

OFERECER  
VICTOR F. B. DE MELLO

A EVOLUÇÃO DAS ESTACAS TUBU-  
LARES METÁLICAS NO BRASIL

VICTOR F. B. DE MELLO

Out. 1979

VICTOR F. B. DE MELLO & ASSOCIADOS S/C LTDA.  
engenheiros consultores: civil, geotecnia  
AV. FARIA LIMA, 1058 - cj. 32  
CEP 01452 - SÃO PAULO  
TELS. 280-8229 - 852-9260

I CONGRESSO ABCEM

22 a 24 de Outubro de 1979  
CENTRO EMPRESARIAL DE SÃO PAULO

## A evolução das estacas tubulares metálicas no Brasil.

### 1. Introdução

Motivos diversos que adiante resumimos levariam inexoravelmente a um reconhecimento do grande número de situações em obras civis de grande porte em que a solução técnica e economicamente otimizada imporia o emprego de estacas de aço, e, entre elas, a estaca tubular, explorando as vantagens bem salientes de um elemento estrutural dos mais nobres disponíveis. O difícil é expor o óbvio: de que a despeito do pleno reconhecimento das vantagens dos perfis metálicos na superestrutura ainda seja insignificante, em nosso País, o emprego de estacas metálicas, isto é, o conceito multimilinar (viz. palafitas etc.) de estender a "coluna" da superestrutura, para atravessar as camadas superiores de solos inconsistentes até encontrar apoio em profundidade. Poderíamos sem muito esforço de imaginação visualizar "camadas" de ar e de água, e as camadas subjacentes de solos moles, como apenas meios físicos irmãos, extremamente insuficientes perante as nossas estruturas, isto é, formas funcionais criadas, cujas de-formações seriam indesejáveis, inaceitáveis, intoleráveis, ou mesmo catastroficamente anulantes da obra.

Obviamente terá sido exclusivamente por motivo de grave insuficiência de disponibilidades, que não se ampliou perceptivelmente em nosso País o uso de estacas de aço, e estacas tubulares. Em comparação o Japão, com uma população análoga, e sem nenhum favorecimento Natural que o justifique, emprega no momento mais de 700.000 toneladas por ano de estacas tubulares soldadas helicoidalmente.

Precisamos, porém, enfrentar o óbvio, porque óbvia é a tendência de autoproteção do Homo em justificar a perpetuação de seus sistemas, atacando as tendências inexoráveis de evolução. Ocorre-me citar uma afirmação do famoso engenheiro inventor Dr. Land, Presidente da Polaroid Corporation, que em 1947 teve a oportunidade de ouvir numa palestra em que descreveu uma sua recente invenção. Finda a palestra, um dos professores perguntou-lhe como é que conseguia ter tanto êxito com invenções. A resposta foi limpa: "são duas as componentes de qualquer invenção: primeiro, dar brida solta a meus sonhos, imaginando o que mais gostaria que pudesse realizar: a seguir, qualquer que seja o sonho, por-me a trabalhar diligente e incessantemente para transformar esse sonho em realidade." Talvez tenha sido por um tal "sonho", apoiado por um cliente de visão, que se inventou a solução da construção do Edifício Garage América (Rua Riachuelo, São Paulo) empregando estacas de aço de pares  $\Pi$  soldados de perfis I para subir com a superestrutura enquanto simultaneamente se descia executando os sete porões: esta solução  $\Pi$  desconhecida no resto do mundo, e entre nós gerada exclusivamente por motivo de inexistência de perfis H na época, passou a perpetuar-se como uma das soluções

mais frequentes nas obras dos Metros.

## 2. Informações genéricas sobre estacas de perfis metálicos.

2.1- Perfis metálicos são elementos estruturais nobres, de grande capacidade portante (em relação às demais estacas de deslocamento) e especialmente favoráveis para grande diversidade de solicitações, transversais, de tração, de torção etc.

2.2- Perfis metálicos podem ser cravados para comprimentos grandes e variáveis com facilidade através de solda; assim minimizam problemas de manipulação, levantamento e cravação de grandes comprimentos e pesos, e permitem também reaproveitamento das partes superiores excedentes das estacas cuja penetração tenha sido impedida por "nega".

