

## **Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Projecto de Engenharia**

### **Obras de Estacas Cravadas**

#### **1. Generalidades e Campo de Aplicação**

A presente secção aplica-se aos trabalhos do controlo de qualidade relativo a obras de estacas cravadas, materiais relativas, etc. Sendo as estacas cravadas, uma das soluções dos trabalhos de fundações, consistem, principalmente, a cravação de estacas para dentro do solo, no fim de suportar as cargas da superestrutura. As estacas cravadas incluem estacas de aço (estacas tubulares de aço, estacas de aço tipo H), estacas de betão armado pré-moldadas, estacas de betão pré-moldadas e pré-esforçadas (estacas PHC), etc. O plano e procedimento da garantia de qualidade varia de acordo com diferente tipo de material de estacas.

A garantia da qualidade de estacas moldadas deve incluir os seguintes requisitos básicos:

- ✓ Requisitos da inspecção para controlo de qualidade dos materiais de estacas pré-moldadas;
- ✓ Requisitos da precisão geométrica da instalação, incluindo o desvio em relação ao centro (horizontalidade) e inclinação (verticalidade);
- ✓ Requisitos na obtenção da nega na cravação de estacas;
- ✓ Ensaios para verificação da integridade e capacidade de carga, incluindo ensaio sónico de integridade de estacas, ensaio dinâmico de carga e ensaio de carga estática, etc.

Os requisitos mencionados anteriormente devem estar de acordo com o projecto, relevantes normas e regulamentos..

#### **2. Requisitos dos Documentos de Garantia de Qualidade de Projecto de Engenharia**

Os documentos abaixo referidos devem ser submetidos de acordo com as fases da cravação de obras de estacas para fim de aprovação ou de registo.

Antes da construção

- ✓ Relatórios do estudo geológico;
- ✓ Monitorização dos edifícios vizinhos e medidas de protecção incluindo monitorização de segurança e plano da protecção do ambiente (ruído e vibração);
- ✓ No caso da existência dos edifícios históricos e com valores históricos á volta da construção, deve realizar estaca experimental na área da construção para análise de vibração e submeter o relativo relatório do ensaio para verificação de acordo com os requisitos dos códigos, no fim de diminuir o impacto causado em relação a estruturas vizinhas;
- ✓ Informações do equipamento de cravação, incluindo bate-estacas, martelo, capacete e coxim, etc.
- ✓ Informações da nega da cravação de estacas (registos);

- ✓ Plano de construção, incluindo a construção, transporte, armazenamento, preparação e planeamento do estaleiro, equipamentos mecânicos, procedimento de construção, controlo de qualidade e de execução, controlo de segurança e medidas de contingência No caso de emergência, etc;
- ✓ Plano de inspecção;
- ✓ De acordo com diferentes tipos de material das estacas pré-moldadas, deve submeter os seguintes documentos:

#### Estacas de aço

- Certificados de produção do material de aço e de soldadura, incluindo a origem de produção, dimensionamento normalizado, peso, propriedades mecânicas e químicas, etc;
- Para soldadura da junta de estacas, deve submeter o documento de identificação válido e reconhecido, requisitos do relativo procedimento de soldadura, onde pode ser consultado no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estruturas de Aço”;
- Requisitos do revestimento de protecção, pode ser consultado no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Trabalhos de Pintura”;
- Amostragem e plano de inspecção da junta soldada e revestimento de protecção da corrosão, incluindo informações da inspecção e ensaio realizada na obra, pela 3ª entidade independente.

#### Estacas de betão armado pré-moldadas

- Catálogos da fábrica das estacas pré-moldadas;
- Informações do controlo de produção, incluindo:
  - Manual do controlo de qualidade e documentos relativos do controlo de qualidade;
  - Registo interno da inspecção, incluindo informações técnicas da origem de matérias-primas relativas nos recentes anos (dentro dos 6 meses), resultado dos ensaios;
  - Resultados de ensaios dos produtos e plano de ensaio;
  - Equipamentos do ensaio do departamento do ensaio da fábrica, procedimento do relativo ensaio e registo de calibração dos equipamentos.
- Estatística dos resultados de resistência à compressão de betão (últimos 6 meses);
- Resultados de ensaios do teor de álcali dos cimentos e reactividade potencial de intertes com os álcalis dos cimentos (últimos 6 meses).

