

# **Critérios e modelo de apoio à decisão sobre o processo construtivo das estacas de betão**

## **Criteria and decision-making model for concrete piles construction process**

**Maria de Lurdes Penteado<sup>1</sup>, Jorge de Brito<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Mestre em Construção pelo Instituto Superior Técnico, Mota-Engil, S.A.*

*lurdes.penteado@mota-engil.pt*

<sup>2</sup> *Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa*

*jb@civil.ist.utl.pt*

**RESUMO:** O presente artigo tem como objectivo apresentar a parametrização relacionada com a escolha do processo construtivo das estacas de betão através de um modelo informático de apoio à decisão. Dentro desse propósito, de enfoque eminentemente virado para os aspectos relacionados com a execução, avaliaram-se todos os factores que, em cada um dos processos, mais influenciam o comportamento estrutural e a durabilidade deste tipo de fundação.

A análise sistemática daqueles factores permitiu tirar conclusões sobre um conjunto de regras importantes e condicionantes para a selecção adequada do processo construtivo.

**ABSTRACT:** This paper intends to present a study of the parameters related to the choice of the concrete piles constructive process through a decision support informatics' model.

For that purpose, with the focus mainly on the execution aspects, all the factors that have an important influence on the structural behaviour and durability of the piles were evaluated for each type of process.

The systematic analysis of these factors allowed conclusions on a group of important rules and conditioning factors that can lead to the appropriate selection of the constructive process.

### **1. INTRODUÇÃO**

A técnica das fundações profundas é um dos exemplos mais precoces da arte e ciência da engenharia de estruturas. São conhecidas várias construções apoiadas sobre estacas de madeira desde os tempos pré-históricos.

A revolução industrial, com a descoberta da tecnologia a vapor, o advento do betão armado e o desenvolvimento da indústria da pré-fabricação encetaram uma nova era na fundação por estacas, originando o aparecimento de várias tipologias de estacas que procuravam dar resposta às solicitações pretendidas, com durabilidade bastante satisfatória, numa grande variedade de solos e mesmo em condições submersas.

A tecnologia associada à engenharia de fundações tem apresentado um crescente desenvolvimento, em paralelo com os progressos verificados quer na mecânica dos solos quer na engenharia mecânica, e encontra-se actualmente consolidada como um dos sectores mais dinâmicos e preponderantes da actividade da construção.

O aparecimento de equipamentos mecanicamente mais evoluídos e eficientes permitiu execuções com melhor qualidade, maiores rendimentos e menores custos de produção.

Sabe-se que o processo construtivo pode afectar substancialmente o comportamento destes elementos estruturais. Alguns problemas motivados pela má execução e materiais mal aplicados, por reduzirem o nível de segurança global da fundação,

podem fazer com que os proprietários recorram a dispendiosos projectos de recalçamento ou podem mesmo causar o inadmissível colapso global da estrutura.

Passa em grande parte pelas empresas directamente ligadas à execução de estacas a adopção do processo construtivo mais conveniente ou a sua adaptação às especificidades encontradas, baseando-se na experiência em execuções anteriores ou simplesmente na disponibilidade do equipamento de furação. Daqui se conclui da importância da sensibilização e formação adequada tanto dos intervenientes no sector produtivo como dos próprios promotores da obra.

## 2. FACTORES CONDICIONANTES E CRITÉRIOS

A escolha do tipo de estaca, prefabricada ou moldada e, dentro desta, a resolução da problemática construtiva, não são problemas lineares, pois admitem à partida uma grande diversidade de opções. No entanto, podem citar-se os seguintes factores:

- local de execução - em ambientes urbanos, longos períodos de ruídos e vibrações são inaceitáveis pelo que a cravação de estacas é em geral inviável, optando-se então por estacas moldadas (Figura 1);