2.3- Como todas estacas cravadas, são fiscalizadas em canteiro através de nega (s) sendo assim tecnicamente válido e expedito o acompanhamento da cravação.

2.4- Entre as estacas maciças cravadas, que penetram provocando deslocamento do solo, as de perfis metálicos são classificadas como de deslocamento mínimo, sendo por isto recomendadas para utilização em obras nas quais se visa minimizar os problemas de interferência (levantamento ou deslocamento horizontal) com estacas ou edificações adjacentes.

2.5- Por outro lado, como toda estaca de deslocamento elas podem causar o aumento da capacidade do terreno na qual é cravada e portanto em tais solos "compactáveis dinamicamente" aumenta a capacidade portante do mesmo solo, em comparação com qualquer estaca escavada.

2.6- O material da estaca (aço no caso) é inspecionado antes da cravação e portanto com vantagens em relação a i) estacas escavadas, que devido à concretagem in situ não permite fiscalização ii) estacas premoldadas de concreto que podem estar mal curadas, ou danificadas no transporte, levantamento ou cravação.

2.7- A cravação de perfis metálicos pode ser equacionada sem preocupação quanto ao lençol freático.

2.8- Aproveitando da grande capacidade de carga por estaca, e da possibilidade favorável de sua cravação inclinada, ressalta-se a grande vantagem de uma minimização do bloco de capeamento de um grupo de estacas.

## 3. Comparação entre perfis tubulares e perfis H.

### 3.1- Momento de inércia para mesmo peso de aço.

Os perfis tubulares apresentam, para a mesma seção transversal de aço, maior momento de inércia e portanto maior rigidez à flexão, torção e flambagem. Ressalta-se que flambagem a que nos referimos não é durante a utilização do perfil enterrado sob sua carga de trabalho, e sim flambagem durante a cravação decorrente de fatores diversos, como por exemplo algum desalinhamento que possa ocorrer na estaca devido a um núcleo mais rígido de subsolo. Adiante mencionamos o problema da flambagem em tre-

chos não enterrados da estacaria pronta, em obras portuárias, pontes, plataformas oceânicas, etc.

Durante a cravação dinâmica de estacas pode também ocorrer a superposição de duas ou mais ondas consecutivas de choque. Esta superposição provoca vibrações e danos no contacto solo-estaca e portanto no posterior comportamento da estaca. O maior momento de inércia da estaca tubular faz com que as vibrações sejam menores e portanto os danos sejam minimizados.

Estacas tubulares apresentam momento de inércia igual em relação a qualquer eixo, sendo portanto indicadas para locais em que os carregamentos horizontais variam em direção e sentido (efeitos sísmicos; efeitos de marés). Em obras mais simples esta vantagem se reflete numa maior facilidade de locação do perfil tubular

### 3.2- Estacas tubulares de ponta aberta ou ponta fechada

As estacas tubulares podem ser abertas (open-end) ou de ponta fechada (solid point). Uma rápida comparação indica:

3.2.1- As abertas apresentam vantagens econômicas quando comparadas com tubulões de ar comprimido.

3.2.2- As abertas são de cravação mais rápida e expedita. A energia de cravação WH necessária para cravar uma estaca aberta chega a ser 60% do equivalente para uma estaca de ponta fechada do mesmo diâmetro.

3.2.3- As abertas apresentam maior área disponível para desenvolvimento de atrito lateral - os perímetros interno e externo.

As estacas tubulares abertas têm também, para a mesma seção transversal de aço, uma maior área lateral do que as estacas H. São portanto, para o mesmo comprimento cravado e para a mesma nega de cravação, capazes de ter maior carga de trabalho do que as estacas H.

3.2.4- As de ponta fechada são usualmente recomendadas quando se deseja encher de concreto, afim de aproveitar para uma maior carga de trabalho tendo em conta a contribuição tanto da seção de concreto cintado como a do aço. Requerem porém exame mais cuidadoso quanto a problemas de cravação e de suas consequência nos solos atravessados.

