

FACTORES CONDICIONANTES NA SELECÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO DAS ESTACAS DE BETÃO

Key factors on decision-making for concrete piles construction process

Maria de Lurdes Penteado*
Jorge de Brito**

RESUMO – A escolha do tipo de estaca (betonada *in situ* ou pré-fabricada) e, dentro desta, a resolução da problemática construtiva não são problemas lineares. Admitem à partida uma grande diversidade de opções e só o conhecimento em absoluto do comportamento de cada uma delas possibilitaria a escolha da solução mais conveniente. Contudo, podem citar-se os seguintes factores - características geotécnicas e hidrogeológicas, local de execução (ruído e vibrações), plano de cargas, sismicidade, custos e outros factores (qualidade e prazo de execução pretendidos, por exemplo) - como sendo condicionantes aquando da escolha do processo construtivo das estacas de betão. No presente artigo pretende-se, através de uma abordagem orientada para as correctas práticas construtivas, estabelecer algumas conclusões acerca daqueles factores.

SYNOPSIS – Choosing the piles type for a new construction (bored or displacement piles) and, after that, deciding about the constructive method are not linear problems. They initially admit a great variety of options that only the complete knowledge about each one's behaviour would be able to help choose the most convenient solution. However, the following factors can be mentioned - geotechnical and hydro-geological characteristics, location of execution (noise and vibrations), load plan, seismicity, costs and other factors (quality and execution period required, for example) - as the key factors of any decision concerning the pile's constructive process. In this article it is intended, after looking through the correct constructive practices, to establish some conclusions about these factors.

PALAVRAS CHAVE – Estacas de betão, Engenharia de fundações, Fundações profundas.

1 – INTRODUÇÃO

Tendo por objectivo definir as premissas de uma tomada de decisão mais consentânea com a envolvente de uma fundação por estacas, efectuou-se uma análise sistemática aos factores-chave dessa decisão quanto à sua aplicabilidade, à pertinência dos respectivos parâmetros e à categorização por cada processo construtivo, tendo-se proposto um conjunto de regras importantes e condicionantes para a selecção adequada do método, o que permite dar um contributo adicional à prevenção de eventuais erros motivados por opções pouco ajustadas ao enquadramento em que se inserem as estacas e que podem causar a fragilidade destes importantes elementos estruturais. Cada um desses factores é desenvolvido nos seguintes capítulos.

* Mestre em Construção pelo Instituto Superior Técnico, Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A..
E-mail: lurdes.penteado@mota-engil.pt

** Professor Catedrático, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Construção, Instituto Superior Técnico. E-mail: jb@civil.ist.utl.pt

2 – LOCAL DE EXECUÇÃO

Em ambientes urbanos, longos períodos de ruídos e vibrações, causados por exemplo pela cravação de estacas, são inaceitáveis e devem por isso ser adequadamente controlados. Quando tais acções ultrapassam os limites admissíveis causando incomodidade humana, esta pode manifestar-se através de alterações neurológicas, desconforto, problemas de saúde, diminuição da capacidade de concentração e eficiência no trabalho. Para além disso, as vibrações podem causar danos em estruturas vizinhas pelo que a cravação de estacas é em geral inviável em ambientes mais sensíveis a estes condicionamentos, optando-se então por estacas moldadas.

2.1 – Ruído

A cravação de estacas enquadra-se numa actividade ruidosa de carácter temporário que origina ondas sonoras quer de propagação aérea quer devidas à percussão da estaca no terreno.

As operações de construção radiam energia sonora que se dispersa com a distância de forma idêntica em todas as direcções. As ondas de som esféricas produzidas pelos equipamentos ruidosos apresentam um decaimento da energia sonora que é inversamente proporcional ao quadrado da distância, ou seja, diminui com 6 dB por dobro da distância (Figura 1) (www.iambiente.pt).

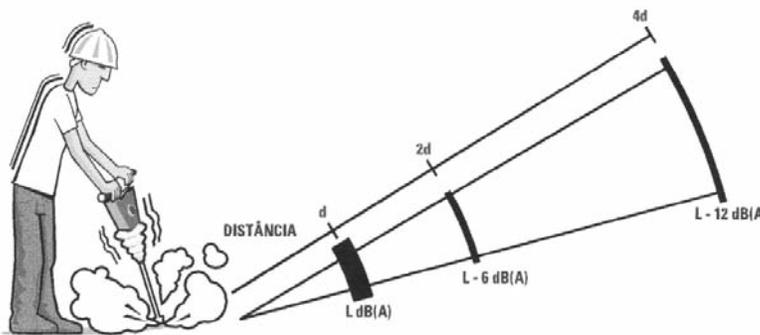


Fig. 1 – Atenuação do ruído por duplicação da distância à fonte (www.iambiente.pt).

Os níveis sonoros L_{Aeq} , produzidos por alguns dos equipamentos mais utilizados no sector da construção, a uma distância de 15 m, estão representados no Quadro 1.

Como se constata do quadro, o equipamento do processo construtivo mais ruidoso, o da cravação de estacas, situa-se na gama dos 96 a 106 dB(A), pelo que se pode considerar um valor médio de 100 dB(A), a 15 metros de distância.

