

Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Projecto de Engenharia

Obras de Parede Diafragma

1. Generalidades e Campo de Aplicação

A presente secção aplica-se no controlo de qualidade da execução e do material da parede diafragma em betão armado na área de arquitectura e construção civil. A parede diafragma é utilizado frequentemente como estrutura de suporte para trabalhos de escavação subterrânea, no fim de receber a pressão lateral e prevenir infiltração de águas subterrâneas, garantindo assim, a segurança durante a execução e dos edifícios vizinhos. Simultaneamente, pode ser utilizado como fundações ou estrutura da cave permanente (estrutural e não-estrutural);

A garantia de qualidade (na obra) da parede diafragma deve consistir os seguintes requisitos básicos:

- ✓ Requisitos para controlo da qualidade do material (betão e armadura de aço)
- ✓ Inspeção da zona escavada após limpeza e fabricação de lama bentonítica;
- ✓ Tolerância nos desvios da parede diafragma como largura, verticalidade, regularidade, localização em planta e cota;
- ✓ Tolerância nos desvios da zona escavada como profundidade, localização, espessura da parede, verticalidade, espessura de detritos na base, etc;
- ✓ Inspeção após a execução da parede diafragma, incluindo ensaio ultra-sónico (CSL) e ensaio de carote extraído, etc;
- ✓ Qualidade da interface entre parede diafragma e estrato, e espessura de detritos na base.

Os requisitos básicos acima indicados devem estar de acordo com o projecto, especificações, normas e regulamentos relevantes.

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 execução da parede diafragma para fim de aprovação ou de registo.

Antes da construção

- ✓ Relatórios do estudo geológico e plano de testes sobre o solo/rocha;
- ✓ Registo do estado das estruturas adjacentes e medidas de protecção, incluindo monitorização de segurança (como pressão hidrostática, deslocamento e assentamento) e plano de protecção ambiental;
- ✓ Informações sobre equipamentos utilizados na execução, incluindo equipamento para execução de parede diafragma (como perfurador rotativo de corte, clam-shell, parede diafragma perfurador, etc) e outras especificações dos equipamentos de execução.
- ✓ Plano de execução, incluindo o transporte, armazenamento do material para execução, configuração logística e organização, equipamentos de execução, procedimentos de execução, controlo de qualidade, controlo do nível freático, segurança na obra, medidas de contingência, etc;
- ✓ Informações detalhadas do material e relativos relatórios de inspecção, incluindo betão, aço, material de injeção, lama betonítica, etc. Os requisitos para material de betão e de aço

podem ser consultado em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Betão Armado" (Ref.:S-01)

- ✓ Plano geral de inspeção da parede diafragma, incluindo informações da terceira entidade para inspeção e ensaios.

Durante o processo da construção ou durante a recepção

- ✓ Registos e relatórios dos ensaios aos materiais da parede diafragma;
- ✓ Registos da execução na obra, incluindo:
 - Modelos do equipamento mecânico de escavação e equipamentos auxiliares
 - Referência, as coordenadas, espessura e profundidade da parede diafragma;
 - Descrição e quantidade do solo e água subterrânea, quantidade de remoção de lama, etc;
 - Material, traço, origem e quantidade da lama betonítica, etc;
 - Altura da argamassa de cimento na altura da betonagem;
 - Registos de qualidade da lama betonítica após mistura e antes de betonagem como densidade, perda de fluído, viscosidade de Marsh, pH, teor de areia, espessura da crosta de cimento, etc;
 - Condições especiais durante o trabalho de execução, incluindo instalação de armadura de aço e betonagem;
 - Registo de betonagem, incluindo tempo de betonagem, a sua localização, profundidade tubo-tremie de betonagem, volume do betão, altura média da superfície do betão elevado, curva de betonagem, etc;
 - Localização e dimensão (espessura e profundidade) da parede diafragma revista/reforçada;
 - Registos do desvio da verticalidade da parede diafragma (deflexão horizontal, vertical e inclinação), etc.
- ✓ Relatórios da inspeção na obra (incluindo qualidade visual da junta soldada do material de aço, relatórios do ensaio não destrutivo das ligações soldadas, relatórios da inspeção da zona escavada, relatórios da integridade da parede diafragma, etc);
- ✓ Telas finais (plantas) da parede diafragma.