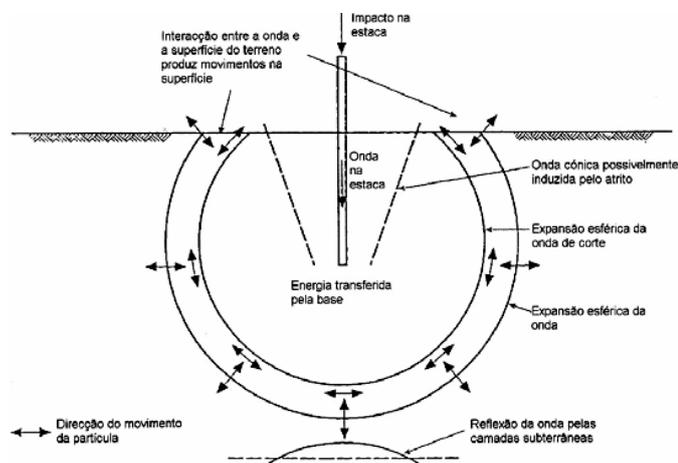


Figura 1 - Componentes vibratórias na cravação de uma estaca (Dinis da Gama, 2003)

- características geotécnicas - 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 bastante a escolha do tipo de estaca;
- plano de cargas - o conhecimento das cargas a que as estacas vão estar sujeitas é também um factor decisivo;
- zona sísmica - os sismos induzem nas estacas movimentos laterais resultantes da propagação das ondas, que podem gerar esforços importantes no corpo da estaca, sendo este um motivo importante e contrário à prática corrente de dispensa das armaduras das estacas para maiores profundidades, como acontece no caso das estacas executadas por trado contínuo (Figura 2);



Figura 2 - Estacas sob a acção sísmica (Jaime Santos, 2000)

- custos associados - o problema da escolha do tipo de estacas é, como em quase todos os restantes problemas de engenharia, também uma questão económica.

Estes factores não podem no entanto ser encarados individualmente e devem ainda ser

complementados com outros de importância relevante para a escolha, como por exemplo:

- equipamento disponível para a sua execução;
- conjuntura de mercado;
- prazos de execução;
- período de vida pretendido.

### 3. ARQUITECTURA DA METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO

Tendo como objectivo permitir o auxílio aos especialistas na tomada de decisão sobre o processo construtivo a adoptar, foi desenvolvida de raiz uma aplicação informática que permite uma interface familiar e acessível para a maioria dos utilizadores.

Na senda do objectivo proposto, são elaboradas *check-lists* com a identificação e a caracterização de todas as variáveis envolvidas no processo de fundações.

Para se efectuar a implementação da metodologia nessa ferramenta, desenvolveu-se um sistema de bases de dados relativo aos parâmetros decisores mencionados, ao mesmo tempo que se permite a manipulação dos dados da obra introduzidos pelo utilizador. Para tal, a aplicação envolve a construção de uma estrutura que possibilita o *input* dos dados da fundação (secção, comprimento da estaca, betão, armadura e outros) e dos referentes à sua envolvente (por exemplo, os da região, da geologia e da hidrogeologia do local, tipo de obra, assim como os dados relacionados com o tipo de exigência e com a garantia da qualidade).

Assim, em face da finalidade pretendida, um conjunto de procedimentos informáticos estabelece um encadeamento lógico entre os dados da obra em análise até chegar à identificação do processo construtivo em função das regras de decisão previamente introduzidas para cada factor condicionante.

A articulação entre as bases de dados do programa e a informação introduzida pelo

utilizador encontra-se definida *a priori* e constitui o processo chave de todo o seu funcionamento.

A ferramenta tem como *output* o método construtivo mais recomendável à obra analisada e a listagem das razões que determinaram essa escolha, permitindo ao utilizador conhecer e confiar na ferramenta.

