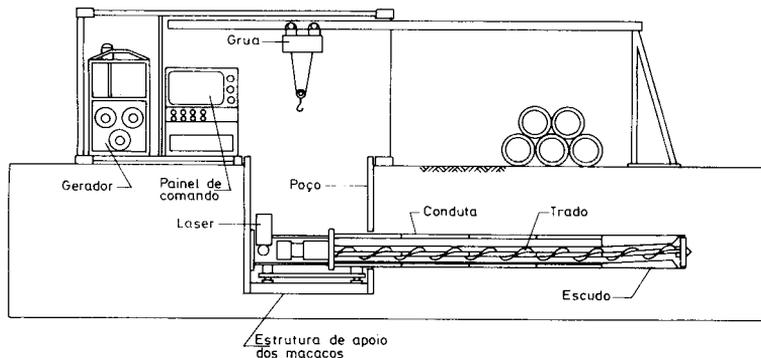


Fig. 2 — Esquema geral de uma das tecnologias europeias para microtúneis

A microtuneladora é constituída pela cabeça ou escudo e pelo sistema de condução dos escombros desde a frente até ao poço de partida. A cabeça apresenta na face da frente um disco dotado de um sistema de dentes e orifícios. A rotação do disco acompanhada do impulso dos macacos desmonta o solo e fá-lo penetrar para o interior do escudo, após o que é conduzido até ao poço por meio de um trem de trados devidamente entubado e que passa através dos elementos de conduta já instalados.

O guiamento é conseguido accionando três macacos dispostos no seu interior em pontos da secção transversal afastados de 120° . Quando a máquina se afasta da trajectória fixada, um sinal electrónico é enviado pelo alvo laser para o computador, o qual acciona automaticamente os macacos de forma a corrigir a posição do escudo.

O Quadro III mostra algumas das características e capacidades do equipamento descrito.

Não obstante a indicação do quadro, o autor que apresenta este equipamento acrescenta que na maior parte das aplicações as reacções necessárias à instalação das tubagens foram bastante modestas, raramente excedendo as 100 tf para troços da ordem dos 80 m. Nos solos coesivos, quanto mais elevada é a sua resistência, menores reacções são necessárias; as reacções mais elevadas corresponderam a maciços arenosos soltos e secos.

QUADRO III

Característica	Diâmetros	
	250 a 400 mm	450 a 600 mm
Comprimento de cada troço (m) (*)	80	80
Diâmetro mínimo do poço (m)	2,0	2,55
Máxima reacção (kN)	1200	2660
Máximo momento torsor (N.m)	5000	15000
Curso dos macacos (mm)	200	200

(*) Dependente das condições do maciço

3.3 — Uma tecnologia japonesa

Uma das tecnologias mais avançadas neste domínio é de origem japonesa e esquematiza-se na Fig. 3. A sua versatilidade é muito grande, permitindo a realização de microtúneis desde os solos argilosos moles e areias soltas às rochas brandas. São de salientar a sua capacidade para a construção em terrenos aquíferos até profundidades da ordem dos 30 m abaixo do nível freático, bem como em maciços muito grosseiros e (ou) heterogêneos com pedras de dimensões até cerca de 30% do diâmetro do microtúnel [3].

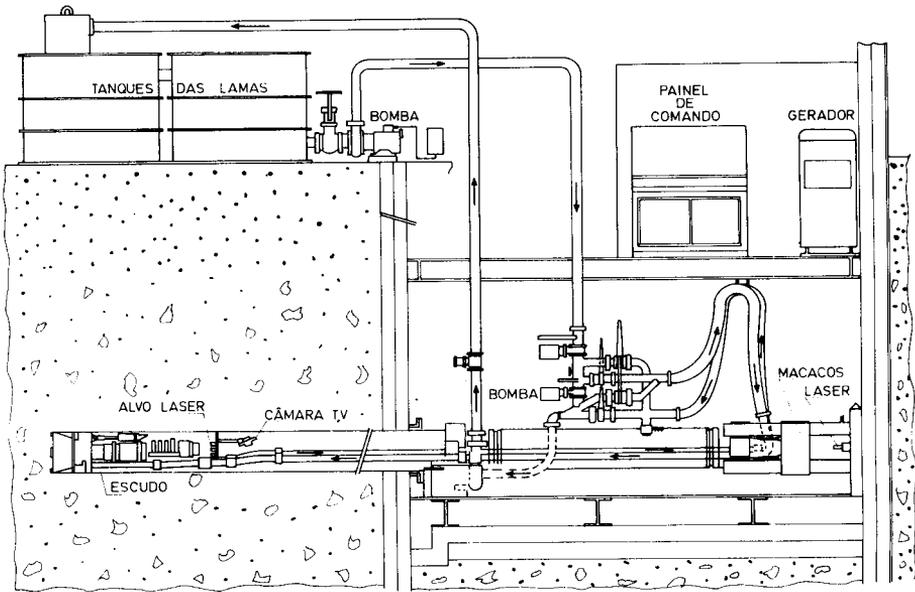


Fig. 3 — Esquema geral de uma tecnologia japonesa para microtúneis

Estas potencialidades derivam de duas diferenças fundamentais em relação à tecnologia anteriormente descrita.

