

**Capitão-de-Mar-e-Guerra (EN) André Paulo da Silva Pinto**

Chefe do Grupo de Gerenciamento dos Projetos e de Fiscalização das Obras Civas Relativas ao PROSUB

Graduado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS)

**Capitão-de-Corveta (EN) Márcio Ramalho Amendola**

Membro do Grupo de Gerenciamento dos Projetos e de Fiscalização das Obras Civas Relativas ao PROSUB

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Curso de Extensão em Planejamento e Controle de Obras Públicas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

**Primeiro-Tenente (RM2-EN) Caroline Sidrim G. L. Mansur**

Membro do Grupo de Gerenciamento dos Projetos e de Fiscalização das Obras Civas Relativas ao PROSUB

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Mestre em Geotecnia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

PAREDES DIAFRAGMA NAS OBRAS DE CONSTRUÇÃO DO ESTALEIRO E BASE NAVAL (EBN)

1. INTRODUÇÃO

Dando prosseguimento aos artigos publicados nas edições anteriores da Revista Obras Civas, sobre as obras de construção do Estaleiro e Base Naval para Submarinos (EBN), será abordado nesta edição o emprego, de um tipo de contenção denominada parede diafragma, escavada com lama bentonítica.

Tal método é usualmente utilizado quando as escavações situam-se abaixo do nível d'água, interceptando lençol freático e

transpondo solos coesivos, não-coesivos e de grandes resistências.

Com o avanço das obras marítimas do EBN (enrocamento, aterro hidráulico e cais), que atingiram em 2013 a sua quase totalidade, foi possível dar início à execução das paredes diafragma, primordiais para que sejam realizadas as escavações para a construção dos diques e dos cais de atracação dos submarinos convencionais e de propulsão nuclear.



2. HISTÓRICO

A técnica de construção de paredes diafragma iniciou-se com o surgimento da indústria de perfuração de poços petrolíferos. Apesar do efeito estabilizador das lamas nas perfurações ser conhecido desde 1900 na indústria petroleira, a primeira publicação sobre o assunto só apareceu em 1913.

Progressos técnicos consideráveis só ocorreram a partir do início dos anos 40, tendo sido construídas, já nos anos 50, as primeiras estruturas em diafragmas de concreto armado, na Itália. Essas estruturas foram utilizadas com funções de impermeabilização e posteriormente em obras de contenção.

No Brasil a primeira parede diafragma foi executada pela FRANKI para o Edifício do Pelletron, na Universidade de São Paulo, em 1969.

Atualmente, as paredes diafragma têm conquistado espaço significativo nas construções de túneis, passagens e estacionamentos subterrâneos, metrô, galerias de esgoto, barragens de terras fundadas em solos permeáveis, diques e outras aplicações, obtendo-se bons resultados a profundidades de até 150 metros.

3. TIPOS DE PAREDES DIAFRAGMA

Os tipos de paredes diafragma comumente construídas são:

- Moldadas "in loco", de concreto armado ou não;
- De concreto armado em placas pré-moldadas; e
- Constituídas de uma mistura de cimento, bentonita e água, em proporções convencionais, conhecida como "coulis", formando uma parede diafragma impermeabilizante (plástica).

4. METODOLOGIA EXECUTIVA

A metodologia construtiva consiste, inicialmente, na execução de muretas-guia em torno das futuras paredes, que irão auxiliar a introdução de equipamentos de escavação no solo (Figura 1).