Procurou-se desenvolver uma estrutura suficientemente flexível de maneira a incorporar informações adicionais ao nível da solução obtida, tais como a estimativa dos custos da intervenção com a solução encontrada e a definição dos prazos de execução com um equipamento e uma equipa de trabalho mobilizados. A flexibilidade é também implementada ao nível da actualização, da introdução de novos dados relativos a métodos construtivos resultantes da contínua evolução tecnológica, correcção dos custos, acompanhamento do progresso do conhecimento sobre esta problemática, consulta fácil e eficaz dos dados introduzidos.

Criaram-se as rotinas suficientes para permitir a completa entrada dos dados.

Após a leitura dos dados introduzidos, o programa procura todas as ocorrências associadas àqueles dados e efectua a atribuição de créditos aos seis processos construtivos de estacas de betão utilizados em Portugal: estacas pré-fabricadas, com trado contínuo, com trado curto, com fluido estabilizador, com tubo recuperável, com tubo perdido.

No final do processamento dos dados, pode ser encontrado mais do que um processo possível para uma determinada obra, ou seja, mais do que um processo com o mesmo número de créditos. Neste caso, ocorre uma segunda fase eliminatória onde tem lugar o desempate.

Nesta fase, procede-se de forma idêntica, mas os critérios são diferentes. Enquanto que, numa primeira selecção, se privilegiam os critérios de índole geológica, hidrogeológica, regional e outros, considerados fundamentais para a escolha do

processo do ponto de vista da qualidade, nesta segunda iteração, os processos construtivos seleccionados são todos executáveis na obra em análise em função dos referidos critérios, mas agora procura-se a solução mais conveniente em termos de custo, prazo, quantidade total, comprimento e secção.

Assim, na busca da melhor opção, adopta-se o método que, além de viável, seja também o mais vantajoso.

Após a activação do programa, o quadro para a escolha e introdução dos dados é o que se apresenta na figura 3.

Figura 3 - Quadro de interface inicial com o utilizador

A introdução dos dados inicia-se pela caracterização geográfica / regional da obra (Portugal continental ou ilhas, concelho e freguesia). Com esta informação, o programa avalia também em que zona sísmica se insere a obra. Seguidamente, introduz-se a informação de carácter

geológico. Na figura 4, pode ver-se a selecção de uma característica (no caso, visualizam-se as opções para a escolha do tipo geológico de um determinado estrato) através de uma caixa de escolha múltipla.

