




**ANÁLISE COMPARATIVA DO PROCESSO EXECUTIVO DE PAREDE
DIAFRAGMA: O CASO DA PAREDE DIAFRAGMA MOLDADA *IN LOCO* PARA
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DIAPHRAGM WALL CONSTRUCTION
PROCESS: THE CASE OF CAST *IN LOCO* DIAPHRAGM WALLS FOR
RESIDENTIAL BUILDINGS**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS
PANTALLA: EL CASO DE LOS MUROS PANTALLA DE HORMIGÓN VERTIDO
IN SITU PARA EDIFICIOS RESIDENCIALES**

 <https://doi.org/10.56238/levv17n60-063>

Data de submissão: 25/04/2026

Data de publicação: 25/05/2026

Ariston da Silva Melo Júnior

Pós-doutor em Engenharia de Materiais e Engenharia Civil
Instituição: Universidade de São Paulo associada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
(USP/IPEN), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
E-mail: juniorariston@gmail.com / ariston.junior@fmu.br

Kleber Aristides Ribeiro

Mestre em Administração
Instituição: Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU)
E-mail: kleber.ribeiro@fmu.br

Prandy Lovo de Oliveira

Mestre em Engenharia Mecânica
Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP)
E-mail: prandy.oliveira@fmu.br

José Gustavo de Oliveira

Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais
Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP)
E-mail: jose.oliveira@fmu.br

João Jorge Pereira da Silva

Doutorando em Planejamento Urbano e Obras de Infraestrutura
Instituição: Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: joao.silva09@cps.sp.gov.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta os tipos de paredes diafragma: moldada in loco, pré-moldada, coullis (plástica) e mista. Nele foi desenvolvido o caso da parede diafragma moldada in loco atirantada, suas características e tipos de aplicações. Este tipo de sistema de contenção é muito utilizado atualmente nos prédios e edificações residenciais e comerciais que possuem subsolos. Elaborou-se uma revisão

bibliográfica, onde foram explicados os métodos construtivos, documentos necessários, descrição dos equipamentos e etapas para execução da parede diafragma conforme a necessidade da obra. No estudo de caso, foi abordado o tema com mais detalhes, e nessa etapa foi vivenciado o assunto em questão; realizaram-se varias visitas em obras importantes para o entendimento do trabalho, permitindo compreender melhor a teoria e sua aplicação na prática. Utilizou-se para o estudo de caso, os dados de uma obra para a construção de um condomínio residencial, pela Construtora Construcompany, na região central de São Paulo. Na obra observou-se o problema de espaço em relação aos equipamentos utilizados na execução da parede diafragma moldada in loco atirantada, além de problemas relacionados às fundações nas construções vizinhas devido à execução de tirantes. Nas considerações finais foram analisadas as principais necessidades da utilização da parede diafragma e os seus diferenciais entre os diversos tipos de sistemas de contenção.

Palavras-chave: Parede Diafragma Moldada in loco Atirantada. Sistemas de Contenção. Motion Avanhandava.

ABSTRACT

This paper presents the types of diaphragm walls: cast in situ, precast coulis (plastic) and mixed. It explains in the case of diaphragm wall moldes in loco cable stayed, their characteristics and types of usage. This containment system is greatly used in commercial and residential buildings with underground. A bibliographic review has been written where construction methods are demonstrated, and also requires documents, description of equipments and steps for implementation of diaphragm wall according to the situation. The case study has addressed the theme in more detail, and at this point it experienced what has been mentioned. There were visits to important places so as to understand theory and practice. Data from Construcompany (Construction Company) has been collected for the case study on a residential condominium. Its address is Martins Fontes street, 379 Higienópolis, São Paulo. It was found there problem of space for equipment used in the implementation of diaphragm wall molded in loco cable stayed, as well as problems related to foundations in neighboring buildings due to robs in the area. In the final considerations the main needs of the use of diaphragm wall and its differentials between the various types of contawment systems have been analysed.

Palavras-chave: Diaphragm Wall Molded in loco Cable Stayed. Construction Methods. Motion Avanhandava.