Considerando a propagação em espaço livre, a 100 m de distância, aquele valor decresce para cerca de 84 dB(A). A 200 m, não excederá os 78 dB(A), apresentando, a 300 m de distância, um valor de 74 dB(A) e, a cerca de 400 m de distância, o nível expectável não excederá os 72 dB(A).

Sabendo-se que a actividade de construção, de uma maneira geral, induz níveis de ruído à volta dos 80 dB(A), que o nível de ruído médio numa cidade barulhenta ronda os 70 dB(A) e que, através da avaliação da resposta da população a acréscimos do ruído, não se deve exceder em mais de 10 dB(A) o nível de ruído do ambiente existente e ainda se se considerar o facto de que, para além de serem de carácter temporário, os consequentes impactes negativos são muito localizados no tempo e também circunscritos no espaço, propõe-se na presente metodologia que a cravação de estacas prefabricadas tenha lugar a uma distância superior a 150 m em zonas sensíveis, o que corresponde a não se ultrapassar o valor de 80 dB(A) na chegada aos receptores mais sensíveis.

Quadro 1 – Níveis sonoros dos equipamentos de construção (www.ci-salinas.ca.us).

Equipamento		Nível sonoro [dB(A)] a 15 metros					
		60	70	80	90	100	110
Equipamento impulsionado a motores de combustão	Cilindros compactadores			█			
	Pás carregadoras			█			
	Retroescavadoras			█			
	Tractores			█			
	Scrapers			█			
	Pavimentadoras				█		
	Camiões				█		
	Betoneiras			█			
	Bombas de betão				█		
	Gruas móveis			█			
	Bombas		█				
	Geradores			█			
	Compressores			█			
Equipamentos de impacto	Martelos perfuradores de rocha				█		
	Cravação de estacas					█	
Outros	Vibradores		█				
	Serras			█			

Sendo difícil de garantir aquele distanciamento em regiões urbanas, considera-se recomendável a sua não utilização nesses ambientes. No caso das regiões periurbanas ou rurais, a condição será observar aquela distância em relação ao edifício mais próximo se este tiver função de habitação, comércio, serviços, escola, hospital, de culto religioso, ou seja, no caso de se estar em presença de uma zona sensível.

Estabelecer por antecipação relações com a comunidade pode também ser útil nestes casos. Nesse sentido, com o objectivo de fomentar uma boa aceitação por parte dos habitantes e utilizadores dos edifícios situados no limiar da faixa de proximidade à distância referida, será de boa prática promover que estes devam ser informados sobre a ocorrência das operações de construção, o tipo de equipamento, o nível de ruído esperado, a variação dos níveis de ruído durante um dia normal de laboração, especificando as datas de início e de fim previstas para a obra, o seu horário de funcionamento e incluir ainda alguns dados sobre o projecto e seus objectivos.

No caminho fonte - receptor, uma opção que pode ser eficaz e não muito dispendiosa para limitar a propagação do ruído em situações mais críticas é interpor uma barreira acústica suficientemente alta e convenientemente direccionada, removível no final da intervenção.

2.2 – Vibração

Inerente aos trabalhos de construção, não só está a transmissão de ruído como também a transmissão de vibrações. Efectivamente, a separação entre os problemas de ruído e os de vibrações é muito ligeira. Os problemas de vibração são oscilações estruturais (de sólidos ou fluídos) e os de ruído são oscilações do ar. Também neste caso, faz sentido uma interpretação relativa da vibração, causada por uma determinada obra, em comparação com os valores registados de todas as vibrações ambientais que quotidianamente atingem os receptores, no mesmo local, originadas pelas actividades normais como o trânsito automóvel, por exemplo.

A cravação de estacas gera vibrações intermitentes no solo (sequência de vibrações incidentes, cada qual de curta duração, separadas por intervalos de vibrações de níveis muito menores) à me-

didada que provoca a sua deslocação durante a penetração. As componentes vibratórias geradas pela cravação de uma estaca estão ilustradas na Figura 2.

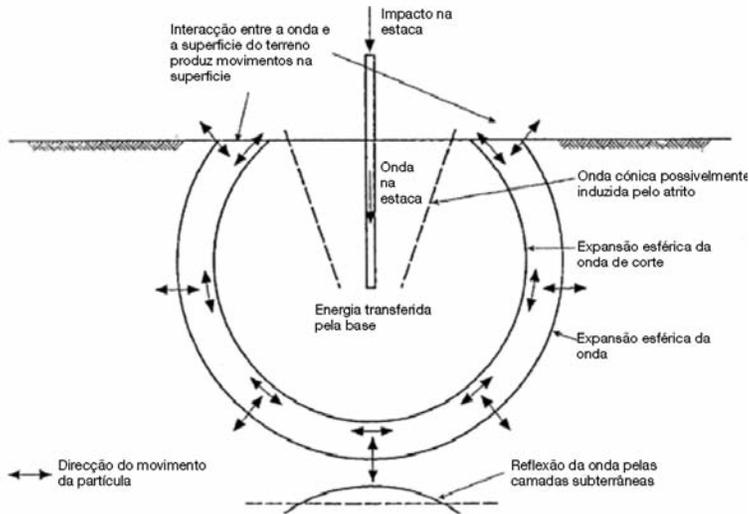


Fig. 2 – Componentes vibratórias na cravação de uma estaca (Sarsby, 2000 adaptado por Dinis da Gama, 2003, citado por Paneiro, 2006).