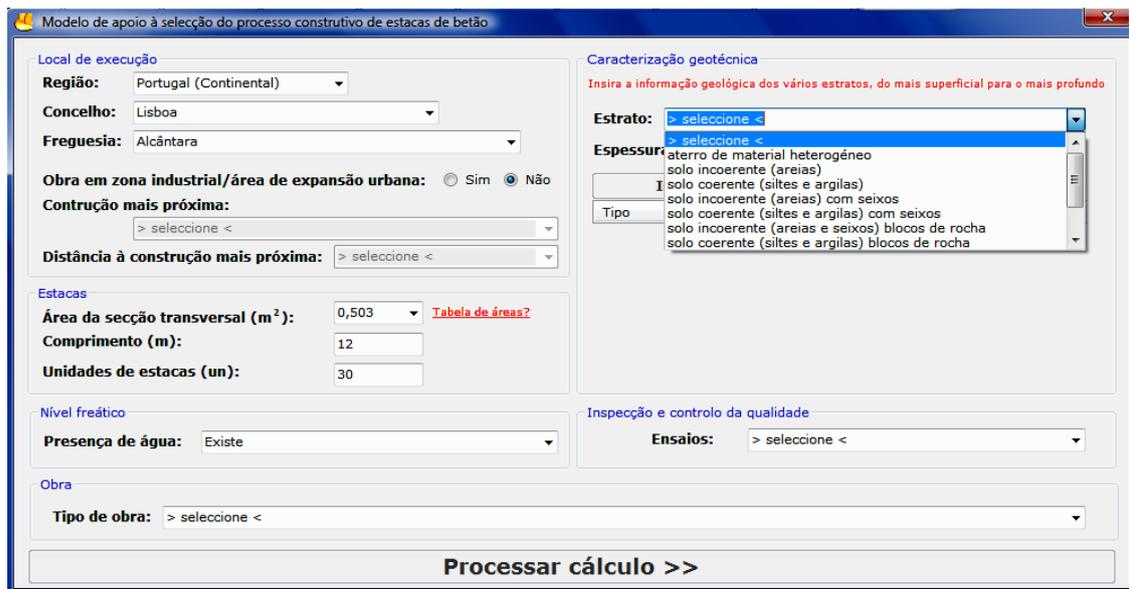


Figura 4 - Interface com a activação de uma caixa de escolha múltipla para a caracterização geológica de um estrato

A informação sobre os vários valores de  $N_{SPT}$  armazenada e pode ser consultada, conforme se mostra na figura 5.

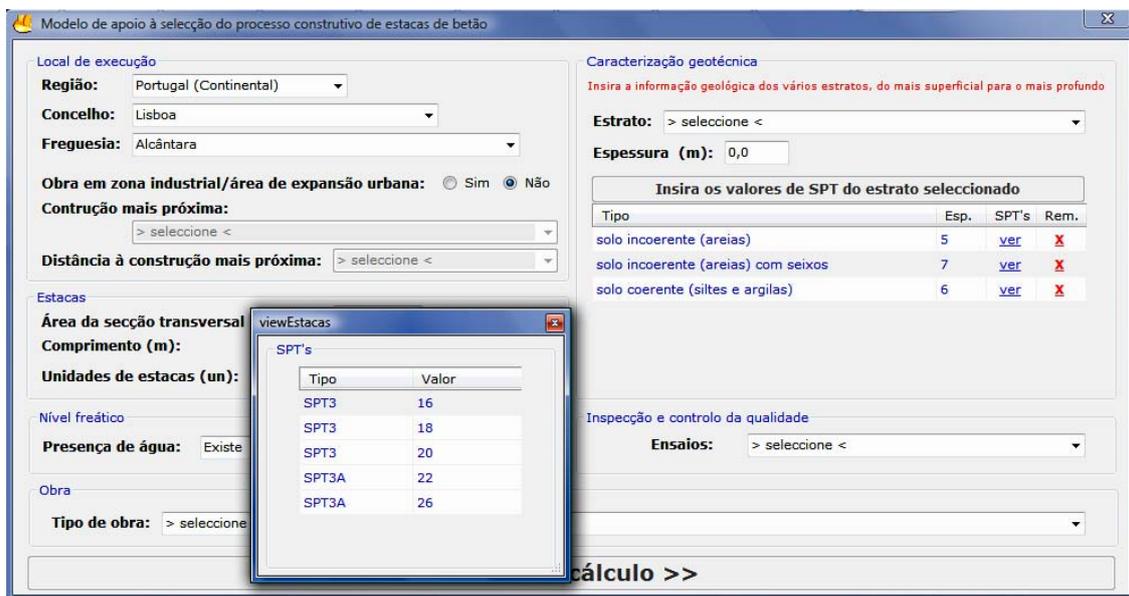


Figura 5 - Visualização dos valores de  $N_{SPT}$  de um estrato

De igual modo, a introdução da informação sobre a presença de nível freático é feita através da escolha de entre três situações possíveis, conforme se representa na figura 6:

- não existe nível freático;
- existe nível freático;
- trata-se de uma obra marítima ou fluvial ou verifica-se a existência de forte percolação.

Figura 6 - Introdução da informação sobre o nível freático

Para a introdução da área da secção transversal da estaca, o utilizador é auxiliado por uma tabela informativa onde a cada tipo de secção se faz

corresponder a respectiva área através do link “Tabela de áreas”, conforme se observa na figura 7.