RESUMEN

Este artículo presenta los tipos de muros pantalla: de hormigón vertido in situ, prefabricados, de hormigón prefabricado (plástico) y mixtos. Se desarrolla un estudio de caso del muro pantalla anclado de hormigón vertido in situ, sus características y tipos de aplicaciones. Este tipo de sistema de contención se utiliza ampliamente en la actualidad en edificios residenciales y comerciales con sótanos. Se realizó una revisión bibliográfica que explica los métodos de construcción, la documentación necesaria, la descripción de los equipos y los pasos para la ejecución del muro pantalla según las necesidades del proyecto. El estudio de caso abordó el tema con mayor detalle, y esta etapa implicó la experiencia directa del tema; se realizaron varias visitas a importantes obras de construcción para comprender mejor la teoría y su aplicación práctica. El estudio de caso utilizó datos de un proyecto de construcción de un condominio residencial realizado por Construcompany en la región central de São Paulo. El proyecto puso de manifiesto las limitaciones de espacio relacionadas con los equipos utilizados en la construcción del muro pantalla anclado de hormigón vertido in situ, así como problemas de cimentación en edificios vecinos debido a la instalación de anclajes. Las consideraciones finales analizaron las principales necesidades para el uso de muros pantalla y sus diferencias con respecto a diversos tipos de sistemas de contención.

Palabras clave: Muro Pantalla Anclado de Hormigón in situ. Sistemas de Contención. Motion Avanhandava.

1 INTRODUÇÃO

O valor médio do metro quadrado de um terreno no estado de São Paulo está aumentando, nas últimas décadas, e está diminuindo sua oferta nas regiões nobres. As pessoas preferem essas localidades para morar, pois, em muitos casos, a região fica próxima do trabalho e de atratividades, evitando-se assim problemas de deslocamentos como o trânsito e buscando-se uma melhoria na qualidade de vida. Outra causa que aumenta a concentração da população nas áreas urbanas é decorrente do abandono das áreas rurais. Para a otimização dos poucos terrenos disponíveis, são executadas edificações verticais. Porém é necessário conter o maciço de solo no entorno da área onde será construída. Atualmente, existem diferentes tipos de sistemas de contenção utilizados, e sua escolha depende das condições do local a ser executado o projeto.

Um sistema de contenção utilizado, atualmente, são as paredes diafragma, que servem como contenção de subsolos em construções, como execução de túneis e valas de acesso, construção de poços, entre outros tipos de obras.

“As obras de contenção mais antigas de que temos notícia são muros de alvenaria de argila, contendo aterros na região sul da Mesopotâmia (atual Iraque), construídos por sumerianos entre 3.200 e 2.800 a.C. As estruturas de arrimo foram as primeiras obras de contenção a serem introduzidas no Brasil no século 17, com os fortes costeiros, e no século 18 tiveram seu uso expandido para obras portuárias e de contenções urbanas, na Bahia e no Rio de Janeiro, com a vinda da Corte Portuguesa.” Hachich (1998)

Craig (2007) define parede diafragma como uma membrana de concreto relativamente fina, moldada em uma escavação ou trincheira e cujos lados são suportados, antes da moldagem, pela pressão hidrostática de uma lama de bentonita em água. O autor explica que, quando a bentonita é misturada à água, ela se dispersa rapidamente, para formar uma suspensão coloidal. Esta suspensão exibe propriedades tixotrópicas, isto é, torna-se gel quando deixada em repouso, mas, torna-se fluída quando agitada. Quando a bentonita penetra nos vazios dos solos (em repouso) estabiliza a parede.

Porém o descarte da lama bentonita após a utilização na obra pode causar impactos negativos ao meio ambiente, como a impermeabilização do solo, por isso o descarte deve ser em aterros sanitários, o que exige que todo o material escavado seja enviado junto com a própria lama. Para minorar esta agressão ao meio ambiente, existe no mercado outro produto chamado Polímeros Biodegradáveis, quando em contato com a água tais polímeros se transformam em uma espécie de “cola” capaz de unir as partículas sólidas dos rolos e estabilizar as paredes de escavações. Este produto causa menos impacto à natureza porque seus resíduos podem ser tratados e reutilizados, conforme Costa Fortuna (2014).

A parede diafragma consiste em realizar, no subsolo, um muro vertical de profundidades e espessuras variáveis, constituídos de painéis elementares alternados ou sucessivos, e aptos a absorver cargas axiais, empuxos horizontais e momentos fletores. A parede poderá ter função estática ou de

intercepção hidráulica, podendo ser constituída de concreto simples ou armado, pré-moldada ou de “coullis” (constituída de uma mistura de cimento, bentonita e água formando uma parede impermeabilizante), conforme o escopo a que se destinar, segundo a Brasfond (2014).