Os danos nas construções podem ser causados por quatro diferentes mecanismos, que podem ocorrer em simultâneo, agrupados em diferentes categorias, conforme ilustrado na Figura 3 (Marsarsch, 2004). O presente estudo incidirá sobretudo nos efeitos do mecanismo de categoria IV.

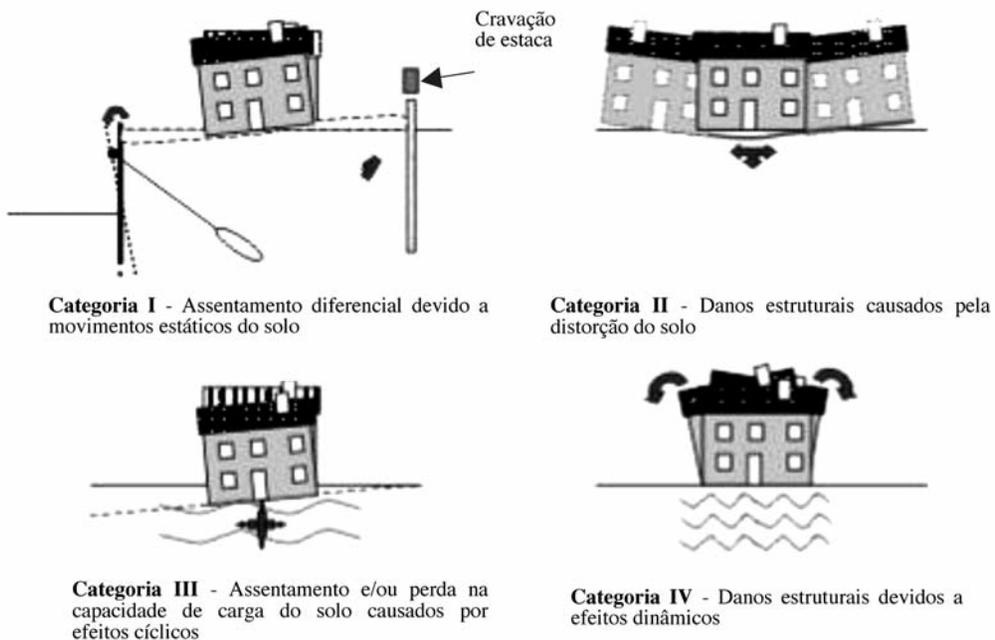


Fig. 3 – Componentes vibratórias na cravação de uma estaca (Sarsby, 2000 adaptado por Dinis da Gama, 2003).

No caso de se pretender respeitar os valores admissíveis das vibrações em função do local e período do dia da norma ISO 2631 (1997) demonstra-se que em áreas residenciais e de escritórios durante o dia, as distâncias a respeitar ficam aquém da distância necessária para o cumprimento dos limites de ruído anteriormente mencionados, pelo que este factor apenas se torna limitativo na proximidade das construções sensíveis, em áreas onde o factor população não é condicionante, na salvaguarda dos danos estruturais, devendo nestes casos respeitarem-se as distâncias mínimas referentes à vibração.

Refere a Sopecate (Catálogo Sopecate, 2007) que, através do controlo e quantificação das vibrações transmitidas ao ter-reno pela operação da cravação de estacas e sempre que o enquadramento da obra o exija, confirma os critérios de cravação e adequa-os a esse enquadramento, minimizando a energia de cravação. Contudo, a cravação de estacas constitui uma opção construtiva pouco adaptada a ambientes urbanos pelo que, não será considerada na presente metodologia a sua aplicação nesses ambientes.

3 – CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS E HIDROGEOLÓGICAS

A capacidade de carga e o método de execução das estacas são muito condicionados pelos solos atravessados e pelo estrato onde irão encastrar. O tipo e a profundidade a que se encontra o estrato de fundação resistente, a estabilidade dos estratos superiores devido às dificuldades que podem oferecer à execução das estacas e a presença de água afectam também a escolha do tipo de estaca. Como regra, deve respeitar-se que:

- não se devem utilizar estacas cravadas em terrenos contendo blocos duros;
- em terrenos instáveis, deve efectuar-se a sustentação das paredes do furo.

Para se elaborar um correcto projecto geotécnico e se adoptarem as melhores práticas construtivas, é necessário dispor de um adequado conhecimento do comportamento mecânico do solo de fundação bem como a própria geometria tridimensional. Um programa de reconhecimento completo deve incluir a definição dos seguintes parâmetros fundamentais (Cruz et al., 2007):

- propriedades mecânicas de todos os estratos envolvidos;
- natureza, sequência e extensão tridimensional de todos os estratos;
- regime hidrogeológico;
- estudos geoambientais de contaminação com distribuição e composição dos elementos contaminantes.