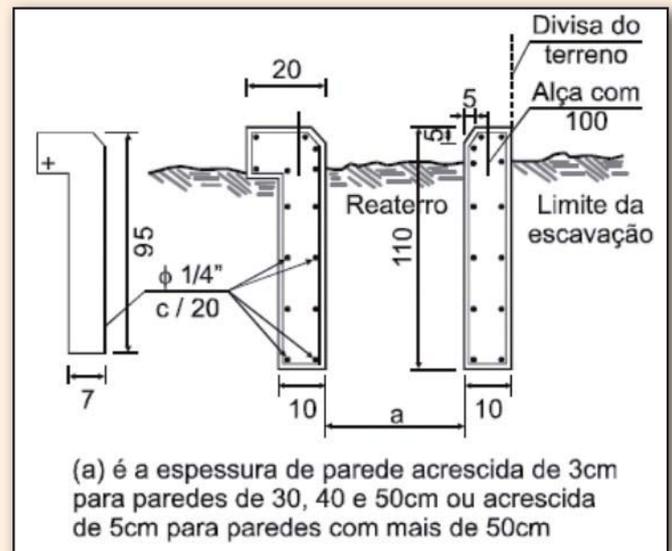


Figura 1 – Detalhe construtivo da mureta-guia
 Fonte: http://www.abef.org.br/docs/manual/paredes_diafragma.pdf

A seguir inicia-se a escavação da parede diafragma. Nessa etapa podem ser empregados dois tipos de equipamentos: o *Clam Shell*, que funciona pela ação de duas garras que se fecham hidráulicamente ou por meio de cabos, e a hidrofresa que, ao invés de garras, escava pela ação de duas rodas de corte (Figuras 2, 3 e 4).

A escolha do equipamento dependerá do projeto, das características e propriedades do solo, da presença de rochas e da profundidade, sendo normalmente iniciada com o *Clam Shell* e concluída com a hidrofresa.



Figura 2 – Escavação com *Clam Shell*

As cavas, também denominadas de lamelas, têm formas retangulares, com espessura variando entre 30 e 120 cm e largura de 2,50 a 3,20 m.

A escavação é executada simultaneamente com o preenchimento das cavas empregando-se a lama bentonítica, que serve de fluido estabilizante e evita que ocorram erosões das paredes do solo escavado. Ou seja, a medida que o material original do solo é extraído, o espaço passa a ser ocupado pela lama bentonítica.

Figura 3 – Escavação com hidrofresa



Figura 4 – Tipos de Rodas de corte da hidrofresa

Fonte: http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao615/615_civil.pdf

Concluída a fase de escavação, as etapas seguintes variam com o tipo de parede diafragma que será executada. No caso do tipo moldado "in loco", tal qual o utilizado na obra do EBN, são inseridas as armações e demais complementos, como o tubo tremonha, o tubo junta e a chapa espelho.



Figura 5
Colocação das armações da lamela

A lamela é concretada de baixo para cima, a partir do tubo tremonha, e o concreto lançado expulsa a lama bentonítica, em função da sua maior densidade. O fornecimento do concreto deve ser contínuo e não se deve permitir interrupção por período de tempo superior a 20 minutos, a fim de evitar danos à continuidade do fuste concretado da parede.

A sequência de execução de lamelas (Figuras 5, 6 e 7) é composta de módulos primários e secundários. A distância entre os painéis primários deve ser sempre inferior à abertura da fresa, de modo que quando sejam executados os módulos secundários, os painéis fiquem sobrepostos, removendo uma pequena parte do concreto dos painéis primários adjacentes. Dessa forma, cria-se uma superfície rugosa entre as lamelas, oferecendo maior estanqueidade.