A trincheira é feita progressivamente, em comprimentos adequados a partir da superfície do terreno. Usa-se, geralmente, uma concha com mandíbulas (“*clamshell*”) com operação a cabo ou hidráulica. Normalmente são construídas paredes (muretas) guias de concreto para ajudar na escavação. A trincheira é preenchida com a lama bentonítica à medida que a escavação prossegue. Desta forma, a escavação ocorre com a lama já colocada. O processo de escavação transforma o gel em um fluido, mas o gel se restabelece quando a perturbação cessa. Apesar da lama tender a ser contaminada com o solo e o cimento no prosseguimento da construção, ela pode ser limpa e reutilizada, e a lama que fica impregnada nos vazios dos solos se degrada.

Segundo Hachich, *et al.* (1998), o principal aspecto determinante para a escolha de um sistema de contenção é o fator econômico. Ainda, segundo o autor, aspectos de viabilidade técnica e executiva, assim como, a análise comparativa dos custos de projeto deve ser estudado antes da escolha do sistema a ser adotado. Deve-se, portanto, compatibilizar os custos com a supervisão das obras, bem como de remuneração do capital investido, ambos devendo ser proporcionais ao tempo de execução.

Do ponto de vista econômico, levando-se em conta tão somente os custos de implantação dos sistemas de paramento, em geral as paredes diafragma para contenções de pequena altura e acima do nível d’água (N.A.) têm custo mais elevado que os demais tipos.

Hachich (1998), ainda diz que, para contenções com alturas entre 10 m a 12 m acima do N.A., o custo das paredes diafragma se aproxima do custo dos demais paramentos, exigindo nestes casos uma apuração mais detalhada. No caso de contenções abaixo do N.A., os custos de construção das paredes diafragma são geralmente inferiores aos custos de outros sistemas (é necessário levar em consideração os custos do rebaixamento do N.A., do tratamento das juntas, etc).

A implementação das paredes diafragma nas construções pode ser necessária, dependendo da obra, e às vezes é arriscada, devido ao tipo de fundação. É um tipo de sistema que abrange tipologias, execução, tipos de aplicação e estudo de caso.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar diferentes tipos de paredes diafragma e compreender os tipos de aplicação de acordo com a necessidade da obra.

Apresentar a bibliografia sobre paredes diafragma, suas técnicas, vantagens, e suas dificuldades de produção. Descrever os diferentes processos construtivos das paredes, dentre elas: parede diafragma moldada *in loco*, parede pré-moldada, mista e parede “*coullis*” (plástica).

3 MÉTODO DE TRABALHO

A pesquisa foi baseada em normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), entrevistas técnicas com calculistas, engenheiros de planejamento, consulta a livros, revistas, artigos técnicos na internet, apostilas e vídeos.

Para o desenvolvimento teórico fez-se parte do estudo, a pesquisa e coleta de material bibliográfico e com empresas ligadas a técnicas construtivas que englobam execução e procedimentos da parede diafragma moldada *in loco*.

Aprimorou-se o conhecimento técnico sobre o assunto em visitas à obra para o acompanhamento do processo de execução e entrevista com profissionais da empresa Apoio - Assessoria e Projetos de Fundações S.S. que executou o projeto de fundação da parede diafragma moldada *in loco* atirantada. Foi disponibilizado o projeto executivo da obra para a captação e análise de dados técnicos, relatórios de obras e FVS (Ficha de Verificação de Serviço) onde também observamos a sequência de execução.

Após a coleta do material relativo ao estudo e da organização fez-se o desenvolvimento da pesquisa de forma mais detalhada. Todas as fases do estudo têm foco nos conceitos de investigação de campo, ensaios realizados *in loco* e ensaios laboratoriais realizados em amostras de solo, tipos de fundação e características do local, mais especificamente aqueles localizados na cidade de São Paulo.

4 MATERIAIS E FERRAMENTAS

Utilizaram-se boletins e perfis de sondagens além de resultados de análise do solo para a execução e aplicação da parede diafragma.

O *software Autocad* foi utilizado para medir volume de escavação para o projeto da parede diafragma moldada *in loco*.