Secção das estacas quadradas	Área (m <sup>2</sup> )
0,2 x 0,2 m	0,040
0,235 x 0,235 m	0,055
0,27 x 0,27 m	0,073
0,3 x 0,3 m	0,090
0,35 x 0,35 m	0,123
0,4 x 0,4 m	0,160

Secção das estacas redondas	Área (m <sup>2</sup> )
Ø 400 mm	0,126
Ø 500 mm	0,196
Ø 600 mm	0,280
Ø 700 mm	0,385
Ø 800 mm	0,503
Ø 900 mm	0,636
Ø 1000 mm	0,785
Ø 1100 mm	0,950
Ø 1200 mm	1,131
Ø 1300 mm	1,327
Ø 1400 mm	1,539
Ø 1500 mm	1,767
Ø 1600 mm	2,011
Ø 1700 mm	2,270
Ø 1800 mm	2,545
Ø 1900 mm	2,835
Ø 2000 mm	3,142

Figura 7 - Tabela informativa das áreas

Relativamente à dimensão da obra, questiona-se de forma intuitiva qual a tipologia / envergadura da construção, uma vez que nem sempre se dispõe dos valores das cargas actuantes. Contudo, este dado é importante para a selecção dos processos na medida em que alguns permitem execuções mais profundas, de maiores diâmetros e com melhor qualidade sendo, portanto, mais vocacionados para a realização das estacas de grande capacidade nas

obras de maior dimensão. Assim, o utilizador pode optar por uma das seguintes duas opções, conforme se mostra na figura 8:

- obra de pequena ou média dimensão - muros de suporte / pavilhões industriais / ETAR's / edificação ligeira ou corrente (até 5 pisos);
- obra de grande dimensão - edifícios com caves e grandes cargas (mais de 5 pisos) / pontes / barragens / instalações fabris.

Figura 8 - Introdução da informação sobre a dimensão da obra

O critério dos ensaios previstos pretende reflectir a preocupação com a garantia da qualidade na execução por parte do promotor da obra. Alguns métodos permitem execuções de melhor qualidade com algum acréscimo de custo. Assim, privilegia-se o critério da qualidade em detrimento do custo. As opções relativas a este critério, escolhidas de forma idêntica ao critério anterior, são as seguintes:

- só ensaios sínicos;
- ensaios sínicos, *cross-hole* ou outros.

No final da introdução dos dados caracterizadores da obra, activa-se a opção “Processar cálculo”, localizado na parte inferior do quadro de interface, podendo ser visualizada a informação da figura 9.

Processo Seleccionado:	
<b>Estacas com fluido estabilizador</b>	
Discriminação da avaliação dos processos construtivos	
Processo Construtivo	Pontuação
Estacas cravadas pré-fabricadas:	14
Estacas com trado contínuo:	20
Estacas com trado curto:	13
<b>Estacas com fluido estabilizador:</b>	<b>30</b>
Estacas com tubo moldador recuperável:	28
Estacas com tubo perdido:	25
-----	
Região ->	Região urbana
Zona Sísmica ->	Zona sísmica A
Nível freático ->	Existe
Secção ->	1,327 m <sup>2</sup>
Comprimento ->	12 m
Unidades ->	300 un
Ensaios ->	Só ensaios sínicos
Dimensão da obra ->	Grande

Figura 9 - Quadro de resultados

No quadro de resultados, constam o processo seleccionado e a discriminação da avaliação efectuada para cada processo construtivo com a indicação dos créditos atribuídos. A maior pontuação corresponde à solução mais adequada com base nos parâmetros introduzidos, pelo que é a seleccionada.

Complementarmente, mostra-se um resumo da informação fornecida pelo utilizador para que possa efectuar a confirmação dos dados introduzidos.

Sempre que se pretenda efectuar uma correcção, o procedimento consiste em seleccionar a opção

“<<”, efectuar a correcção pretendida e seleccionar novamente “Processar cálculo”.

No mesmo quadro de resultados, apresenta-se a opção “Justificação e estimativa de prazo e custos” que conduz o utilizador ao quadro de *output* para o processo seleccionado.