#### Estacas de betão pré-moldadas e pré-esforçadas (estacas PHC)

- Catálogos da fábrica das estacas pré-esforçadas;
- Informações do sistema do controlo de produção, incluindo:
  - Para fábrica certificada pela entidade reconhecida pelo governo de Macau, deve submeter os documentos relativos do certificado efectivo;
  - Para fábrica não certificada pela entidade reconhecida pelo governo de Macau, deve submeter os seguintes documentos para aprovação [3]:
    - Manuais do controlo de qualidade e documentos relativos do controlo de qualidade;
    - Registo interno da inspecção, incluindo informações técnicas da origem de matérias-primas relativas nos recentes anos (dentro dos 6 meses), resultado dos ensaios;
    - Resultados de ensaios dos produtos e plano de ensaio;
    - Equipamentos do ensaio do departamento do ensaio da fábrica, procedimento

- do relativo ensaio e registo de calibração dos equipamentos;
- Estatística dos resultados de resistência à compressão do betão (últimos 6 meses);
- Resultados de ensaios de resistência à flexão, nos últimos 6 meses, (de acordo com as especificações do projecto), incluindo verificação do momento de fendilhação e do momento último à rotura. Os ensaios referidos devem ser realizados pela entidade certificada.
- Resultados de ensaios do teor de álcali dos cimentos e reactividade potencial de intertes com os álcalis dos cimentos (últimos 6 meses).

Durante o processo da construção ou durante a recepção

- ✓ Submissão da cópia da guia de remessa e relativos certificados de produção das estacas pré-esforçadas na altura da chega dos produtos a obra;
- ✓ Registos e relatórios de ensaios dos materiais;
- ✓ Durante a cravação, deve submeter, regularmente, relatórios de registos da vibração (se necessário);
- ✓ Os registos da cravação de estacas na obra, incluem:
  - Registos do tipo de estacas e dimensionamento;
  - Registos do tipo de bate-estaca, peso, queda livre ou dinâmico e equipamentos suplementares;
  - Registos da localização de estacas e número de referência;
  - Registos da profundidade da penetração de estaca e número de pancadas por unidade de comprimento (registo de nega);
  - Registos do número de pancadas da profundidade final e do ressalto;
  - Registos da cota de corte e ligação entre estacas;
  - Registos das situações imprevistas e resoluções durante a cravação;
  - Registos da localização das estacas adicionais, diâmetro, comprimento e números das estacas;
  - Registos do deslocamento da cabeça de estaca (horizontalidade, verticalidade e inclinação), etc.
- ✓ Relatórios dos ensaios no local (incluindo relatório do ensaio de espessura do revestimento superficial da estaca, relatório da inspecção visual, inspecção não-destrutiva de soldadura, relatório do ensaio da integridade e capacidade de carga, etc).
- ✓ Plantas de telas finais.

### 3. Inspeção, Ensaio e Recepção

Os itens para a inspeção de obras de estacas cravadas representam-se no quadro seguinte:

| Quadro dos Itens para Inspeção de Obras de Estacas Cravadas                    |            |                       |           |   |                      |                                  |                        |                 |      |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|-----------|---|----------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------|------|
| Itens para Inspeção                                                            | Objectivos | Desvio da Localização |           |   | Controlo de Execução | Controlo de Material             | Frequência da Inspeção | Norma a Cumprir | Nota |
|                                                                                | Nível      | Elevação              | Gradiente |   |                      |                                  |                        |                 |      |
| Controlo do Ponto de Referência                                                | ✓          | ✓                     |           | ✓ |                      | 100% Inspeção                    | a, b, c, e             |                 |      |
| Monitorização de Segurança da Obra e Edifícios Vizinhos <sup>6</sup>           |            |                       |           | ✓ |                      | Se Necessário ❶                  | a, b, c                |                 |      |
| Verificação de Vibração Produzido por Sistema de Cravação <sup>7</sup>         |            |                       |           | ✓ |                      | Se Necessário ❶                  | a, b, c                |                 |      |
| Número do Lote e Classe do Material                                            |            |                       |           |   | ✓                    | 100% Inspeção                    | c, d                   |                 |      |
| Qualidade Visual                                                               |            |                       |           |   | ✓                    | 100% Inspeção                    | c, d                   |                 |      |
| Dimensão Normalizada                                                           |            |                       |           |   | ✓                    | 100% Inspeção                    | c, d                   |                 |      |
| Visita e Inspeção da Fábrica de Estacas Pré-Moldadas ou Estacas Pré-Esforçadas |            |                       |           |   | ✓                    | Antes da Aprovação do Fabricante | c, d                   |                 |      |
| Armazenamento e Transporte de Estacas Pré-moldadas                             |            |                       |           |   | ✓                    | 100% Inspeção                    | c, d                   |                 |      |
| Inspeção dos Equipamentos de Cravação <sup>1</sup>                             |            |                       |           | ✓ |                      | Antes da Construção              | -                      |                 |      |
| Levantamento de Estacas                                                        |            |                       |           | ✓ |                      | 100% Inspeção                    | c, d                   |                 |      |
| Cravação da Estaca Prova                                                       |            |                       |           | ✓ |                      | Se Necessário ❶                  | c                      |                 |      |
| Controlo da Precisão de Cravação <sup>2</sup>                                  | ✓          | ✓                     | ✓         | ✓ |                      | 100% Inspeção                    | a, b, c, e             |                 |      |
| Ligação de Estacas <sup>3</sup>                                                |            |                       |           | ✓ |                      | 100% Inspeção                    | c, d                   |                 |      |
| Obtenção de Nega                                                               |            |                       |           | ✓ |                      | 100% Inspeção                    | a, b, c                |                 |      |
| Tratamento da Cabeça de Estaca                                                 |            |                       |           | ✓ |                      | 100% Inspeção                    | a, b, c, d             |                 |      |
| Protecção do Ambiente <sup>4</sup>                                             |            |                       |           | ✓ |                      | Se Necessário ❶                  | c                      |                 |      |
| Condições Ambientais para Trabalhos de Pintura                                 |            |                       |           | ✓ |                      | Antes da Construção              | c, d                   |                 |      |

|                                                                                  |  |  |  |   |  |               |      |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|---|--|---------------|------|--|
| Qualidade Visual da Pintura / Revestimento da Protecção de Corrosão <sup>5</sup> |  |  |  | ✓ |  | 100% Inspeção | c, d |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|---|--|---------------|------|--|

Nota: Itens para Inspeção

- 1 – Inspeção dos Equipamentos de Cravação  
Geralmente, inclui bate-estacas, martelo, capacete e coxim, etc.
- 2 – Controlo da Precisão de Cravação  
Como a precisão de cravação afecta a capacidade de carga, o desvio em relação ao centro, a fundação em geral e ligação entre estacas, deve ser controlada dentro dos requisitos. De acordo com os requisitos do artigo 5.7.3. do “Guia de Dimensionamento de Fundações [2]”, as tolerâncias de aceitação são:
  - Desvio na vertical para estacas em terra, 1/75 e para estacas no mar, 1/25
  - Desvio de estacas inclinadas do valor especificado da inclinação, 1/25
  - Desvio da cota de corte, 25mm.
- 3 – Ligação de Estacas  
No caso da ligação por soldadura, os relativos itens para inspeção podem ser consultadas no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estruturas de Aço”. Após a conclusão da soldadura, a cravação pode ser continuada para temperatura da ligação inferior a 300°C [5] ou não inferior a 10min após trabalho de soldadura. Deve ser realizada inspeção visual pela entidade reconhecida para após trabalho de soldadura. Todos os trabalhos de soldadura de ligação devem ser feito pelos soldadores qualificados e reconhecidos.
- 4 – Protecção do Ambiente  
Deve ser seleccionado equipamentos adequados para trabalhos de cravação no fim reduzir o ruído e vibração de acordo com os requisitos dos regulamentos de Macau
- 5 – Qualidade Visual da Pintura / Revestimento da Protecção de Corrosão  
Deve cumprir os requisitos dos artigos 3.1.10 a 3.1.11 da especificação “DBJ/T 15-22”. A inspeção dos trabalhos de pintura pode ser consultada no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Pintura”.
- 6 – Monitorização de Segurança da Obra e Edifícios Vizinhos  
No que se refere aos trabalhos de cravação, para a monitorização de segurança aos edifícios vizinhos pode ser realizada através do medidor de assentamento, de inclinação, de fissuras e geofone, etc no fim de estudar as vibrações causadas pelos equipamentos de execução em relação aos edifícios e analisá-los em termos da segurança. Os detalhes podem ser consultados no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Monitorização da Segurança Geotécnica”.
- 7 – Verificação de Vibração Produzido por Sistema de Cravação  
No que se refere a obra com fundações cravadas concluídas, o impacto causado a estruturas ou edifícios vizinhos pelas vibrações durante a construção podem ser inspeccionadas através dos geofones, medindo a velocidade máxima de partículas (“Peak Particle Velocity”), em termos da velocidade máxima longitudinal, transversal e vertical. No caso dos requisitos especificados nos cadernos de encargo ou projecto devem seguir-los; No caso que não estejam especificados, devem ser consultadas “Guia de Dimensionamento de Fundações” com o seguinte quadro:

Velocidade Máxima de Partículas para Diferentes Edifícios [2]

| Nível | Descrição                                                               | Vel. Máx. (mm/s) |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1     | Edifícios com Valores Históricos e Culturais                            | 2                |
| 2     | Edifícios Danificados (ex. Estrutura de Alvenaria com Fissuras Visuais) | 5                |
| 3     | Estrutura com Boas Condições (Tecnicamente), Excluindo Micro-Fissuras   | 10               |
| 4     | Estruturas Estáveis, Estruturas de Betão Armado ou Estruturas de Aço    | 10-40            |

\* Velocidade de Partículas do Solo de Fundação dos Edifícios Vizinhos.

#### Frequência da Inspeção

- ❶ – No caso em que os resultados tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção; ou os resultados / parâmetros tenham grande influência no projecto ou qualidade, deve ter especial consideração.

#### Norma a Cumprir:

- a – Regulamento de Fundações [1]
- b – Guia de Dimensionamento Fundações [2]
- c – Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos
- d – Especificações Técnicas de Produtos do Fabricante
- e – General Specification for Civil Engineering Works [4]

## Inspeção, Ensaio e Recepção (Continuação)

Os itens para o ensaio e recepção de estacas cravadas representam-se no quadro seguinte:

| Quadro dos Itens para Ensaio de Estacas Cravadas                                                                                          |                                                                        |                                                  |            |                 |                     |                       |                      |                                                                   |                                                                  |                       |                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|-----------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Itens para Inspeção                                                                                                                       |                                                                        |                                                  | Objectivos | Análise do Solo | Materiais de Estaca | Integridade de Estaca | Capacidade de Estaca | Frequência Recomendada do Ensaio                                  | Norma a Cumprir                                                  | Critério de Aceitação | Nota                               |
|                                                                                                                                           |                                                                        |                                                  |            |                 |                     |                       |                      |                                                                   |                                                                  |                       |                                    |
| Estudo Geológico                                                                                                                          |                                                                        |                                                  |            | ✓               |                     |                       |                      | Se Necessário ❶                                                   | a, b, c, d                                                       | -                     |                                    |
| Materiais de Estacas Pré-Moldadas                                                                                                         | Estacas de Aço                                                         | Ensaio de Recepção do Produto de Aço¹            |            | ✓               |                     |                       |                      | -                                                                 | c                                                                | -                     |                                    |
|                                                                                                                                           |                                                                        | Ensaio de Revestimento da Protecção de Corrosão² |            | ✓               |                     |                       | Se Necessário ❷      | c                                                                 | -                                                                |                       |                                    |
|                                                                                                                                           | Estacas de Betão Pré-Esforçadas / Estacas de Betão Armado Pré-Moldadas | Inspeção Visual e Verificação de Dimensões³      |            | ✓               |                     |                       | Cada Lote❸           | a, b, c<br>GB13476 [9]<br>JIS A5337 [10]<br>LECM APR/DMC/017 [3]  | i                                                                |                       |                                    |
|                                                                                                                                           |                                                                        | Ensaio de Resistência à Compressão⁴              |            | ✓               |                     |                       | Cada Lote❸           | a, b, c<br>GB13476 [9]<br>EN 12504-1 [11]<br>LECM APR/DMC/017 [3] | ii                                                               |                       |                                    |