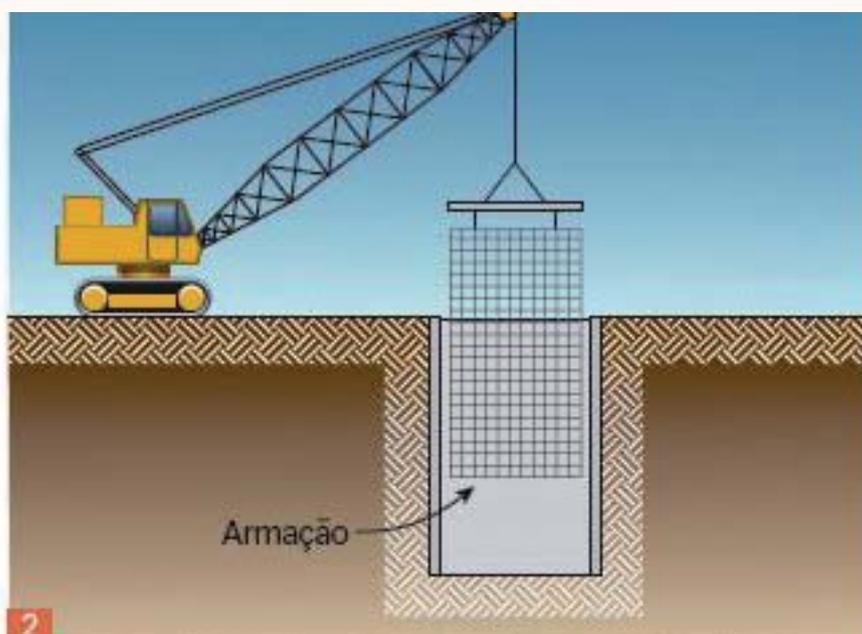
Figura 6 – Concretagem da lamela



ETAPAS DE EXECUÇÃO DO SISTEMA MOLDADO "IN LOCO"



1
Escavação do terreno com a diafragadora, na profundidade especificada pelo projeto. Simultaneamente o painel escavado é preenchido com lama bentonítica ou polímero.



2
Colocação da armadura dentro do painel ainda com lama. Nessa fase inserem-se também as juntas dos painéis.



3
Concretagem submersa do painel. As juntas são retiradas logo que se inicia a pega do concreto.

Figura 7 – Etapas de execução do sistema moldado "in loco"

Fonte: <http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-imobiliario/131/artigo260059-1.asp>

5. CARACTERÍSTICAS

O componente que proporciona o êxito dessa técnica construtiva é a bentonita, uma rocha constituída essencialmente por um argilomineral montmorilonítico (esmetctítico), formado pela desvitrificação e subsequente alteração química de um material vítreo, de origem ígnea, usualmente um tufo ou cinza vulcânica em ambientes alcalinos de circulação restrita de água (Ross, 1926 apud Silva & Ferreira, 2008).

O termo bentonita foi aplicado pela primeira vez para denominar um tipo de argila plástica descoberta em Fort Benton, Wyoming - EUA. A bentonita pode ser cálcica, sódica, policatiônica, etc. Quando sódica apresenta uma característica física muito particular de expandir várias vezes o seu volume e quando em contato com a água, forma géis tixotrópicos. A bentonita deverá apresentar requisitos específicos para sua utilização em paredes diafragma, conforme descrito na tabela a seguir.

Tabela 1 – Requisitos da bentonita para utilização em paredes diafragma
Fonte: http://www.abef.org.br/docs/manual/paredes_diafragma.pdf

Resíduos na peneira n ^o 200	≤ 1%
Teor de umidade	≤ 15%
Limite de liquidez	≥ 440%
Viscosidade MARSH 1500 / 1000 da suspensão a 6° em água destilada	≥ 40 seg
Água separada por presso-filtração de 450cm ² de suspensão a 6% nos primeiros 30 minutos à pressão de 0,7 Mpa	≤ 18cm ²
pH da água filtrada	7 a 9
Espessura do “cake” no filtro-prensa	≤ 2.5 mm

As principais funções da lama durante a escavação são:

- a) suportar a face da escavação;
- b) formar um selo para impedir a perda da lama no solo; e
- c) deixar em suspensão partículas sólidas do solo escavado, evitando que elas se depositem no fundo da escavação.

A lama bentonítica poderá ser reaproveitada, após passar por um tratamento em uma central de lama (Figura 8), composta de reservatórios verticais para estocagem, misturador de alta turbulência, bombas de alta vazão e hidrociclone para a desarenação da mesma.



Figura 8 – Central de lama

6. VANTAGENS E DESVANTAGENS

O emprego de paredes diafragma apresenta as vantagens de não provocar vibrações sobre os terrenos adjacentes, não necessitar de rebaixamento do lençol freático, conseguir vencer solos de alta resistência, suportar simultaneamente pressões laterais e cargas verticais, além de poder ser incorporada à estrutura em construção.