3. Inspeção, Ensaio e Recepção

Os itens para a inspeção da parede diafragma representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Inspeção das Obras da Parede Diafragma									
Itens para Inspeção	Objectivos	Tolerância do Desvio			Controlo de Execução	Controlo do Material	Frequência da Inspeção	Norma a Cumprir	Nota
		Planta	Elevação	Inclinação					
Controlo do Ponto de Referência		✓	✓		✓		100%	a, b, c, d	
Monitorização da Segurança da Zona Escavada de Fundação e Estruturas Adjacentes ¹		✓	✓	✓	✓		Se Necessário ¹	a, b, c, d	
Ref. / Lote e Classe do Material						✓	100%	c, e	
Qualidade Visual						✓	100%	c	
Dimensão Normalizada						✓	100%	c, e	
Armazenamento e Transporte dos Materiais ^e						✓	100%	c, e	
Inspeção de Equipamentos ²					✓		Antes da Construção	-	
Controlo da Precisão de Execução ³		✓	✓	✓	✓		100%	c, f	
Inspeção da Parede de Guia ⁴		✓	✓	✓	✓		100%	c, g	
Inspeção da Zona Escavada ⁵		✓	✓	✓	✓		100% ²	c, h, i	
Remoção de Detritos e Inspeção da Base da Zona Escavada ⁶					✓		100%	c, f, h, i	
Execução, Instalação, Ligação da Armadura de Aço					✓		100%	c, d	
Betonagem de Betão ⁷					✓		100%	c, g	
Tratamento no Topo da Parede Diafragma					✓		100%	a, b, c	
Protecção Ambiental ⁸					✓		Se Necessário ¹	c	

Nota: Método de Inspeção

1 - Monitorização da Segurança da Zona Escavada de Fundação e Estruturas Adjacentes

Durante a escavação, deve ser realizado trabalhos de monitorização quanto a situação das estruturas adjacentes, na superfície e na zona escavada de fundação através do controlo de assentamento das estruturas adjacentes, a sua verticalidade, o assentamento da superfície, o deslocamento máximo da estrutura de protecção, a força axial de suporte, pressão do solo, o assentamento da coluna de suporte, o levantamento da zona escavada de fundação, no fim de compreender o impacto causado às estruturas adjacentes e zona escavada de fundação através da escavação. Os requisitos para o controlo de segurança das estruturas adjacentes e zona escavada de fundação podem ser consultado em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Monitorização de Segurança Geotécnica". No caso estiver especificado os

requisitos de monitorização nas especificações técnicas ou no projecto, deve ser respeitado; senão devem respeitar os requisitos do DBJ/T 15-20[14] para a monitorização.

2 – Inspecção de Equipamentos

Geralmente, inclui diafragmadora, parede diafragma perfurador e outros equipamentos e instalações de execução.

3 – Controlo da Precisão de Execução

Como a precisão de execução afecta a capacidade de resistência da fundação, a resistência do sistema de suporte e em conformidade com o projecto, e, portanto, deve ser controlada dentro dos requisitos; No caso, os requisitos estiverem especificados nas especificações técnicas ou projecto, devem ser respeitados; No caso não estiver especificado, deve seguir de acordo com os requisitos de GB50202[4], com as seguintes tolerâncias:

- Verticalidade: Estrutura permanente $\leq 1/300$
Estrutura temporária $\leq 1/200$
- Profundidade da cova +100mm
- Nivelamento da superfície da parede : Estrutura permanente ± 100 mm
Estrutura temporária ± 150 mm
Estrutura instalada ± 20 mm

4 – Inspecção da Parede de Guia

A parede de guia tem como função de garantir a precisão de execução da parede diafragma em termos da sua localização e nivelamento na base, guia para a execução da diafragmadora e equipamento de betonagem e armazenamento da lama betonítica e estabilização da lama dentro da zona escavada; No caso, os requisitos estiverem especificados nas especificações técnicas ou projecto, devem ser respeitados; No caso não estiver especificado, deve seguir de acordo com os requisitos de DG/TJ08-2073[5], com as seguintes tolerâncias:

- Largura ± 10 mm
- Verticalidade $H/500$ e ≤ 5 mm (H-profundidade da parede de guia)
- Nivelamento ≤ 5 mm
- Desvio na planta ± 10 mm
- Desvio da cota superior ± 20 mm

5 – Inspecção da Zona Escavada

Durante a escavação, deve ser realizada inspecção a lama no fim de garantir a estabilidade da zona escavada. Antes de betonagem, deve ser verificada com aparelho de medição de espessura para garantir a dimensão da parede e evitar situações de deslizamento; Após a escavação, deve remover todo o resto de lama que se encontra no betão.