Na opinião de Nuno Cruz existe um desperdício nas obras de fundações devido a uma parametrização geotécnica deficiente ou a ausência de cálculo. Alguns projectos geotécnicos são definidos com base em aproximações grosseiras, habitualmente qualitativas, de que resultam soluções mal dimensionadas. O correcto reconhecimento das condições do subsolo, com uma definição satisfatória das condições do subsolo e uma estimativa realista das propriedades de comportamento dos materiais envolvidos, constitui um requisito fundamental para projectos de fundações seguros e económicos.

Como critério, Cruz et al. (2007) defendem uma redistribuição do binómio geologia - geotecnia, a escolha adequada do tipo de ensaios a executar em função de cada situação e o recurso a campanhas multi-ensaios com 7 a 8 tipos de ensaios diferentes que permitam o cruzamento de parâmetros.

A constatação prática das dificuldades mais comumente experimentadas pelos especialistas com os vários processos de execução nos diversos ambientes geotécnicos levou a uma sistematização do universo geotécnico da seguinte forma:

- aterros de material heterogéneo;
- lodos;

- solos incoerentes ou grosseiros;
- solos coerentes ou finos;
- rochas.

Esta divisão não é rígida, ou seja, nem sempre (quase nunca) se encontram solos que se enquadram em apenas um dos tipos.

Para se estabelecer a caracterização geotécnica e prever os graus de compacidade dos solos, procedeu-se à sua classificação com base nos ensaios SPT. A conveniência do uso deste indicador reside no facto de estar sempre presente em qualquer sondagem.

A presença de blocos de rocha disseminados nas matrizes coerente ou incoerente pode causar alguma perturbação à normal progressão da obra com alguns dos métodos, razão pela qual este factor foi tido em consideração. No caso dos blocos de rocha, o que influencia é o seu tamanho e a capacidade do equipamento em perfurá-los, especialmente se forem de dimensão superior ao diâmetro da estaca. No caso de ocorrerem a pouca profundidade, podem ser removidos com uma escavadora após o que se aterra o buraco e se reinicia a furação da estaca. No caso de ocorrerem a maior profundidade, tem de se recorrer a trado de rocha e/ou a trépano para se efectuar o seu atravessamento. Por vezes, pode mesmo verificar-se a impossibilidade da execução da estaca. Nesse caso, abandona-se a estaca inicial e executa-se uma estaca de substituição em local a designar pelo projectista. A sua ocorrência causa sempre grande desgaste nas peças de ataque do trado ou da caroteadora, é sempre acompanhada de perda de rendimento e, se forem de grandes dimensões, podem mesmo inviabilizar a execução da fundação por estacas.

3.1 – Aterros de material heterogéneo

A ocorrência de aterros, quase sempre superficiais, mas que podem apresentar espessuras consideráveis, constituídos por material heterogéneo (do tipo entulho) e mal compactado, requer sempre o uso de entubamento em toda a sua extensão. No caso da camada se apresentar de pequena envergadura, pode ser suficiente o uso do tubo-guia. No processo com trado contínuo, admite-se que a sua contenção poderá ser feita com o trado.

Se o aterro for executado com solos de boas características, bem compactado por camadas e com adequado teor de humidade, resulta num maciço com boas características mecânicas e pode, por isso, ser classificado como um solo normal.

Mostram-se no Quadro 2 as opções tomadas relativamente à viabilidade dos processos nestes materiais de aterro.

3.2 – Lodos

Executar estacas em lodos implica a escolha adequada do método de sustentação do furo. A ocorrência de lodos de características muito fracas conduz quase sempre ao método com tubo perdido uma vez que a recuperação do tubo pode causar a sua rotura. No entanto, esta situação não é tão acentuada se os lodos ocorrerem próximo da superfície uma vez que o impulso do betão sobre eles não é tão elevado. Nos lodos mais estáveis, a utilização do tubo recuperável poderia ser uma opção, mas se for necessário criar “peso” no interior do tubo que impeça a subida dos lodos pelo seu interior pode ser preferível recorrer-se ao fluido estabilizador.

No Quadro 3 representam-se as opções dos processos face à ocorrência de lodos.

3.3 – Solos incoerentes

Com este tipo de solos, não se verificam dificuldades significativas na execução com qualquer dos métodos construtivos. Neste tipo de solos, se ocorrerem valores elevados de N_{SPT} , a invia-

Quadro 2 – Aterros: viabilidade dos processos construtivos *versus* N_{SPT} .

Processo construtivo de estacas							
Valores de N_{SPT}		Pré-fabricadas	Com trado contínuo	Com trado curto	Com fluido estabilizador	Com tubo recuperável	Com tubo perdido
Aterros heterogêneos	Até 30	A	A	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	A	A
	31 a 50	---	A	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	A	A
	Acima de 50	---	---	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	A	A

Nota: A = aplicável; --- = não aplicável;

---⁽¹⁾ não aplicável, excepto se for superficial (contenção feita pelo tubo-guia)

Quadro 3 – Lodos: viabilidade dos processos construtivos *versus* N_{SPT} .