Se a solução for estaca pré-fabricada, é-se conduzido directamente ao quadro de *output* final com a justificação da escolha e estimativas do custo e prazo da obra. Na figura 10, apresenta-se o *output* de uma obra com 300 estacas de secção 235 x 235 mm e com 12 m de comprimento.

Justificação e estimativa de prazo e custos					
<b>Solução</b>	Estaca pré-fabricada em betão armado				
<b>Descrição do método</b>	Estaca pré-fabricada de betão armado, posicionada e introduzida no terreno por cravação com equipamento bate-estacas				
<b>Justificação da solução</b>	<p>A solução foi obtida pelas seguintes razões:</p> <p>1) No local da obra a distância à construção mais próxima é superior aos valores mínimos referentes à vibração e ao ruído;</p> <p>2) O método é de fácil execução em solos brandos e com ou sem nível freático;</p> <p>3) A solução é económica para uma obra de pequena / média dimensão e apresenta boa rapidez de execução.</p>				
<b>Estimativa do prazo de execução com um equipamento</b>	24 dias úteis				
<b>Secção 235 x 235 mm</b>		<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Sub-totais</b>	<b>Total</b>
Mobilização e desmobilização (vg)	Equipamento e mão-de-obra	1	7.000 €	7.000 €	<b>148.920,00 €</b>
Cravação (m)	Mão-de-obra	3.600,00	5,8 €	36,70 €	
	Estaca pré-fabricada		23,10 €		
	Equipamento		3,9 €		
Gastos gerais (m)			3,9 €		
Descabeçamento (un)	Mobilização do descabeçador	1	800,0 €	800 €	
	Descabeçamento	300,00	30,0 €	9.000,00 €	
Juntas (un)		0,00	160 €	0,00 €	

Figura 10 - *Output* de uma solução com estaca pré-fabricada

No caso da solução de estaca pré-fabricada, tem alguma relevância a região de Portugal para onde é necessário transportar as estacas, uma vez que estas são fornecidas através de fábricas localizadas no Sul de Espanha. Assim, justifica-se que os custos para a zona Sul sejam inferiores aos da zona Centro e estes inferiores aos da zona Norte.

De salientar ainda que as estacas pré-fabricadas com secção 350 x 350 mm podem ser em betão armado ou em betão pré-esforçado. Assim, neste caso, o *output* apresentará os custos para as duas soluções possíveis de estacas pré-fabricadas com esta secção, bastando para isso seleccionar a opção “Recálculo com pré-esforçada” (figura 11).

Justificação e estimativa de prazo e custos						
<b>Solução</b>	Estaca pré-fabricada em betão armado					
<b>Descrição do método</b>	Estaca pré-fabricada de betão armado, posicionada e introduzida no terreno por cravação com equipamento bate-estacas					
<b>Justificação da solução</b>	<p>A solução foi obtida pelas seguintes razões:</p> <p>1) No local da obra a distância à construção mais próxima é superior aos valores mínimos referentes à vibração e ao ruído;</p> <p>2) O método é de fácil execução em solos brandos e com ou sem nível freático;</p> <p>3) A solução é económica para uma obra de pequena / média dimensão e apresenta boa rapidez de execução.</p>					
<b>Estimativa do prazo de execução com um equipamento</b>	24 dias úteis					
<b>Secção 350 x 350 mm</b>		<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Sub-totais</b>	<b>Total</b>	
Mobilização e desmobilização (vg)	Equipamento e mão-de-obra	1	7.000 €	7.000 €	250.440,00 €	
Cravação (m)	Mão-de-obra	3.600,00	5,8 €	64,90 €		233.640,00 €
	Estaca pré-fabricada		51,30 €			
	Equipamento		3,9 €			
Gastos gerais (m)			3,9 €			
Descabeçamento (un)	Mobilização do descabeçador	1	800,0 €	800 €		
	Descabeçamento	300,00	30,0 €	9.000,00 €		
Juntas (un)		0,00	170 €	0,00 €		

Figura 11 - *Output* para a estaca pré-fabricada com secção 350 x 350 mm (na parte inferior do quadro, pode visualizar-se a opção “Recálculo com pré-esforçada”)

Se a solução for estaca moldada *in situ*, passa-se para uma segunda fase de introdução de dados onde se solicita a informação necessária para a estimativa do custo, nomeadamente a localização do parque de máquinas da empresa de fundações (para aferição dos valores da mobilização e da desmobilização) e os materiais constituintes da estaca moldada (betão e armaduras). Essa informação é introduzida através do quadro de interface da figura 12.