No caso estiver especificado os requisitos das características da lama betonítica nas especificações técnicas ou no projecto, deve ser respeitado; senão deve ser seguido de acordo com a cláusula 6.3.1 da norma britânica EN 1538 [13] os seguintes requisitos:

Item	Unidade	Lama Betonítica Após Mistura	Lama Betonítica Re-Utilizada	Lama Betonítica Antes de Betonagem
Densidade	g/ cm ³	<1.10	<1.25	<1.15
Viscosidade de Marsh	sec	32 - 50	32 - 60	32 - 50
Perda de Fluido	cm ³	<30	<50	-
pH		7 - 11	7 - 12	-
Teor de Areia	%	--	--	<4
Esp. da Crosta de Cimento	mm	<3	<6	-

Deve realizar os testes da lama betonítica acima indicados antes de betonagem para cada unidade de parede diafragma, com o auxílio de equipamentos adequados para a sua extracção no fundo do tanque de acordo com a Prática Recomendado do Instituto Petrolífero de América 13B-1 [7] .

6 – Remoção de Detritos e Inspecção da Base da Zona Escavada

Após a escavação e pré-definir a profundidade, deve ser removido a lama e detritos que se encontra na base da zona escavada; no caso a profundidade da base for até ao maciço rochoso, deve ser feita inspecção à profundidade da base antes de betonagem de acordo com os requisitos do projecto. Mais, deve ser extraído amostra da rocha na superfície e na base da fundação para a inspecção visual e a confirmação da qualidade da rocha.

7 – Betonagem de Betão

No acto de betonagem deve ser adoptado métodos apropriados no fim de garantir a qualidade do betão; No caso estiver especificado os requisitos dos métodos de execução nas especificações técnicas ou no projecto, deve ser respeitado; senão deve ser seguido de acordo com DG/TJ08-2073-2010[5], os seguintes requisitos:

- A distância entre o tubo da betonagem e superfície não deve ser superior a 3m, e 1.5m entre o tubo e o lateral da parede.
- Após o início da betonagem, o tubo de betão deve estar enterrado com um comprimento superior a 500mm;
- A betonagem deve ser feita de forma contínua, com um intervalo não superior a 30min;
- onde o tubo de betão deve estar enterrado no betão a uma profundidade entre 2m a 4m, e a diferença entre dois tubos adjacentes deve ser inferior a 0.5m.

Durante a betonagem, deve ser garantido o registo de betonagem, incluindo tempo de betonagem, a sua localização, profundidade tubo-tremie de betonagem, volume do betão, altura média da superfície do betão elevado. Ao mesmo tempo, deve ser realizado curva de betonagem de acordo com a profundidade e volume acumulado de betão para a confirmação da qualidade de betonagem e a verificação dos possíveis defeitos.

8 – Protecção Ambiental

Para a execução da parede diafragma deve adoptar relativos equipamentos de modo garantir a produção do ruído e vibrações de acordo com os requisitos das leis e regulamentos locais.

Frequência da Inspeção

- ① – 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.
- ② – Na altura de betonagem é utilizada a pressão da lama betonítica (superior a pressão da água subterrânea) para criar o bolo de protecção na periferia da zona escavada para a boa estabilidade. Por isso para cada lote da lama betonítica deve ser dividido três fases de controlo de qualidade, a fase de criação da lama, a fase durante o trabalho da escavação e a fase antes da sua betonagem.

Norma a Cumprir:

- a – Regulamento de Fundações [1]
- b – Guia de Dimensionamento Fundações [2]
- c – Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos
- d – Especificações Gerais para Trabalhos de Engenharia Civil [3]
- e - Especificações Técnicas de Produtos do Fabricante
- f – Norma de Aceitação de Fundações GB 50202 [4]
- g – Norma da Execução da Parede Diafragma DG/TJ08-2073 [5]
- h – Prática Recomendado do Instituto Petrolífero de América 13B-1 [7]
- i – EN 1538 Execução dos Trabalhos Específicos de Geotécnica – Parede Diafragma [13]