|                                                                                                                                           |                                                                        | Ensaio do Momento de Fendilhação⁵                |            | ✓               |                     |                       | Cada Lote⁴           | a, b, c<br>GB13476 [9]<br>JIS A5337 [10]<br>LECM APR/DMC/017 [3]  | iii                                                              |                       |                                    |
| Ligação de Estacas: Ensaio de Soldadura Não-destrutiva⁶                                                                                   |                                                                        |                                                  |            |                 |                     | ✓                     |                      | Se Necessário ❷                                                   | c                                                                | v                     |                                    |
| Ensaio de Carregamento Dinâmico⁷                                                                                                          |                                                                        |                                                  |            |                 |                     |                       | ✓                    | Se Necessário ❷                                                   | a, b, c<br>ASTM D4945 [12]                                       | -                     |                                    |
| Ensaio Sónico de Integridade de Estacas⁸                                                                                                  |                                                                        |                                                  |            |                 |                     | ✓                     |                      | 20%❹                                                              | a, b, c<br>ASTM D5882 [13]                                       | iv                    | Com Mín. de 1 Elemento de Estacas  |
| Ensaio Dinâmico de Carga em Estacas⁹                                                                                                      |                                                                        |                                                  |            |                 |                     |                       | ✓                    | 3%                                                                | a, b, c<br>ASTM D4945 [12]                                       | iv                    | Com Mín. de 1 Elementos de Estacas |
| Ensaio de Carga Estática de Estacas¹⁰<br>(Incluindo Ensaio de Carga Axial de Tração, de Carga Axial de Compressão e de Carga Transversal) |                                                                        |                                                  |            |                 |                     |                       | ✓                    | 1% ❹                                                              | a, b, c<br>ASTM D1143 [14]<br>ASTM D3689 [15]<br>ASTM D3966 [16] | iv                    | Com Mín. de 1 Estaca               |

Nota: Método de Inspeção

1 – Ensaio de Recepção do Produto de Aço

Após a recepção de amostragens, deve proceder-se ao ensaio de resistência à tracção de acordo com os requisitos do EN 10002[5]. No caso em que as informações de propriedades químicas e resultados do ensaio de impacto não estejam contidas no certificado de produção, deve ser realizado ensaio de análise química e de impacto Charpy, de acordo com os requisitos do EN 10045[6]. As informações detalhadas podem ser consultadas no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estruturas de Aço”.

2 – Ensaio de Revestimento da Protecção de Corrosão

Geralmente, o ensaio de revestimento inclui ensaio de espessura seca, ensaio de espessura húmida e ensaio de aderência do revestimento, etc, de acordo com os requisitos de espessura no ISO 2808[8]. As informações detalhadas podem ser consultadas no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Trabalhos de Pintura”.

3 – Inspeção Visual de Dimensões

De acordo com os requisitos da Norma Chinesa GB13476 [9] ou Norma Japonesa JIS A5337 [10], JC/T 947 [25] relativo a inspeção de estacas pré-esforçadas, deve verificar-se os seguintes:

Inspeção de dimensão, incluindo comprimento de estaca, inclinação da base, diâmetro, parede, curvatura, base da estaca e dimensão da cabeça da estaca;

Inspeção visual, incluindo “ninhos”, superfície irregular, dissipação na junta, danos parciais da superfície, falta de recobrimento no interior e exterior, fissuras superficiais, regularização da base, danos no aço, defeitos na cabeça de estaca, abatimento de betão no interior de estaca, etc.

4 – Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão é realizado em 3 conjuntos de 2 carotes (total de 6 provetes) por cada amostra de elemento de estaca. Os carotes devem ser colhidas ao comprimento do elemento de estaca, em 3 secções transversais; com diâmetro de 70mm para espessura da parede de estaca inferior a 125mm e com diâmetro de 100mm, para espessura da parede de estaca igual ou superior 125mm, de acordo com os requisitos da Norma Britânica EN 12504-1 [11]. Após o ensaio de resistência à compressão, deve quebrar um dos carotes para a retracção da amostra espiral para a sua verificação do diâmetro.