A primeira delas diz respeito ao emprego de um fluido estabilizador na frente do túnel, cuja pressão é estabelecida de modo a equilibrar a da água freática. O fluido é feito circular desde um tanque à superfície do terreno, onde é preparado, até à frente do túnel, regressando à superfície através de um circuito independente e trazendo consigo os escombros da escavação até um outro tanque. Neste é feita a separação dos detritos e purificado o fluido, que é então transferido para o primeiro tanque para ser reenviado para a frente e assim sucessivamente. Em solos grosseiros limpos (sem finos) o uso de bentonite é em geral necessário de modo a aumentar o peso específico e a viscosidade do fluido. Quando o solo a escavar possui finos, estes em geral dispensam aditivos já que se misturam com a água, com os consequentes efeitos benéficos, em particular a lubrificação da face da escavação (facilitando a rotação da cabeça da máquina) e o incremento da capacidade de transporte até à superfície da fracção mais grosseira dos escombros.

Passando ao segundo aspecto específico desta tecnologia, ele consiste na já referida possibilidade de escavar maciços com pedras de dimensões não muito menores do que o diâmetro do microtúnel. Para isso a cabeça cortante, cujo esquema se mostra na Fig. 4, consiste numa peça cônica dotada de 3 pás na extremidade, que roda movida por uma engrenagem elíptica. Esta produz durante a rotação uma excentricidade do cone que tritura os elementos de maiores dimensões entre aquele e a parede interior cilíndrica do escudo. Os fragmentos quando atingem as dimensões apropriadas penetram então através de um orifício para o circuito que os conduz, juntamente com o fluido estabilizador, até à superfície do terreno.

O Quadro IV apresenta algumas das características deste equipamento.

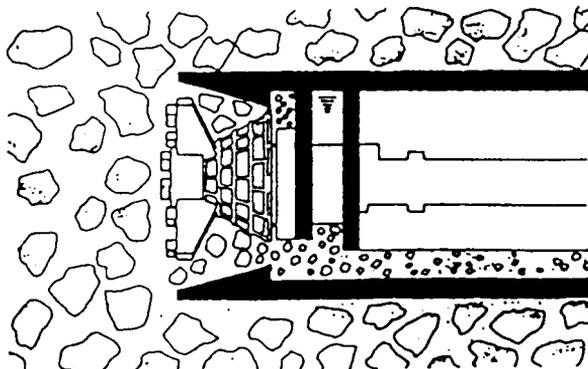


Fig. 4 — Cabeça da microtuneladora da figura anterior

QUADRO IV

Diâmetro (mm)	360 a 2140
Comprimento de cada troço (m) (*)	300
Diâmetro mínimo do poço (m)	3,0
Máxima profundidade abaixo do nível freático (m)	30
Máximo diâmetro das pedras	1/3 do diâmetro do túnel
Resistência máxima à compressão das pedras a triturar (MPa)	200

(*) Dependente das condições do maciço

3.4 — Sistema de guiamento para troços não rectilíneos

A Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT), empresa pública japonesa, desenvolveu e possui a sua própria tecnologia para a construção de microtúneis de diâmetros entre 350 e 450 mm para instalação de redes de cabos de fibras ópticas [4].

Em relação às tecnologias anteriores, a característica mais interessante desta última é a possibilidade de construção de troços curvilíneos com raio igual ou superior a 150 m. Tal é

conseguido a partir de um sistema de guiamento diferente dos anteriores e que se esquematiza na Fig. 5.

A posição em planta é determinada usando o método da indução magnética: o campo magnético emitido por uma bobina montada no interior da microtuneladora é detectado por uma outra situada na superfície do terreno. Por sua vez a posição vertical é determinada por meio da diferença de pressões em dois sensores, situados um na superfície e outro no interior da máquina.