### 3.3- Vantagens especiais da estaca tubular de ponta aberta

Estacas tubulares abertas permitem escavação interna por lavagem ou qualquer outro método e assim permitem:

3.3.1- Que o trecho embuchado seja aliviado, permitindo assim a continuação da cravação para atingir maiores comprimentos caso o projeto assim especificar que.

3.3.2- Que seja verificado o prumo e a integridade da estaca - também fator importante em projetos especiais.

3.3.3- Permitem outrossim o emprego de uma vantagem muito espe

cial atinente à grande invenção implícita na estaca tipo Franki, de criar um tampão interno de concreto e finalizar a cravação-penetração por arraste-tração da estaca. Na estaca Franki corrente o tampão de concreto sobre o qual bate o pilão é constituído no fundo do tubo, todo o tubo entrando por tração: em estaca tubular genérica tal recurso poderá ser empregado convenientemente a meio caminho, apenas quando a resistência à penetração fique demasiada. Assim elimina o prefuro e finaliza com danos mínimos ao topo do aço, e com concretagem excelente do interior no topo da estaca.

#### 3.4- Cravabilidade de estacas metálicas

A cravabilidade das estacas metálicas é obviamente função do tipo de terreno. Alguns tipos de terreno podem favorecer estacas H que por ter maior capacidade cortante atravessam melhor núcleos mais rígidos de subsolo (por exemplo alguns tipos de solos residuais de granito) enquanto que as estacas tubulares poderiam sofrer amassamento caso atingissem tais núcleos. Mas na grande maioria dos casos não existe inconveniente na cravação de estacas tubulares. As estacas H estão, porém, mais sujeitas a curvamento e desvio.

#### 3.5- Otimização da seção estrutural funcional

Perfis tubulares utilizados como estacas permitem, caso o projeto comporte, uma otimização técnica de se diminuir a espessura do tubo com a profundidade de visto que a carga de projeto na estaca se refere à carga na cota de arrasamento superior da estaca e que, por contribuição do atrito lateral, esta carga diminui com a profundidade. Assim dependendo do número de segmentos em que a estaca é subdividida e também da porcentagem de carga total que chega à ponta da estaca, pode-se chegar a substancial redução de seção de aço, salvo em casos de terreno superior muito inconsistente em que valesse praticamente o conceito de "estaca de ponta". Na grande maioria de estacas todos os trabalhos modernos demonstram ser muito maior do que se suspeitava a resistência de atrito lateral em comparação com a resistência de ponta.

Obviamente estudo comparativo de custos deverá indicar validade em cada obra.

Particular atenção por motivos diversos (estruturais, e de antecipação perante corrosões etc...) deve ser dada à vantagem de enchimento do topo da estaca tubular com concreto tipo Franki, inclusive, se necessário, com a gaiola de ferros de armação interna.

#### 4. Capacidade de carga de estacas tubulares

A maneira pela qual se dá a transferência de carga em estacas tubulares abertas não foi totalmente teorizada até o presente momento. Investigações de campo e em protótipo mostram que a capacidade de carga é superior ao que se poderia prever pelas contribuições individuais do atrito lateral e da base e não raro se compara com tubos de ponta fechada.

Isto acontece devido ao "núcleo" de solo embuchado formado dentro do tubo durante a cravação. Este "núcleo", dentro de condições específicas, estará

compactado a um grau tal que permita à estaca comportamento analogo ao de tubo de ponta fechada. Mesmo assim esta contribuição é, por enquanto, ainda difícil de quantificar, pois a compacidade e a extensão deste núcleo de tamponamento é ainda difícil de quantificar sem maiores estudos.

Além disto merece estudo especial a previsão do parcelamento de carga total nas contribuições de atrito lateral e de carga de ponta, tal como acontece em qualquer tipo de estaca.

Inúmeros laboratórios já pesquisaram o assunto e para solos arenosos ( $c' = 0$ ) modelos reduzidos foram ensaiados e quando comparados com estacas similares de ponta fechada mostraram que com comprimentos cravados maiores que  $20 D$  a capacidade de carga das estacas abertas se torna essencialmente similar às de ponta fechada.