5 – Ensaio do Momento de Fendilhação

O ensaio deve estar de acordo com o ensaio de encurvadura da Norma Chinesa GB13476 [9] ou Norma Japonesa A5335 [10]. Deve ser retirada duas estacas para cada verificação.

6 – Ensaio de Soldadura Não-destrutiva

No que se refere a soldadura entre as estacas pré-moldadas, os requisitos para ensaio de soldadura não-destrutiva de topo e de cordão podem ser consultadas no “Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Estruturas de Aço”.

7 – Ensaio de Carregamento Dinâmico

O ensaio de carregamento dinâmico utiliza a relação entre a capacidade de estaca e tensão de cravação de estaca para estimar a capacidade de carga de estaca e o comportamento da fundação de estacas. O resultado pode ser utilizado com referência para o mesmo tipo de estacas utilizadas no mesmo projecto.

8 – Ensaio Sónico de Integridade de Estacas

O ensaio de integridade de estacas é um método rápido executado na cabeça de estaca por um martelo manual, onde através do transdutor instalado na cabeça de estaca se obtém uma curva calculada característica no fim de verificar a qualidade de estaca. O conceito consiste em utilizar o martelo manual, o qual produz uma onda de compressão descendente ao longo do eixo da estaca, e ao encontrar discontinuidades da estaca são reflectidas ondas de tracção ascendentes, pelo que se verifica a integridade de estacas, sendo assim considerado um ensaio não-destrutivo. Para a relação entre o



comprimento de estaca (L) e diâmetro (D) inferior que 30 (i.e.  $L/D \leq 30$ ) pode obter uma melhor avaliação quanto a integridade de estacas [18] [22] [24].

#### 9 – Ensaio Dinâmico de Carga em Estacas

O ensaio dinâmico de carga em estacas é um método de quantificação e análise dinâmica de estacas, onde é instalado acelerómetros e transdutores na transversal do topo de estacas para medição velocidade de vibração e força (ou tensão) no topo de estacas para obtenção da curva calculada característica no fim de analisar a capacidade de resistência. O equipamento do ensaio, principalmente, é formado pelo equipamento de impacto e dispositivos de medidores, onde o equipamento de impacto deve seleccionar adequado peso de impacto, no fim de garantir a mobilização de estaca para obtenção da capacidade de resistência de atrito e de ponta.

#### 10 – Ensaio de Carga Estática de Estacas

No que se refere a fundação realizada por cravação, pode ser realizado o ensaio de carga estática, aumentando a carga no topo de estacas, por escalões, para a avaliação do assentamento e confirmação da capacidade de resistência à compressão axial de estaca singular. O equipamento do ensaio é formado por equipamento do aumento de carga e medidores de assentamento, onde o equipamento de carga é executado através do aparelho de tracção instalado no topo de estaca. O ensaio referido engloba o ensaio de carga axial de compressão deve estar de acordo com os requisitos Regulamento de Fundações [1], Guia de Dimensionamento Fundações [2] and ASTM D1143 [14] para a obtenção do assentamento final e assentamento residual. Além disso, ainda engloba o ensaio de carga axial de tracção (ASTM D3689[15]) e ensaio de carga transversal (ASTM D3966[16]).

#### Frequência Recomendada da Inspeção

- ❶ – No caso em que os resultados do estudo geológico tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção devem ter especial consideração.
- ❷ – No caso em que os resultados tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção; ou os resultados / parâmetros tenham grande influência no projecto ou qualidade, deve ter especial consideração.
- ❸ – No que se refere à inspeção visual e verificação de dimensões de estacas tubulares pré-moldadas e pré-esforçadas ou estacas de betão armado, e ensaio de resistência à compressão de betão, a frequência recomendada do ensaio deve consultar ao regulamento de Macau, de acordo com o seguinte quadro [3]:

Fabricantes não certificadas pela organização acreditada de Macau S.A.R.