Processo construtivo de estacas							
Valores de N_{SPT}		Pré-fabricadas	Com trado contínuo	Com trado curto	Com fluido estabilizador	Com tubo recuperável	Com tubo perdido
Lodos		A	---	---(1)	--- ⁽¹⁾ / A	--- ⁽¹⁾ / A	A

Nota: A = aplicável; --- = não aplicável;

---⁽¹⁾ não aplicável, excepto se for superficial (contenção feita pelo tubo-guia)

bilidade do processo por trado contínuo está apenas relacionada com a elevada capacidade de torque necessária ao equipamento para prosseguir com a furação. De igual modo, os solos mais compactos tornam difícil, ou mesmo inviável, a cravação de estacas pré fabricadas.

O processo por trado curto requer a auto-sustentação do terreno nos estratos abaixo do tubo-guia na furação. Logo, não é, à partida, aconselhável se abaixo desse nível ocorrerem formações com fracas características mecânicas, indiciadoras de baixa sustentabilidade. Na prática, considera-se que essa sustentabilidade pode ser garantida para valores de N_{SPT} superiores a 20 pancadas. No Quadro 4, sintetizam-se as opções tomadas do ponto de vista da viabilidade dos métodos com este tipo de solos.

3.4 – Solos coerentes

Nos solos coerentes, a metodologia seguida é idêntica à dos incoerentes, conforme se pode observar no Quadro 5. A justificação das opções tomadas é análoga à considerada para os solos incoerentes com a ressalva de que, por apresentarem coesão, a condição de sustentabilidade do solo que se deve verificar com o método por trado curto pode agora ser garantida para valores de N_{SPT} superiores a 8 pancadas.

Quadro 4 – Solos incoerentes: viabilidade dos processos construtivos *versus* N_{SPT} .

Processo construtivo de estacas							
Valores de N_{SPT}		Pré-fabricadas	Com trado contínuo	Com trado curto	Com fluido estabilizador	Com tubo recuperável	Com tubo perdido
Solo incoerente (areias) ou Solo incoerente (areias) com seixos	0 a 4	A	---	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	A
	5 a 20	A	A ⁽²⁾	--- ⁽¹⁾	A	A	A
	21 a 30	A	A	A	A	A	A
	31 a 50	---	A	A	A	A	A
	Acima de 50	---	---	A	A	A	A
Solo incoerente (areias) com blocos de rocha	0 a 4	---	---	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	A
	5 a 20	---	---	--- ⁽¹⁾	A	A	A
	21 a 30	---	---	A	A	A	A
	31 a 50	---	---	A	A	A	A
	Acima de 50	---	---	A	A	A	A

Nota: A = aplicável; --- = não aplicável;

---⁽¹⁾ não aplicável, excepto se for superficial (menor impulso do betão no solo / contenção feita pelo tubo-guia)

⁽²⁾ embora possível, não é aconselhável para valores de $N_{SPT} < 5$

3.5 – Rochas

As formações rochosas, na grande maioria dos casos, inviabilizam os métodos com trado contínuo e de cravação de estacas pré-fabricadas, pela força necessária para prosseguir com a furação o que poderia, no caso das estacas pré-fabricadas, causar a sua danificação. A furação em rocha, nos métodos em que é viável, faz-se sempre com recurso a ferramenta apropriada (trados de rocha, caroteadoras ou trépanos). Sintetizam-se no Quadro 6 as opções tomadas nos casos referidos.

3.6 – Presença de água

Desde que não se trate de uma obra marítima ou fluvial, a presença de água só é limitativa no caso do processo executado por trado curto, por provocar a instabilidade das paredes do furo. Recorde-se que este processo envolve a subida e a descida do trado repetidas vezes durante a furação, sem o recurso a qualquer dispositivo de sustentação da mesma.

No caso de se tratar de uma obra marítima, apenas são viáveis a cravação de estacas pré-fabricadas e o processo com tubo moldador perdido pelas circunstâncias que envolvem a sua execução e, sobretudo no segundo método, pela garantia que deve exigir uma obra inserida em meio aquático. A presença de percolação limita também a escolha dos métodos que são viáveis no caso da obra marítima. Efectivamente, este factor altera as características do betão e causa problemas ao fluido estabilizador. No Quadro 7, encontram-se as opções tomadas com base neste factor.

Quadro 5 – Solos coerentes: viabilidade dos processos construtivos versus N_{SPT} .

Processo construtivo de estacas							
Valores de N_{SPT}		Pré-fabricadas	Com trado contínuo	Com trado curto	Com fluido estabilizador	Com tubo recuperável	Com tubo perdido
Solo coerente (siltes e argilas) ou Solo coerente (siltes e argilas) com seixo	0 a 3	A	---	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	A
	4 a 8	A	A ⁽²⁾	--- ⁽¹⁾	A	A	A
	9 a 30	A	A	A	A	A	A
	31 a 50	---	A	A	A	A	A
	Acima de 50	---	---	A	A	A	A
Solo coerente (siltes e argilas) com blocos de rocha	0 a 3	---	---	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	--- ⁽¹⁾	A
	4 a 8	---	---	--- ⁽¹⁾	A	A	A
	9 a 30	---	---	A	A	A	A
	31 a 50	---	---	A	A	A	A
	Acima de 50	---	---	A	A	A	A

Nota: A = aplicável; --- = não aplicável;

---⁽¹⁾ não aplicável, excepto se for superficial (menor impulso do betão no solo / contenção feita pelo tubo-guia)

⁽²⁾ embora possível, não é aconselhável para valores de $N_{SPT} < 4$

Quadro 6 – Rocha: viabilidade dos processos construtivos.