Consultou-se a equipe de Engenharia Civil da empresa Intertechne Consultores S.A., relatório técnico da obra, para discussões técnicas sobre a utilização de lama bentonítica nas paredes diafragma, além da consulta da equipe de Engenheiros Civis de obra da Construtora Construcompany para o posterior estudo de caso.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 PAREDES DIAFRAGMA – TIPOLOGIAS

A parede diafragma tem uma grande importância em contenção de empuxos de terra nas obras de construção civil, ainda mais quando a escavação tem uma profundidade abaixo do nível do lençol freático. Existem vários tipos de parede diafragma:

- Moldada *in loco*;

- Pré-moldada, no caso das pré-moldadas podemos ainda ter paredes parcialmente pré-moldada, totalmente pré-moldada ou placas protendidas;
- *Coullis* (plástica);
- Mista.

5.2 DOCUMENTOS NECESSÁRIOS PARA EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA

5.2.1 Sondagem

Conforme norma NBR 6122 (ABNT, 2010), os ensaios de investigação do terreno são feitos por meio de sondagem atrado.

A NBR 9604 (ABNT, 1986), especifica a inspeção de amostras para sondagens de simples reconhecimento à percussão, sondagens rotativas e sondagens especiais para retirada de amostras indeformadas de solos.

5.2.2 Parâmetros de projeto da parede diafragma

Os parâmetros de projeto necessários para a execução da parede diafragma são: cota de apoio; local de execução; cota de arrasamento; espessura da parede diafragma; armadura das gaiolas; detalhamento da execução da mureta guia; divisões dos painéis; sequência executiva dos painéis; resistência, *slump* e brita do concreto; detalhamento da escavação mecânica do terreno; detalhamento da execução de tirantes (quando necessário); diâmetro e quantidade de cordoalha para execução dos tirantes; carga de trabalho e de teste dos tirantes, segundo Hachich, *et al.* (1998).

5.3 EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA EXECUÇÃO DA PAREDE DIAFRAGMA

DIAFRAGMADORA: É um equipamento composto pelo *clamshell* e guindaste principal, esse equipamento escava as lamelas para execução da parede diafragma, podendo ser livremente suspensa acoplada às Barras Kelly, sendo que os fechamentos das conchas ou mandíbulas podem ser por acionamento mecânico ou hidráulico.

É necessário que a área de apoio ao equipamento tenha resistência suficiente para suporte e que ele esteja perfeitamente alinhado e balanceado, isto é, a qualidade da parede diafragma com prumo e alinhamento depende muito do estado do equipamento e da ferramenta de escavação, o guindaste deve estar dimensionado para suportar com folga as solicitações provocadas pela operação de escavação, e o *clamshell*, quando livremente suspensos, deve ser acoplado ao cabo de sustentação por meio de um destorcedor, a fim de eliminar o fenômeno de torção, que é induzido pelo cabo de sustentação. O tipo de fundação também determina a necessidade do uso do equipamento. Abaixo segue um exemplo de diafragmadora e *clamshell*, respectivamente, segundo Anson (2001).

Uma tecnologia mais recente é a hidrofresa constituída por uma estrutura de aço rígido e por

dois motores hidráulicos instalados na parte inferior da estrutura, com rodas e correntes de corte, na vertical (eixo na horizontal) que giram em sentidos opostos, escavando o solo que é sugado por uma bomba de alta capacidade que fica entre os motores e lançado pela parte superior. Diferente do *clamshell* que é limitado em terreno rochoso, a hidrofresa é utilizada em qualquer tipo de terreno porque corta rocha, podendo chegar à profundidade da ordem de 100 metros, segundo Colotto (2013).

GUINDASTE AUXILIAR: É um equipamento sobre esteiras, utilizado no manuseio das gaiolas, na operação de concretagem, no manuseio do tubo tremonha, juntas, na movimentação das bombas, portanto, a diafragmadora só escava a parede diafragma e o guindaste auxiliar concreta o painel escavado pela diafragmadora.

CABO DE MEDIDA: cabo de aço graduado em metro com um peso na extremidade, destinado a medir a profundidade da escavação ou a profundidade da superfície do concreto durante a concretagem.

ARMADURAS OU GAIOLAS: ferragens dos painéis previamente montadas já com os chamados roletes.