| Comprimento Total para Cada Modelo de Elemento de Estaca Utilizada no Projecto(m) | Dimensão do lote   | Frequência da Inspeção Visual                | Ensaio de Resistência à Compressão              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| < 500                                                                             | Todas as Estacas   | 10 Elementos de Estacas                      | --                                              |
| $\geq 500$ and < 20,000                                                           | $\leq 200$ Estacas | 10% e Não Inferior a 10 Elementos de Estacas | 1.5%                                            |
| $\geq 20,000$                                                                     | $\leq 200$ Estacas | 10% e Não Inferior a 10 Elementos de         | 1.5% para Primeiros 20,000m e 0.5% para o Resto |

Fabricantes certificadas pela organização acreditada de Macau S.A.R.

| Comprimento Total para Cada Modelo de Elemento de Estaca Utilizada no Projecto(m) | Dimensão do lote              | Frequência da Inspeção Visual                | Concrete compressive strength test |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| < 500                                                                             | Todos os Elementos de Estacas | 10 Elementos de Estacas                      | --                                 |
| ≥ 500                                                                             | ≤ 200 piles                   | 10% e Não Inferior a 10 Elementos de Estacas | 0.5%                               |

- ④ – A frequência recomendada do ensaio de verificação de momento de fendilhação para estacas de betão pré-moldadas e pré-esforçadas devem estar de acordo com as normas de Macau, cuja a recepção é realizada em relação aos materiais qualificados, 2 estacas para o ensaio de recepção. O ensaio de verificação de momento de fendilhação deve ser realizada por 3ª entidade independente de acordo com o seguinte quadro[3]:

| Tipo de Estaca | Frequência da Inspeção                                                                                |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | 1 amostra por cada 30.000 m, para obras com mais do que 30.000 m de cada modelo de elemento de estaca |
| AB*            | 1 amostra por cada 20.000 m, para obras com mais do que 20.000 m de cada modelo de elemento de estaca |
| B&C            | 1 amostra por cada 10.000 m, para obras com mais do que 10.000 m de cada modelo de elemento de estaca |

\* só para o caso do cumprimento da Norma Chinesa

- ⑤ – A realização do ensaio de carga axial de tracção / ensaio de carga transversal fica sujeito aos requisitos das especificações técnicas/ cadernos de encargo, e condições de projecto e de execução.
- ⑥ – A frequência da amostra não deve ser inferior a 20% do número total de estacas. Se necessário, pode ser reajustado para uma frequência entre 50% a 100%. Mais, para a relação entre o comprimento de estaca (L) e diâmetro (D) superior que 30 (i.e.  $L/D > 30$ ), deve considerar, de forma adequado, a substituição do ensaio sónico de integridade de estacas por ensaio dinâmico de carga em estacas, com uma frequência do ensaio previamente combinado ou de acordo com a relação de frequência entre 2 ensaios, sendo 1 ensaio dinâmico de carga em estacas a substituir por 5 ensaios sónicos de integridade de estacas.
- ⑦ – Caso não for mencionado a frequência da inspeção para a soldadura de ligação nas especificações técnicas e cadernos de encargos, deve ser realizada 1% (exame ultrasónico) para as estacas pré-moldadas e pré-esforçadas para compressão e 6% (exame ultrasónico) para tracção; Inspeção visual – 100% de total das juntas soldadas.  
Deve ser realizada 10% (exame ultrasónico) para estacas de aço (perfis H, tipo tubulares) ; Inspeção visual – 100% de total das juntas soldadas.

#### Norma a Cumprir

- a – Regulamento de Fundações [1]
- b – Guia de Dimensionamento Fundações [2]
- c – Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos
- d – Guide to Site Investigation [17]

#### Critério de Aceitação

- i – De acordo com os regulamentos [3], para cada elemento de estaca que não está de acordo com os requisitos da verificação de dimensões e inspeção visual deve ser rejeitado, 2 elementos de estacas adicionais devem ser inspeccionados.