Processo construtivo de estacas							
	Pré-fabricadas	Com trado contínuo	Com trado curto	Com fluido estabilizador	Com tubo recuperável	Com tubo perdido	
Rocha decomposta e muito fracturada (RQD 0-25%, W5 e F5) e $N_{SPT} \leq 50$	---	A	A	A	A	A	
Rocha decomposta e muito fracturada (RQD 0-25%, W5 e F5) e $N_{SPT} > 50$	---	---	A	A	A	A	
Rocha sã a muito alterada (RQD 25-100%, W1-W4 e F1-F4)	---	---	A	A	A	A	

Nota: A = aplicável; --- = não aplicável;

Não existem fronteiras claras entre as referidas formações geológicas versus métodos de execução que permitam traçar, sem qualquer ambiguidade, uma linha de separação entre eles. O carácter eminentemente prático desta investigação levou a que se tentasse definir o âmbito de aplicação de cada método, com razoável aproximação, em função da experiência no terreno dos vários agentes executantes.

Quadro 7 – Presença de água: viabilidade dos processos construtivos.

Processo construtivo de estacas						
	Pré-fabricadas	Com trado contínuo	Com trado curto	Com fluido estabilizador	Com tubo recuperável	Com tubo perdido
Não existe água	A	A	A	A	A	A
Existe água	A	A	---	A	A	A
Obra marítima ou fluvial/nível freático com percolação	A	---	---	---	---	A

Nota: A = aplicável; --- = não aplicável;

4 – PLANO DE CARGAS

O conhecimento das cargas a que as estacas vão estar sujeitas condiciona a escolha do processo construtivo. O processo de execução da estaca condiciona o seu funcionamento e, portanto, a capacidade de carga real, assim como, logicamente, a real capacidade de serviço de uma estaca é função das condições dos estratos atravessados e do estrato de fundação e não da capacidade estrutural da própria estaca.

No caso das estacas pré-fabricadas, o seu campo de aplicação reside sobretudo no domínio das obras de pequeno a médio porte, enquanto que, no caso dessas estacas serem pré-esforçadas, podem ser aplicadas, segundo refere a Sopecate, em pontes, viadutos, edifícios com caves abaixo do nível freático onde as estacas ficam sujeitas a esforços de tracção, entre outras aplicações.

No caso das estacas moldadas, em função dos diâmetros com que se podem executar, admitem-se tensões de serviço que podem variar entre os 5 e 7 MPa.

5 – ZONA SÍSMICA

A sismicidade do local onde se vão executar as estacas é também um dado importante na escolha do processo construtivo.

Os sismos provocam nas estacas um movimento lateral resultante da propagação das ondas (Figura 4). Santos (2000) estudou a interacção cinemática solo - estacas durante o fenómeno sísmico e refere que as causas dos danos em estacas provocados pela acção sísmica se deve a (Mizuno, 1987 citado por Santos 2000):

- elevadas forças de inércia e momentos que provocam a rotura estrutural das estacas por corte ou por flexão;
- rotura por derrubamento e arrancamento do sistema solo - estacas - maciço;
- rotura provocada pela liquefacção ou movimento lateral do terreno.

Num terreno com contraste significativo de rigidez, surgem nas zonas de transição esforços muito significativos. Tais esforços podem acontecer a profundidades relativamente elevadas onde os esforços devido às forças de inércia da superestrutura já são desprezáveis sendo esse um motivo particularmente importante que desaconselha a prática corrente de dispensa das armaduras das estacas para maiores profundidades, como acontece no caso das estacas executadas por trado contínuo.

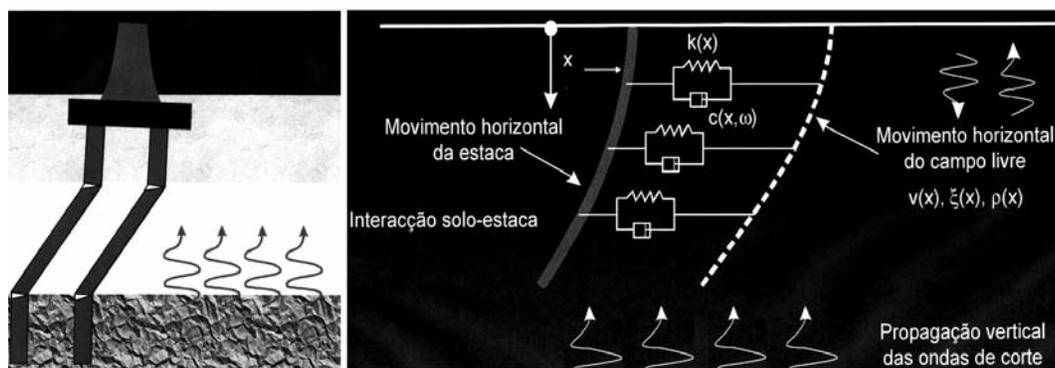


Fig. 4 – Estacas sob a acção sísmica (à esquerda) e respectiva modelação sob a acção sísmica (à direita) (Santos, 2000).