Testes mostram também que a altura da coluna de terra dentro dos tubos não acompanha o nível externo do terreno a partir de comprimentos cravação ( $L$ ) de  $L = 5 D$  e outrossim a partir de  $L = 8 D$  esta coluna interna pouco aumenta em altura, causando assim a compactação da ponta do núcleo embuchado.

Continuando a tratar de areias puras, verificou-se em laboratório que já um comprimento embuchado de altura interna de  $2 D$  é muito compactado e que significativa transferência de carga por atrito lateral interno (da estaca para o solo) se dá através dele. A coluna de solo acima deste  $2 D$ , apesar de não particularmente compactada, em muito contribue para a capacidade de carga da estaca.

As estimativas de carga de trabalho para diversos diâmetros de tubos depende obviamente do tipo de solo porém, admitindo que a estaca possa ser cravada até um comprimento tal que desenvolva reação adequada de atrito e de ponta de solo (refletida na "nega") podem ser fixados valores correspondentes ao emprego mais eficiente da estaca. Para negas correntes de aproximadamente  $3 \text{ mm/golpe}$  pode-se prever como primeira idéia as grandes cargas de trabalho assinaladas em tabelas correntes dos fornecedores.

4.1- Tais estimativas são válidas como primeira indicação. Além do fato que o acúmulo de informações servirá para aperfeiçoar tal informação a capacidade de carga de trabalho de uma estaca é sempre variável de local para local, sendo influenciada além da geologia, nível d'água, pelo operador de cravação, equipamento de cravação enfim inúmeros fatores não quantificáveis. Em particular o que muito influe na fixação apropriada de carga de trabalho é o recalque sob a carga em questão: as estimativas supra admitem um recalque da ordem de  $10 \text{ mm}$  sob a carga do trabalho.

4.2- Tais previsões de carga são estáticas e portanto considera-se que tensões dinâmicas de cravação não tenham acarretado danos ou problemas às estacas; também admite-se que a fundação não tenha que considerar carregamentos dinâmicos. Empregando aços típicos de  $40$  a  $50 \text{ kg/mm}$  não tem havido problemas com tensões de cravação.

4.3- O problema de carregamento indireto da estaca através de

atrito negativo pode ser resolvido para as estacas metálicas pelos mesmos expedientes utilizados nas estacas premoldadas, e até com facilidade bem maior.

Assim pode-se:

4.3.1- Aumentar a seção do perfil para levar em consideração este acréscimo de carga, ou ter em conta o atrito negativo como fator que provocará assentamento adicional, desde que ainda sem levar as estacas à condição de rutura.

4.3.2- Através de pinturas redutoras da aderência (ex. betuminosas especiais) impedir que grande parte deste carregamento se transmita à estaca.

### 5. Corrosão

5.1- Corrosão é um fenômeno destrutivo de um metal ou liga, oriundo de reações químicas, fenômenos eletrólíticos e de dissolução. As composições físicas e químicas de um solo, bem como seu pH, temperatura, aeração e a variação de sua resistividade contribuem para a agressividade deste solo. A resistividade é o índice universalmente aceito como indicador do potencial de corrosão de certo solo. Em certos casos há que distinguir entre a agressividade do solo, e a da água intersticial (água do subsolo).

5.2- É necessário e importante frisar que corrosão pode se dar das seguintes maneiras:

5.2.1- Em condições estáticas de lençol freático não existe remoção dos ions oriundos da corrosão das faces atacadas de um perfil metálico e portanto o fenômeno é de pequena consequência, decelerando rapidamente com o tempo após a criação de uma película corroida inicial.

5.2.2- Em condições de oscilação ou variação do lençol freático existe carreamento dos ions e portanto renovada capacidade de ataque químico da água circundante. Além disto, pode ocorrer a constante exposição de nova face do metal ao elemento corrosivo, se for também removida da face metálica a película corroida.