Os itens para o ensaio e recepção das obras da parede diafragma representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Ensaio de Obras da Parede Diafragma									
Itens para Inspeção	Objectivos	Análise do Solo	Material da Parede Diafragma	Integridade da Parede Diafragma	Resist. da Parede Diafragma	Frequência Recomendada do Ensaio	Norma a Cumprir	Critério de Aceitação	Nota
Estudo Geológico		✓				Se Necessário ①	a, b, c, e	-	
Material da Parede Diafragma Coontinua	Ensaio do Material do Ferro de Aço ¹		✓			-	c	-	
	Ensaio do Material de Betão ²		✓			-	c	-	
	Ensaio do Material da Calda de Injecção ³		✓			Cada Betonagem	c ASTM C939 [6]	-	
	Ensaio do Material do Elemento de Aço		✓			Se Necessário	c	-	
Determinação do Maço Rochoso / Maço de Resistência (prospecção com pré-perfuração) ⁵					✓	Estrutural (<i>load-bearing</i>) : Cada Unidade / Cada 4m Não-Estrutural (<i>non-load bearing</i>) : Cada 10m	c, d, f, g	i	
Ensaio Ultra-sónico da Zona Escavada ⁶					✓	Estrutura Permanente : Cada Unidade (dois pontos para cada painel) Estrutura Temporária : 20% (dois pontos para cada painel)	c, h	-	
Ensaio Ultra-sónico da Integridade da Parede Betonado (CSL) ⁷					✓	Estrutural (<i>load-bearing</i>) : Cada Unidade Não-Estrutural (<i>non-load bearing</i>) : 10%	c, d ASTM D6760 [8]		
Inspeção da Interface Entre Betão e Maço Rochoso ⁸					✓	Cada Unidade	g		
Ensaio de Resistência à Compressão dos Carotes Extraídos ⁹					✓	5%	c, d EN 12504-1 [9]	ii	No MIn. 2 Unidades

Nota: Método de Inspeção

- 1 – Ensaio do Material do Ferro de Aço
Geralmente, inclui inspeção da sua dimensão, peso, ensaio de tracção e ensaio da qualidade de juntas, onde os requisitos podem ser consultados em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Betão Armado".
- 2 – Ensaio do Material de Betão
Geralmente, inclui análise da mistura de betão, teste de slump, ensaio de resistência à compressão de cubos de betão e ensaio de resistência aos carotes extraídos, onde os requisitos podem ser consultados em "Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Betão Armado".
- 3 – Ensaio do Material da Calda de Injecção
Geralmente, inclui análise da mistura do material da calda de injecção, ensaio de resistência ao esmagamento (Grout-Crushing Strength) e ensaio de fluxo da calda de injecção, ensaio de resistência à compressão aos cubos de 100mm (conjunto de 9 provetes para teste de cura aos 3, 7 e 28 dias).
- 4 – Ensaio do Material de Aço
Deve ser garantido a boa resistência e rigidez do material de ligação de acordo com os requisitos do projecto.
- 5 – Determinação do Maçico Rochoso / Maçico de Resistência (prospecção com pré-perfuração)
No caso exigido pelo projecto onde a profundidade terá de atingir até ou dentro do maçico rochoso, e para garantir a qualidade do maçico a 5m abaixo da base da parede diafragma, livre do solo mole, deve realizar as seguintes inspeções:
 - a. Ensaio de perfuração ao maçico rochoso antes e depois de betonagem, onde é adoptado um perfurador de 60mm de diâmetro mínimo para extracção de carotes de acordo com os requisitos das especificações técnicas e peças desenhadas, incluindo determinação de TCR/RQD, controlo de qualidade visual, ensaio de resistência à compressão, etc;
 - b. Antes da execução, deve proceder a pré-perfuração (pre-drilling) de acordo com os requisitos da alínea a, para a confirmação da qualidade da base do maçico rochoso / maçico de resistência; no caso, as especificações técnicas não indicam a frequência do ensaio, deve ser realizado um em cada 4m ou a cada unidade da parede diafragma para parede estrutural e um em cada 10m para parede não estrutural.
 - c. Para caso ter suficientes informações de estudo geológico, estas podem ser utilizados para análise da localização do maçico rochoso / maçico de resistência;
 - d. Além dos métodos de inspeção utilizados na alínea a para a verificação da continuidade do maçico rochoso/maçico de resistência, pode ser coleccionado amostras de fragmentos de pedra durante a execução da parede diafragma de cada unidade e verificação de qualidade de acordo com Guia de Descrições da Rocha e Solo [10].
- 6 – Ensaio Ultra-sónico da Zona Escavada
Pode ser utilizado teste de Koden, que através da diferença de tempo entre o envio do sinal ultra-sónico para o receptor e cálculo automático da distância entre da parede e emissor, para a determinação do perfil da zona escavada, de forma garantir a sua espessura e verticalidade de acordo com os requisitos exigidos.
- 7 – Ensaio Ultra-sónico da Integridade da Parede Betonada
A utilização do equipamento ultra-sónico (detector ultra-sónico, sensor transdutor/transmissor e sensor transdutor/receptor) pode determinar a integridade e qualidade da estrutura da parede através do tubo de acesso instalado na parede diafragma.