Nesta fase de introdução de dados, através de caixas de combinação, seleccionam-se as classes de betão e do aço. A constituição da armadura (número de varões, diâmetros e afastamento das cintas) é solicitada no caso de o utilizador não dispor, de antemão, da quantidade total de aço da

fundação.

Se for seleccionada uma solução por estacas moldadas, o quadro com a informação final ao utilizador encontra-se exemplificado na figura 13 supondo agora uma obra com 4650 m e uma solução com estacas de diâmetro 1000 mm executadas com recurso a fluido estabilizador. De referir ainda que este processo pode ser executado com recurso a lamas bentoníticas ou a polímeros. Por defeito, o *output* apresenta os custos para a solução com recurso a lamas bentoníticas, havendo a possibilidade de se efectuar o cálculo considerando polímeros, através da activação da opção “Recálculo com polímeros” localizada na parte inferior do quadro.

Figura 12 - Quadro de interface para a estimativa de custo: por preencher (à esquerda) e preenchido (à direita)

Justificação e estimativa de prazo e custos					
<b>Solução</b>	Estacas com fluido estabilizador.				
<b>Descrição do método</b>	Estaca de betão armado, moldada no terreno com a utilização de fluido estabilizador para sustentação da escavação, introduzida a armadura e betonada.				
<b>Justificação da solução</b>	A solução foi obtida pelas seguintes razões: 1) O método não causa ruído nem vibração, podendo executar-se sem restrições em qualquer local; 2) É a mais adequada ao tipo de solos analisados, com ou sem nível freático; 3) A solução é a mais indicada para a quantidade, diâmetro e comprimento das estacas em análise e nas condições existentes, sendo também a mais económica.				
<b>Estimativa do prazo de execução com um equipamento</b>	78 dias úteis				
<b>Secção de Ø 1000 mm</b>	<b>Actividade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Sub-totais</b>	<b>Total</b>
Mobilização e desmobilização (vg)	Equipamento	1	2.451,00	9.627,00 €	9.627,00 €
	Mão-de-obra e materiais	1	1.851,00		
	Transportes	1	5.325,00		
Furação (m)	Mão-de-obra	4650	13,60 €	49,90 €	232.035,00 €
	Materiais de furação		6,40 €		
	Equipamento		17,30 €		
Custos indirectos (m)			3,80 €		
Bentonite (30 kg/m <sup>3</sup> )		4650	8,80 €		
Betão com 15% de desperdício (m <sup>3</sup> )		3651	94,95 €		346.662,45 €
Armadura com 10% para desperdício e 10% para empalmes (kg)		225567	0,97 €		218.799,99 €
Terras a vazadouro com 20% de empolamento (m <sup>3</sup> )		3651	13,50 €		49.288,50 €
Descabeçamento (considerado um Ø) (m <sup>3</sup> )		118	235,00 €		27.730,00 €

Figura 13 - *Output* de uma solução com estaca moldada com a utilização de fluido estabilizador (lamas bentoníticas)

É frequente uma obra incluir mais do que um tipo de secção de estacas. Por essa razão, após uma primeira estimativa, o sistema questiona o utilizador sobre a existência de novas unidades e secções, conforme se pode observar na parte

inferior do quadro da figura 13. No caso afirmativo, é disponibilizado o quadro da figura 14 onde se introduzem os dados sobre a nova dimensão de estacas que, para além da própria secção, deve incluir as respectivas unidades, o comprimento e a

informação sobre a armadura. O sistema assume o tipo de betão e de aço da primeira estimativa, uma vez que não é expectável que estas características variem com o tipo de secção.