- ii – De acordo com os regulamentos [3], o ensaio de resistência à compressão deve estar de acordo com dois requisitos fundamentais: o valor médio de seis resultados estimados de resistência de cubo em-situ equivalente não deve ser inferior ao valor da resistência especificada; e o valor individual de cada resultado estimado não deve ser inferior a 85% do valor da resistência especificada. Para diâmetro exterior da estaca inferior ou igual a 450mm, não deve ter um diâmetro inferior a 4mm de varão. Para diâmetro exterior da estaca entre 500mm e 600mm, não deve ter um diâmetro inferior a 5mm de varão. Para diâmetro exterior da estaca entre 800mm e 1000mm, não deve ter um diâmetro inferior a 6mm de varão. No caso em que os resultados não estão de acordo com os requisitos do ensaio, todos os elementos de estacas da mesma data de produção e do mesmo modelo, devem ser considerados não aceitáveis e rejeitados. No entanto, dois elementos de estacas adicionais, do mesmo lote, mas de data de produção diferente, deverão seleccionadas para nova verificação. Se qualquer uma destas duas amostras adicionais não cumprir qualquer um dos requisitos anteriores, todos os elementos de estaca do lote devem ser rejeitados e todos os elementos de estaca do mesmo modelo e data de produção devem ser considerados não aceitáveis e rejeitados.
- iii – De acordo com os regulamentos [3], para o ensaio de verificação do momento de fendilhação não deve apresentar qualquer fendilhação para o específico momento de fendilhação. No caso em que os resultados de dois elementos de estacas não estão de acordo com os requisitos do ensaio, todos os elementos de estacas devem ser rejeitados. No caso em que um dos resultados (dos dois elementos de estacas) não está de acordo com os requisitos do ensaio, quatro elementos de estacas adicionais do mesmo tipo e do mesmo lote devem ser verificados. Se qualquer uma destas amostras adicionais não cumprir qualquer um dos requisitos anteriores, todos os elementos de estaca do mesmo tipo devem ser rejeitados.
- iv – No caso dos resultados não estarem de acordo com os requisitos dos regulamentos ou relativas especificações técnicas, recomenda-se a verificação para dois elementos de estacas vizinhas adicionais. No caso em que os resultados não estão de acordo com os requisitos do ensaio, devem ser submetidos proposta remediável para o adequado trabalho de reforço.
- v – O critério de aceitação para ensaio de soldadura de ligação pode ser consultado no artigo 88 do regulamento REAE. Deve ser realizado adequado trabalhos de rectificação e realizar mais 2 ensaios adicionais do mesmo tipo de soldadura para verificação.

#### 4. Referências

- [1] Decreto-Lei n.º 47/96/M, Regulamento de Fundações, Governo de Macau
- [2] Guia de Dimensionamento Fundações, Direcção dos Serviços de Solos, Obras Públicas e Transportes, Governo de Macau
- [3] APR/DMC/017, Procedimentos de Aprovação e Recepção – Elementos de Estacas de Tipo PHC, Laboratório de Engenharia Civil de Macau (LECM)
- [4] General Specification for Civil Engineering Works, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [5] Canadian Foundation Engineering Manual, Canadian Geotechnical Society
- [6] EN10002, Tensile testing of metallic materials
- [7] EN10045, Charpy impact test on metallic materials. Test method (V- and U-notches)
- [8] ISO2808, Paints and varnishes. Determination of film thickness
- [9] GB13476, 先張法預應力混凝土管樁

- [10] JIS A 5337, Pretensioned Spun High Strength Concrete Piles
- [11] EN 12504-1, Testing Concrete in Structures - Cored Specimens - Taking, Examining and Testing in Compression
- [12] ASTM D4945, Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles
- [13] ASTM D5882, Standard Test Method for Low Strain Integrity Testing of Piles
- [14] ASTM D1143, Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load
- [15] ASTM D3689, Standard Test Method for Individual Piles Under Static Axial Tensile Load
- [16] ASTM D3966, Standard Test Method for Piles Under Lateral Loads
- [17] GEOGUIDE 2, Guide to Site Investigation, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [18] 樁基檢驗手冊, 中國水利水電出版社
- [19] 基礎工程施工規範與解說, 科技圖書
- [20] 土力學地基與基礎, 中國建築工業出版社
- [21] 預力混凝土管樁, 中國建材工業出版社
- [22] Code of Practice for Foundations, Buildings Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [23] GEO Publication No. 1/96, Pile Design and Construction, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong
- [24] JGJ 106, 建築基樁檢測技術規範, 中華人民共和國行業標準
- [25] JC/T 947, 先張法預應力混凝土管樁用端板
- [26] DBJ/T 15-22, 錘擊式預應力混凝土管樁工程技術規程