Contudo, o rompimento acidental de algum conduto enterrado poderá levar à perda instantânea da lama bentonítica, produzindo um colapso imediato ao redor da escavação. Para evitar esse tipo de incidente, torna-se imprescindível realizar previamente as sondagens de reconhecimento do subsolo e o devido mapeamento das instalações existentes.

7. MONITORAMENTO E CONTROLE DE QUALIDADE

O planejamento e acompanhamento das etapas de execução, com a observância das especificações construtivas, é essencial para a otimização de recursos, redução de prazos e eficiência da execução da obra.

Embora de rápida execução, diversos cuidados devem ser observados para que não ocorram problemas na execução das paredes diafragma. José Luiz Saes, presidente do conselho da Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (ABEF), afirma que se houver defeito nas juntas entre os painéis, pode acontecer de vazar água e outros materiais do terreno para dentro do subsolo escava-

do, criando um vazio no solo do edifício vizinho e até comprometendo suas fundações. Outro problema acontece quando o painel desvia para dentro da obra, causando perda de área. Quando os painéis ficam com armadura exposta também é preciso consertar.

No caso das obras do EBN, de acordo com o engenheiro civil Leonardo Veras, Responsável de Produção da Construtora Norberto Odebrecht, “as paredes diafragma são uma etapa de extrema importância para o empreendimento, pois viabilizará a execução das docas secas. Trata-se da construção de uma verdadeira “muralha subterrânea” que suportará a carga lateral do terreno, dando estanqueidade e condições à escavação. Realmente, uma obra desafiadora, tanto do ponto de vista da engenharia, quanto por sua gigantesca dimensão!”

Os quantitativos da obra são impressionantes: ao todo estão previstas a escavação e a concretagem de mais de 50.000 m³ de paredes diafragma, incluindo as paredes em “*coulis*”.

8. CONCLUSÃO

A solução em paredes diafragma tem se tornado cada vez mais presente nas obras de geotecnia, em função da sua versatilidade e capacidade de vencer grandes profundidades, associada à minimização dos imprevistos e vibrações sobre os terrenos adjacentes, permitindo executar uma grande variedade de projetos com a garantia de qualidade e desempenho exigidos.

No que tange à obra de construção do EBN, as paredes diafragma representam uma das atividades mais importantes, pois irão conter as massas de solo, enquanto se derem os trabalhos de construção dos diques secos com requisitos nucleares.

Sendo assim, além do grande desafio que representa sua construção, as paredes diafragma contribuirão para o aprimoramento profissional do corpo técnico da DOCM.

9. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA (ABEF), Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos ABEF D01, 3ª. ed. <http://www.abef.org.br/docs/manual/paredes_diafragma.pdf>
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA <<http://www.abms.com.br>>
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações – Procedimento
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8044 – Projeto Geotécnico – Procedimento
- [6] ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA <<http://www.associazionegeotecnica.it>>
- [7] ESTACAS FRANKI <<http://www.franki.com.br/PAREDE%20DIAFRAGMA.pdf>>
- [8] HACHICH, W., FALCONI, F.F., SAES, J. L. et al, Fundações Teoria e Prática. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1998
- [9] MARIANE, A. in REVISTA CONSTRUÇÃO & MERCADO, ed. 131, São Paulo: PINI, 2011. <<http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-imobiliario/131/artigo260059-1.asp>> (acesso em 03/09/2013)
- [10] RAMOS, G. M., in REVISTA BRASIL ENGENHARIA – ed. 615 – pp. 96-99, 2013
<http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao615/615_civil.pdf>
- [11] ROSS, C.S. & SHANNON, E.V., Minerals of Bentonite and Related Clays and Their Physical Properties, Journal of American Ceramic Society v. 9, pp. 77-96, 1926.
- [12] SILVA, A. & FERREIRA, H. Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais, in Revista Eletrônica de Materiais e Processos v.3.2, pp. 26-35, Paraíba: 2008 <<http://www.dema.ufcg.edu.br/revista/index.php/REMAP/article/view/77/91>> (acesso em 05/09/2013).