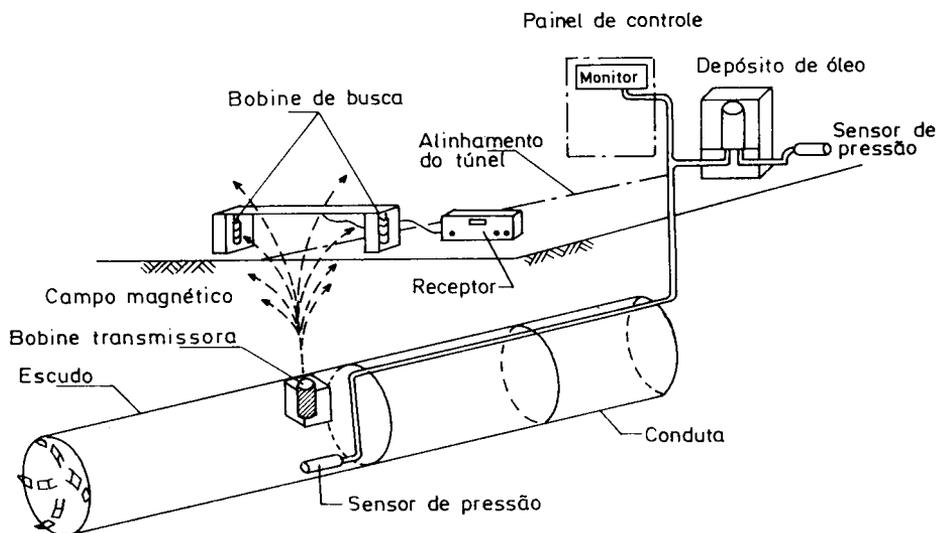


Fig. 5 — Esquema de guiamento desenvolvido pela NTT para possibilitar a construção de troços curvilíneos

3.5 — Ligações aos edifícios. Esquema de implantação

Em conjunto com a aplicação de qualquer das tecnologias descritas ou outras similares para a instalação das condutas principais sob os eixos viários, nota-se que as ligações individuais aos edifícios podem ser realizadas, como mostra a Fig. 6, irradiando das caixas de visita, ao contrário do método tradicional que consiste em instalá-las perpendicularmente à conduta principal [5]. Naturalmente, as ligações irradiantes são construídas sem recurso a valas, utilizando tecnologias normalmente mais simples do que as anteriormente apresentadas, em particular a cravação das condutas com deslocamento de terreno, devido aos menores diâmetro e comprimento das mesmas.

Para além da óbvia vantagem em reduzir drasticamente as escavações a céu aberto, o método ilustrado na Fig. 6, que terá sido aplicado pela primeira vez na cidade de Berlim, apresenta ainda as vantagens de garantir que as ligações individuais se mantêm facilmente inspeccionáveis e reparáveis, de reduzir ou mesmo eliminar as zonas mais críticas em termos de inspecção e manutenção na conduta principal, e ainda a possibilidade de reparar e substituir esta sem necessidade de afectar e substituir as ligações individuais.

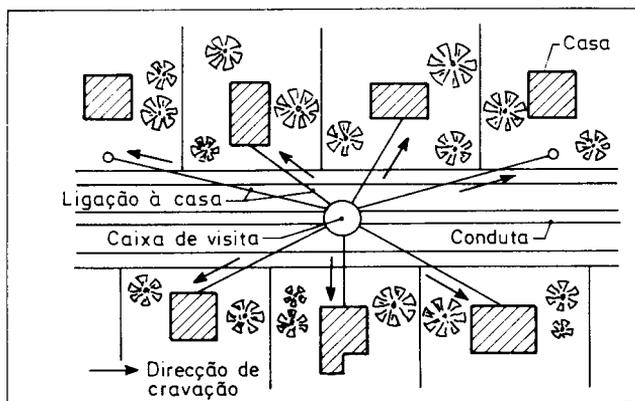


Fig. 6 — Ligações da conduta principal aos edifícios a partir da caixa de visita (sem recurso à abertura de valas)

4 — QUE MAIS VANTAGENS OFERECEM OS MICROTÚNEIS

Como se salientou em 2, os microtúneis apresentam a enorme vantagem de evitarem os incómodos ocasionados pela abertura de valas, que em muitas situações têm custos sociais extremamente elevados, em especial nas importantes artérias e vias dos centros urbanos (alterações ao trânsito, barulhos, vibrações, poeiras, etc.). Embora só este facto pudesse constituir factor decisivo em muitos casos para a adopção da técnica em causa, esta apresenta ainda várias outras vantagens que de forma alguma são desprezáveis.

Registe-se, em primeiro lugar, que com os microtúneis se evita a destruição e a posterior (e sempre delicada) reposição dos pavimentos. Por outro lado, as alterações do estado de tensão e deformação no maciço são muito mais modestas, minimizando assim possíveis deslocamentos das fundações de estruturas e edifícios vizinhos.

O rigor conseguido não só na posição em planta mas também na inclinação das condutas instaladas com os microtúneis é muito grande (erros da ordem dos 25 mm em 100 m), o que é particularmente importante nas redes de águas e esgotos. Note-se que rigor semelhante é muito difícil de obter com os métodos tradicionais, entre outras razões porque as operações de aterro abaixo e acima da conduta são em regra susceptíveis de provocar alterações na inclinação final daquela.