ROLETES: São roletes de plástico colocado na armadura que servem para deslizar a gaiola dentro do painel escavado e também tem como função em manter o cobrimento da armadura com concreto, conforme Figura 1.

Figura 1 - Roletes de plástico na armação das gaiolas



Fonte: Geofix (2010)

PAINÉIS OU LAMELAS: São componentes que se encaixam uns nos outros para a formação das ranhuras de aderência, onde através da junta que limita o tamanho do painel, o concreto é moldado pelo formato dela no encaixe, formando um recuo denominado lamela fêmea, e posteriormente a mesma junta molda o concreto pelo mesmo processo com a lamela macho, ele possui um volume em suas extremidades se encaixando na lamela fêmea.

Este processo é conhecido como sistema “macho-e-fêmea”) existindo três tipos diferentes de lamelas:

- **Iniciais:** As lamelas iniciais também chamadas de lamelas de abertura são painéis onde se inicia o processo de escavação, o formato de junta lateral tem uma dimensão com dois encaixes internos, onde receberá a lamela sequencial.
- **Sequenciais:** As lamelas sequencias são as que dão sequência as iniciais ou outras sequenciais, o formato de encaixe lateral tem dimensão de um lado, o encaixe para dentro e do lado onde há uma existente não há necessidade de junta, pois a lamela existente já deve ter um formato de encaixe para dentro, ou seja, as lamelas iniciais e sequenciais devem terminar com um encaixe para dentro para receber outra lamela sequencial ou final.
- **Finais:** Conhecidas também como lamelas de fechamento, deve ser as últimas a serem escavadas, o formato da dimensão lateral onde se liga com outras lamelas tem o encaixe para fora.

TUBO JUNTA OU CHAPA JUNTA: Segundo Técnico-edificação (2013), as chapas ou tubos metálicos são colocados nas extremidades dos painéis antes da concretagem e são retirados quando inicia o pega do concreto, os tubos e as chapas juntas são colocados conforme a classificação dos painéis tais como: painel inicial são colocados as juntas nas duas extremidades, painel seguinte é colocado a junta apenas em uma extremidade e o painel de fechamento não são colocados junta.

LIMPADOR DE JUNTA: ferramenta que auxilia no processo de raspagem da junta fêmea do painel que vai ser concretado, no intuito de remover todo o solo que adere à junta devido à escavação do painel, o limpa-junta é utilizado no termino da escavação da parede diafragma, esse passo é importante porque se ficar algum resíduo de solo na junta, o mesmo juntará com o concreto ocasionando falha na vedação da parede diafragma, como por exemplo: pontos de infiltração de água, esse tipo de situação não pode acontecer.

TUBO DE CONCRETAGEM OU TUBO TREMONHA: tubos metálicos de diversos comprimentos acoplados entre si, utilizados para concretagem da parede diafragma, o diâmetro mínimo deve ser de 250 mm (10”) e comprimento maior que a profundidade do painel, mas nas paredes com espessura menor de 40 cm, pode ser utilizado um tubo de concretagem ou tubo tremonha com diâmetro de 200 mm (8”), desde que se utilize concreto com *slump* maior do que 21 cm, e os acoplamentos entre os tubos devem proporcionar uma estanqueidade perfeita, no caso de painel de fechamento, que geralmente é maior do que 4,00m, é necessário ter mais de um tubo de concretagem ou tubo tremonha.

FUNIL: Funil metálico que é colocado na parte superior do tubo de concretagem ou tubo tremonha para facilitar a aplicação do concreto.

CONCRETO: o concreto da parede diafragma tem consumo de cimento de 400 Kg por metro



cúbico de concreto, o fator água cimento deve estar entre os limites de 0,5 a 0,6, e o *slump* poderá variar entre 18 a 24 cm dependendo do diâmetro do tubo tremonha, e do agregado graúdo de diâmetro máximo de 20 mm, segundo NBR 6122 (ABNT, 2010).

A trabalhabilidade do concreto é um fator importante para não ocorrer falhas, pois um concreto pouco adensável causa “bicheiras” na estrutura, por onde ocorrerão infiltrações de água na parede, por isso além de um concreto com *slump* baixo é importante ser feito um bom adensamento com o equipamento mecânico.