5.2.2.1- No caso de tal variação se dar em lamina d'água (plataformas oceânicas) os métodos de proteção com eficiente película protetora evitam quase que totalmente o problema.

5.2.2.2- No caso da variação se dar dentro do perfil de subsolo ou no caso de fundação sujeita a percolação d'água com velocidades significativas a corrosão assumirá proporções que exigem consideração e cuidados especiais.

5.3- Qualquer que seja a causa e a velocidade quando o fenômeno de corrosão ataca um perfil metálico ele causa um decréscimo de área transversal do elemento. Representa portanto um aumento de tensão transmitida e portanto, para a fundação em questão, será um elemento causador de incremento de recalques. Tais recalques serão em magnitude e em velocidade similares a recalques do tipo de rastejo, "creep" (compressão secundária) de solos e como tal podem ser equacionados e resolvidos pelos engenheiros, por serem muito lentos, com velocidade grandemente decrescente.

5.4- Os métodos disponíveis para a proteção de metais contra cor

rosão são conceitualmente:

5.4.1- Tratamento do meio no qual se dá o fenômeno - geralmente através de inibidores de reação;

5.4.2- Proteção eletroquímica - através da polarização catódica do aço;

5.4.3- Pinturas protetoras - a fim de isolar o metal do meio que o envolve.

Cada um dos processos citados tem inúmeras variações e foi utilizado com maior ou menor sucesso dependendo do solo e das águas.

5.5- Numa comparação direta entre os tipos de perfis sabemos que: no caso de eventual ataque corrosivo a seção tubular só tem como superfície a sua face externa enquanto que o perfil H todas as espessuras são atacáveis.

5.6- Cabe ressaltar que conjuntamente com um certo prejuízo à seção resistente estrutural (em geral fortemente superabundante) ocorre na maioria dos solos, pela troca catiônica no solo circundante transformado em ferruginoso, uma significativa melhora da aderência de atrito lateral nas estacas metálicas.

5.7- Ressalte-se também que ataques corrosivos tanto ao concreto quanto às armações de estacas de concreto, frequentemente são bem mais sérias do que nos casos de elementos metálicos. Tais situações se agravam acentuadamente em concretos fissurados e/ou micro-fissurados, condição que é quase rotineira em casos de estacas no trecho não enterrado.

#### 6. Facilidades construtivas.

Inúmeras são as facilidades construtivas de transporte e de manipulação de estacas metálicas, e entre elas, particularmente as tubulares. Mencione-se por exemplo para estacas tubulares a engenhosa solução de seu transporte por flutuação para casos de plataformas oceânicas; as facilidades de emenda tanto de fabrica como de canteiro por soldas etc...

#### 7. Fatores econômicos.

A principal crítica com que deparam as estacas tubulares de aço predomina no setor econômico, e é duplamente viciada. Primeiro, correlaciona-se com regiões em que não tem havido a disponibilidade nem o uso de tais estacas, sugerindo caracteristicamente a situação associada à frase "as uvas estão verdes". Segundo, associa-se a um custo por metro linear, que é índice viciado: o mínimo que deveria ser considerado é o custo por metro por tonelada de carga de trabalho. De verdade, mesmo este índice deixa de ser justo por não levar em conta as grandes vantagens técnicas e econômicas de que dispõe a obra conjugada fundação-estrutura, se ela for otimizada minimizando blocos de capeamento, admitindo trações nas estacas, etc...

Em resumo, finalizando o presente trabalho fazamos votos para que o óbvio se comprove, com um progresso inexorável na aplicação de estacas metálicas tubulares em nossas grandes obras. Já nos acostumamos a medir desenvolvimento em termos



de índices de energia kilowatt per capita nas diferentes regiões; indubitavelmente o índice de toneladas de aço per capita empregadas judiciosamente em grandes obras será igualmente válido como medida de desenvolvimento. E indiscutivelmente será nas fundações, para as quais se concentram acumuladamente todas as cargas, que se comprovará a maior rentabilidade do emprego de materiais e seções nobres, desde que o terreno imponha o emprego de fundações profundas.

Victor F.B. de Mello  
Prof. Catedrático