Considerando que, nas zonas sísmicas C e D, a sismicidade é suficientemente baixa para se poder admitir, simplifcadamente, a hipótese de que a dissipação dos esforços induzidos pelos deslocamentos sísmicos nas estacas executadas por trado contínuo ocorre em profundidade antes da armadura da estaca terminar, ou seja, antes dos 12 m, apresentam-se no Quadro 8 as opções tomadas com base na sismicidade.

Quadro 8 – Sismicidade: viabilidade dos processos construtivos.

Processo construtivo de estacas						
	Pré-fabricadas	Com trado contínuo	Com trado curto	Com fluido estabilizador	Com tubo recuperável	Com tubo perdido
Zona sísmica A	A	--- ⁽¹⁾	A	A	A	A
Zona sísmica B	A	--- ⁽¹⁾	A	A	A	A
Zona sísmica C	A	A	A	A	A	A
Zona sísmica D	A	A	A	A	A	A

Nota: A = aplicável; ---⁽¹⁾ = só não é aplicável se a estaca tiver comprimento superior a 12 m.

6 – CUSTOS

Analisando os custos de execução conclui-se que a solução por trado contínuo é a mais económica. No entanto, em termos de opção final, haverá que ponderar este factor com as limitações próprias do método. A solução com estacas pré-fabricadas constitui também uma opção bastante interessante do ponto de vista económico.

Por um acréscimo pouco significativo nos custos, pode optar-se pela solução do trado curto, caso a geologia do local seja bastante favorável o que, na realidade, poucas vezes acontece. Assim, opta-se com alguma frequência, por uma de duas soluções com contenção da escavação, por fluido estabilizador ou por tubo moldador recuperável, bastante equivalentes em termos de custo/m, em -

bora com algum agravamento em relação à solução mais económica o que, apesar de tudo, pode ser compensador se se atender à qualidade final conseguida com estes métodos.

Só ambientes geotécnicos muito maus justificariam, pelo excessivo incremento nos custos, motivado pela pesada contribuição dos meios que mobiliza, tais como gruas de grande capacidade, e pelo preço do próprio tubo, a opção por uma solução com tubo moldador perdido.

7 – OUTROS FACTORES

Os factores referidos não podem, no entanto, ser encarados individualmente e devem ainda ser complementados com outros, frequentemente não mensuráveis, mas de importância relevante para a escolha do método, como por exemplo o equipamento disponível para a sua execução, conjunturas de mercado, prazos de execução pretendidos ou o período de vida exigido.

7.1 – Qualidade e rendimento

Uma das grandes preocupações da engenharia de fundações reside na avaliação da qualidade das estacas construídas. O próprio processo construtivo tem uma contribuição significativa para a qualidade final do produto e, portanto, para a sua durabilidade e resistência como elemento estrutural. Tais medidas correctivas podem ser evitadas se, além das apertadas medidas de controlo durante a execução (verticalidade, consumo de betão, características do fluido estabilizador, entre outras), o próprio método construtivo for o mais aplicável para a fundação que se pretende executar, sendo certo que alguns dos métodos mais económicos, podem ter essa aplicabilidade diminuída pelas limitações próprias da tecnologia que empregam.

A prática no terreno tem mostrado a influência que os vários métodos construtivos têm, quando bem executados, em relação à garantia que oferecem sobre dois aspectos fundamentais da qualidade de uma estaca: recobrimento das armaduras e possibilidade de o solo se misturar com o betão da estaca.

O prazo é um factor determinante em qualquer operação de construção. Por outro lado, no contexto de todas as actividades de um empreendimento, a actividade “fundações” encontra-se sempre no caminho crítico do planeamento global de qualquer obra. Contudo, no caso das fundações especiais, havendo disponibilidade no mercado que possibilite a mobilização de vários equipamentos de furação e sendo possível, por questões de espaço, efectuar a sua manobra em obra, nada obsta a que se consiga o rendimento pretendido.

Os resultados em termos da qualidade e do rendimento habitualmente conseguido com um equipamento estão apresentados no Quadro 9, onde igualmente se alude ao factor durabilidade em termos globais. Note-se que o rendimento esperado com os métodos analisados pode ser variável.

7.2 – Factores de desempate entre soluções

É frequente obter-se mais do que um método que, após a ponderação dos critérios anteriormente mencionados, possa ser indicado para a obra em análise. Assim, os factores custo, prazo e qualidade devem ser utilizados no desempate entre dois ou mais métodos considerados viáveis após uma primeira fase eliminatória onde se consideraram os aspectos de natureza geotécnica, hidrogeológica, sísmica, sujeição de cargas e local de execução (ruído e vibrações).

É também consensual que, no desempate entre as soluções com fluido estabilizador e com tubo recuperável, se deva favorecer o primeiro método no caso de estarem em jogo estacas com grandes diâmetros, grandes comprimentos e em grandes quantidades, enquanto que o método com tubo recuperável é mais indicado, por razões que se prendem com a própria recuperação do tubo,

Quadro 9 – Qualidade e rendimento versus processo construtivo.