Quando se usam microtúneis, já que o maciço envolvente da conduta é o maciço natural, os esforços longitudinais de flexão e corte serão praticamente nulos, o que não acontece com os processos tradicionais, devido às irregularidades e heterogeneidades quer do material depositado para dar fundação à tubagem, quer daquele que é aterrado sobre ela.

A profundidade passa a afectar de forma muito pouco significativa o custo da obra, o que permite a instalação de novas redes de infraestruturas abaixo das já existentes quando o espaço em planta ainda disponível é reduzido. Por outro lado, a instalação a maiores profundidades torna menos provável a intersecção de condutas já existentes, logo a sua danificação.

De uma forma geral, os microtúneis permitem obter ritmos de construção em média mais rápidos, não só devido à mecanização que lhes é inerente mas também, indirectamente, devido à qualidade das empresas empreiteiras. Relacionado com este último aspecto, pode acrescentar-se o facto de em regra as obras passarem a envolver mão-de-obra e materiais de superior qualidade, o que pode conduzir à redução dos custos de manutenção.

5 — CONCLUSÃO

Permita-se ao autor concluir com um repto (ou apelo). Às entidades municipais, na sua qualidade de licenciadoras de obras, para que passem a exigir a aplicação das técnicas actualmente disponíveis para evitar a abertura de valas nos casos em que estas de forma manifesta afectem os utentes das zonas e artérias abrangidas! Às nossas empresas da especialidade, que noutros tipos de obras de forma rápida e competente assimilaram as modernas técnicas construtivas, para que estejam atentas aos microtúneis! Muito especialmente, aos donos de obra (órgãos de administração central, regional e municipal, companhias de telecomunicações, gás, electricidade, etc.) para que manifestem abertura a esta nova técnica e tomem medidas que permitam incentivá-la e viabilizá-la! Na abertura de um recente colóquio internacional sobre o tema, um dos conferencistas sublinhava a propósito o papel fundamental que na nossa época desempenham certos decisores na promoção e desenvolvimento de técnicas novas [6].

Vale a pena concluir citando o excelente exemplo do Programa “Seine Propre”, promovido pelo Conseil Général du Val-de-Marne, entidade que agrupa diversos municípios da região de Paris, e que envolve a construção de uma rede de 25 km de colectores subterrâneos de esgotos e águas pluviais, em cuja construção têm sido empregues com assinalável sucesso modernas micro e minituneladoras.

Para mobilizar as empresas de obras públicas especializadas em trabalhos subterrâneos, aquele conselho estabeleceu uma estratégia assente em quatro pontos principais [7]:

- 1) lançar a concurso troços importantes para facilitar a amortização dos equipamentos e para permitir economias de escala na instalação dos estaleiros;
- 2) normalizar a geometria das obras para que os equipamentos fossem reutilizáveis; para isso foi fixado um único diâmetro da secção na maior parte do programa, conseguindo-se as variações de caudais e de capacidade das obras intervindo na inclinação das condutas (a normalização visa ainda facilitar a exploração futura das obras, nomeadamente através da utilização de *robots* na inspecção e limpeza);
- 3) estimular a iniciativa e a inovação das empresas construtoras lançando concursos largamente abertos a variantes.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho resultou da participação do autor no Colóquio sob o tema “Tunnels et Micro-Tunnels en Terrain Meuble. Du Chantier à la Théorie”, realizado em Paris em 1989 pela École Nationale des Ponts e Chaussées, e nas visitas técnicas integradas no mesmo.

Aquela participação foi suportada pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica através do Projecto “Desenvolvimento e Aplicação de Modelos Numéricos em Geotecnia: Escavações Subterrâneas e a Céu Aberto e Barragens de Aterro”, pelo que aqui se deixam expressos os agradecimentos àquela entidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FLAXMAN, E.W. (1989) — *Trenchless technology and the international society*. Actes du Colloque “Tunnels et Micro-Tunnels en Terrain Meuble. Du Chantier à la Théorie”, pp. 160-166, Presses de L'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- [2] NICHOLAS, P.M. (1989) — *Microtunneling — A system approach*. Ibidem, pp. 183-190.
- [3] COLLIER, P.J. (1989) — *Construction of small diameter tunnels by use of automated slurry tunneling machines*. Ibidem, pp. 152-159.
- [4] MIYATAKE, M. e MORIVA, H. (1989) — *Microtunneling system with long distance and highly accurate driving*. Ibidem, pp. 167-174.
- [5] STEIN, D. (1989) — *Techniques de construction des micro-tunnels*. 2e Partie. Ibidem. pp. 513-521.
- [6] SCHLOSSER, F. (1989) — Intervenção na Sessão de Abertura. Ibidem, pp. 437-438.
- [7] MERMET, M. (1989) — Intervenção na Sessão de Abertura. Ibidem, pp. 455-459.