Antes da instalação de armadura deve ser instalada o tubo de acesso por soldadura ou fixada na face lateral da armadura (com ponto de fixação não superior a 1.0m), equidistantes e paralelos ao longo do comprimento da parede, e deve erguer os tubos de acesso até 1.5m acima do nível da superfície do terreno para a execução do ensaio.

Geralmente, é recomendado a utilização de tubos de aço com diâmetro não inferior a 42mm e espessura 2.5mm, e por ligação mecânica.

A quantidade de tubos de acesso depende do comprimento da parede diafragma, onde para caso do comprimento for menor que 3m deve utilizar 3 conjuntos de tubos de acesso; no caso do comprimento for superior a 5.6m, deve utilizar 6 conjuntos de tubos de acesso ou até 9 conjuntos.

Para parede diafragma não estrutural, a quantidade de tubos de acesso a instalar deve ser geralmente, definido pelo projectista; no caso não for especificado, deve considerar 30% da unidade da parede diafragma e após a betonagem deve seleccionar amostra para o ensaio ultra-sónico da integridade.

8 – Inspeção da Interface Entre Betão e Maciço Rochoso

Deve utilizar perfurador mecânico para extracção de carotes no fim de garantir a interface entre betão e maciço rochoso livre de detritos. A profundidade de sondagem deve atingir no mínimo a 1m da base da fundação.

Geralmente, é sugerido a adopção de tubos de acesso com diâmetro mínimo de 150 mm, em ferro ou aço fundido, com uma distância mínima a 1m em relação a base da estaca. A forma de conexão entre tubos é sugerida ser executada de forma mecânica. O diâmetro mínimo da carotagem não deve ser inferior a 60mm;

Após a aceitação do resultado do ensaio, deve ser preenchido com argamassa sem contracção, devidamente aprovada, no orifício perfurado.

9 – Ensaio de Resistência à Compressão dos Carotes Extraídos

Deve utilizar perfurador mecânico para extracção de carotes no fim de garantir a integridade e resistência da parede diafragma. A profundidade de sondagem deve atingir no mínimo a 1m do maciço rochoso / maciço de resistência.

O diâmetro da carotagem deve ser no mínimo 3 vezes do maior diâmetro dos grãos, tendo no mínimo 70mm no geral [15].

Após a aceitação do resultado do ensaio, deve ser preenchido com argamassa sem contracção, devidamente aprovada, no orifício perfurado.

Frequência Recomendada da Inspeção

- ❶ – No caso em que os requisitos do projecto ou de execução forem baseados nos ensaios de carotes, estes devem ser realizados. A profundidade deve ser atingido no mínimo 5m abaixo da base da fundação, salvaguardando a excepção para caso da existência do maciço rochoso nas áreas rasas.

Norma a Cumprir

- a - Regulamento de Fundações [1]
- b - Guia de Dimensionamento de Fundações [2]
- c - Especificações Técnicas do Projecto / Cadernos de Encargos
- d - Especificações Gerais para Obras de Engenharia Civil [3]
- e - Guia do Estudo Geológico [10]
- f - Projecto e Construção de Fundações [11]
- g - Código de Prática de Fundações [12]
- h - DG/TJ08- 2073 Norma da Execução da Parede Diafragma [5]

Critério de Aceitação

- i – No caso dos resultados não estarem de acordo com os requisitos dos regulamentos ou especificações técnicas, deve aumentar a profundidade da parede até em conformidade com os requisitos de aceitação para maciço rochoso / maciço de resistência.
- ii – No caso dos resultados não estarem de acordo com os requisitos dos regulamentos ou especificações técnicas relativas, é recomendado uma nova verificação a duas localizações adjacentes e deve submeter medida/método de contingência e trabalhos adequados de reforço.

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] General Specification for Civil Engineering Works, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [4] GB 50202, 建築地基基礎工程施工質量驗收規範
- [5] DG/TJ08-2073, 地下連續牆施工規程
- [6] ASTM C939, Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)
- [7] API RP 13B-1, Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids, American Petroleum Institute, United State of America
- [8] ASTM D6760, Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing
- [9] EN 12504-1, Testing Concrete in Structures - Cored Specimens - Taking, Examining and Testing in Compression
- [10] GEOGUIDE 2, Guide to Site Investigation, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [11] GEO Publication No. 1/2006, Foundation Design and Construction, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [12] Code of Practice for Foundations, Buildings Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [13] EN 1538, Execution of Special of Geotechnical Work – Diaphragm Wall
- [14] DBJ/T 15-20, 建築基坑工程技術規程
- [15] JGJ 106, 建築基樁檢測技術規範