Processo construtivo de estacas						
	Pré-fabricadas	Com trado contínuo	Com trado curto	Com fluido estabilizador	Com tubo recuperável	Com tubo perdido
Garantia de recobrimento das armaduras	Boa	Má	Boa	Boa	Média	Boa
Possibilidade de o solo se misturar com o betão da estaca	Não	Média	Sim	Média	Média	Não
Durabilidade em geral	Boa	Média	Boa	Boa	Boa	Boa
Rendimento (m/dia/equipamento)	200	150	100	60	50	30

para diâmetros e comprimentos de estacas de menor envergadura. Igualmente, a mobilização do equipamento relacionado com o processamento do fluido estabilizador só se justifica quando as quantidades envolvidas são significativas.

8 – CONCLUSÕES

A escolha da solução mais adequada, depois de identificados todos os problemas e soluções alternativas, deve maximizar os benefícios (facilidade de execução e garantia da qualidade final, por exemplo) em conjugação com os respectivos custos, pois o risco associado a uma construção defeituosa pode ter consequências bastante onerosas, principalmente se as medidas correctivas tiverem de ser tomadas após o final da construção do empreendimento. Uma fundação simplesmente não pode instabilizar, ainda que sujeita às condições mais adversas de serviço para que foi dimensionada. Afinal, é sobre a fundação que assenta todo o carregamento da estrutura e de nada vale construir sobre uma fundação instável.

Resumem-se, no Quadro 10, as características determinantes dos vários tipos de estacas.

Quadro 10 – Resumo das características dos vários tipos de estacas.

	Trado contínuo	Trado curto	Fluido estabilizador	Tubo recuperável	Tubo perdido	Pré-fabricada
Gama de diâmetros (mm)	Ø 400 a Ø 1200	Ø 400 a Ø 1500	Ø 500 a Ø 2000	Ø 500 a Ø 2000	Ø 800 a Ø 2000	Ø 200 a Ø 400
Tensão de serviço	Até 5 MPa	6 MPa	Até 6 MPa	Até 6 MPa	Até 7 MPa	Até 11 MPa
Comprimento máximo (m)	20	60	60	60 ⁽¹⁾	60	60 ⁽²⁾
Tecnologia	Acessível	Acessível	Acessível	Acessível	Sofisticada	Acessível
Custo	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Alto	Baixo
Presença de nível freático	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Solos onde se executam	Com fraca coesão ⁽³⁾	Coesos e estáveis	Vários	Vários	Características muito fracas ⁽³⁾	Com fraca coesão ⁽³⁾
Rapidez da obra	Boa	Boa	Média	Média	Lenta	Boa
Ruído e vibrações	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Alto
Zonas sísmicas	Em zonas sísmicas A ou B não se devem executar com mais de 12 m	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Outros aspectos positivos			Versáteis para vários tipos de terreno	Versáteis para vários tipos de terreno	Exequível em ambiente fluvial/ /marítimo	Exequível em ambiente fluvial/ /marítimo; obra limpa
Outros aspectos negativos	Não armada na totalidade do comprimento; eventuais problemas de durabilidade	Requer uma geologia muito favorável	Controlo rigoroso das lamas; dificuldades com o vazadouro das lamas e das terras sobrantes	A recuperação do tubo pode causar problemas; obriga a um <i>stock</i> de tubos de vários diâmetros	Requer um vibrador de capacidade adequada; o entubamento pode ser insuficiente se não for feito na totalidade da estaca	Necessidade de empalme ou de corte

⁽¹⁾Desde que haja equipamento com potência suficiente para efectuar a recuperação dos tubos;

⁽²⁾Condicionado pelo valor da esbelteza;

⁽³⁾Não atravessa blocos de rocha.

9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Catálogo Sopecate (2007). Estacas pré-fabricadas, Estacas pré-fabricadas pré-esforçadas, Lisboa.
- Cruz, N. (2007). *Actualidad en el uso de los ensayos geotécnicos in situ*, revista Ingeniería Civil, 145/2007, Espanha.
- Instituto do Ambiente, “*O ruído e a cidade*”, tradução e adaptação da publicação francesa “Le bruit et la ville” - Ministère de l’Équipement et de l’Aménagement du Territoire, em (www.iambiente.pt), Janeiro de 2004.
- ISO 2631 (1997). *Mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration*, International Standard Organization, Geneva.
- Massarsch, K. Rainer (2004). *Vibrations caused by pile driving*, Magazine of the Deep Foundations Institute, em www.geo.se, Estocolmo.
- Mizuno, H. (1987). “Pile damage during earthquakes in Japan”, Dynamic response of Pile Foundations (ed. T. Nogami), New York: American Society of Civil Engineers.
- Paneiro, Gustavo (2006). *Medição de ruídos e vibrações para avaliar a incomodidade humana*, Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Roberts, Cedric - “*Construction noise and vibration management guideline*” e “*The impact of low frequency construction noise and vibration on sensitive premises*” em www.mainroads.qld.gov.au, 2006.
- Santos, J. A. (2000). *Estacas sob ações sísmicas*, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Sarsby, R. (2000). *Environmental Geotechnics*, Thomas Telford Books, Londres.