Figura 14 - Quadro para cálculo dos custos de uma nova secção de estacas

Os custos das estacas moldadas são determinados com base no pressuposto da utilização de apenas um equipamento de furação e sem custos adicionais para a utilização de trépano ou trado de rocha. De igual modo, para as estacas pré-fabricadas, não se considera qualquer custo adicional devido à pré-furação.

No caso de a obra se localizar nas ilhas (Madeira e Açores), os custos atenderão ao transporte marítimo do equipamento que será necessário efectuar e ao correspondente acréscimo no período de mobilização.

#### 4. CONCLUSÕES

Da avaliação do comportamento dos vários tipos de estacas nos diversos ambientes em que se inseriram, pôde inferir-se um conjunto de regras importantes para o desempenho final dos mesmos. Tais regras foram determinantes para o estabelecimento das premissas - chave de funcionamento da presente aplicação informática.

Por outro lado, aspectos como a versatilidade da ferramenta, a facilidade da introdução dos dados e a consideração de um conjunto abrangente de variáveis passíveis de serem avaliadas do modo mais fidedigno possível, foram tidos em conta. Ademais, procurou-se complementar a tomada de decisão com uma estimativa dos custos relacionados com o processo construtivo seleccionado, factor condicionante para a análise global da problemática.

#### REFERÊNCIAS

1. Brito, Jorge de - Estacas cravadas, folhas de apoio à cadeira de Processos de Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1999.
2. Brito, Jorge de - Estacas moldadas no terreno, folhas de apoio à cadeira de Processos de Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1999.
3. Brito, Jorge de - Folhas de apoio à cadeira de Tecnologia de Contencões e Fundações, volume 1, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2006.
4. Brito, Jorge de - Tipologia das estacas, curso FUNDEC sobre Execução de estacas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2000.
5. Coelho, Silvério - Tecnologia de fundações, E.P.G.E., Lisboa 1996.
6. Folque, José - Fundações - Recomendações gerais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 2004.
7. Garston, Watford - Choosing piles for new construction, Building Research Station, UK, 1986.
8. Kaidussis, Francisco Nicolas - A análise de um conjunto de erros e anomalias associados à execução de estacas, curso FUNDEC sobre Execução de estacas, Instituto Superior Técnico, Lisboa 2000.
9. Macedo, António - Execução de estacas moldadas com trado contínuo, curso FUNDEC sobre Execução de estacas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2000.
10. Macedo, António - Execução de estacas, Seminário Mota-Engil, Porto, 2002.
11. Shepherd, Robin e Frost, J. David - Failures in civil engineering: structural, foundation and geoenvironmental case studies, American Society of Civil Engineers, Nova York, 1995.

- 12.Silva, Daniel Vaz - Estacas moldadas no terreno, monografia da cadeira de Tecnologia de Contenções e Fundações, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.
- 13.Simões, Pedro - Estacas moldadas com tubo moldador recuperável, curso FUNDEC sobre Execução de estacas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2000.
- 14.Simões, Teresa Nogueira - Estacas pré-fabricadas cravadas, curso FUNDEC sobre Execução de estacas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2000.
- 15.Tomlinson, M. J. - Foundation design & construction, 6<sup>th</sup> Edition, Longman, Singapore, 1995.
- 16.Tomlinson, M. J. - Pile design and construction practice, 4<sup>th</sup> Edition, E & FN Spon, London, 1994.
- 17.Xavier, Baldomiro - Estacas moldadas (com tubo moldador perdido, com tubo moldador recuperável, sem extracção de terreno e sem qualquer contenção das paredes da furação), curso FUNDEC sobre Execução de estacas, Instituto Superior Técnico, Lisboa 2000.