OVERBREAK: O volume de concreto para lançamento no painel deve ser considerado maior do que o calculado, pois de acordo com o terreno encontrado no ato da escavação o volume calculado pode não ser suficiente para a concretagem. Um volume lançado menor que o volume teórico indica estrangulamento na escavação, por outro lado quando se requer mais concreto do que o volume teórico ocorre-se remoção maior de material (*overbreak*).

CHAPA ESPELHO: Costa Fortuna (2008) define a chapa espelho como uma chapa de aço colocada do lado interno da parede diafragma, a fim de melhorar as condições de acabamento, e também serve para diminuir o “*overbreak*”, esta chapa é colocada logo que se limpa a junta e ela só é retirada quando se inicia a pega do concreto.

AMOSTRADOR OU COLETOR DE LAMA: dispositivo graduado que permite a retirada de amostra da lama em qualquer profundidade.

LABORATÓRIO DE CAMPO: conjunto de aparelhos destinados a medir os parâmetros que controlam as propriedades da lama bentonítica;

TANQUES DE LAMA: recipiente metálico para estocagem da lama bentonítica.

BOMBAS DE LAMA: bombas de alta vazão, do tipo submersa ou não, apropriadas para o bombeamento de lamas densas e com alta percentagem de areia.

DESAREADORES: equipamento utilizado para retirar areias da lama bentonítica.

BENTONITA: argila da família das montmorilonitas encontrada em depósitos naturais, usada para a fabricação da lama bentonítica que deve atender às especificações da NBR 6122 (ABNT, 2010). Devem ser fornecidos pelo fornecedor da bentonita.

Os resultados dos ensaios deverão seguir as seguintes características, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Especificação da bentonita

| Requisito | Valor |
|---|----------------------|
| Resíduos em peneira nº 200 | ≤ 1% |
| Teor de umidade | ≤ 15% |
| Limite de liquidez | ≥ 440 |
| Viscosidade Marsh 1500/1000 da suspensão a 6° em água destilada | ≥ 40 |
| Decantação da suspensão a 6% em 24 h | ≤ 2% |
| Água separada por pressofiltração de 450 cm ³ da suspensão a 6% nos primeiros 30 min, à pressão de 0,7 MPa | ≤ 18 cm ³ |
| pH da água filtrada | 7 a 9 |
| Espessura do <i>cake</i> no filtro prensa | ≤ 2,5 mm |

Fonte: NBR 6122 (ABNT, 2010)

TANQUES DE ÁGUA: recipiente metálico destinados à armazenagem de água limpa para o preparo da lama bentonítica, são tanques iguais aos tanques de lama.

MISTURADOR DE LAMA: bomba de alta turbulência, provida de um recipiente para misturar no mínimo, por partida, 800 litros de lama bentonítica;

LAMA BENTONÍTICA segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), a mistura de água com a bentonita em pó em proporções adequadas ao desenvolvimento do serviço, essa mistura da bentonita com água potável é feita em uma proporção variável de 25 a 75 Kg/m³ de água, esta variação é função da viscosidade que se pretende obter e para permitir a adequada hidratação, ela deve ser preparada pelo menos doze horas antes do seu uso.

CAKE é uma película formada a partir do contato da lama bentonítica formada nas paredes da escavação preenchendo os seus vazios. A NBR 6122 (ABNT, 2010) define também as características importantes que a lama bentonítica possui: estabilidade, produzida pelo fato da suspensão de bentonita se manter por longo período, capacidade de formar nos vazios do solo e especialmente junto à superfície integral da escavação de uma película impermeável, a formação dessa película é possível desde que a pressão da lama bentonítica seja garantida, pela aplicação da pressão da lama nessa película impermeável, além de ter um comportamento fluído que quando agitada, é capaz de formar um gel, quando em repouso, a esta propriedade se dá o nome de propriedade tixotrópica.

A lama bentonítica deve ter as seguintes propriedades, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros para a lama bentonítica

| Parâmetros | Valores | Equipamento para ensaio |
|---------------|--|--------------------------------|
| Densidade | 1,025 g/cm ³ a 1,10 g/cm ³ | Densímetro |
| Viscosidade | 30 s a 90 s | Funil Marsh |
| pH | 7 a 11 | Papel de pH |
| Cake | 1,0 mm a 2,0 mm | Filter press |
| Teor de areia | até 3% | Baroid sand content ou similar |

Notas: a) A espessura do *cake* deve ser determinada ao menos uma vez por partida de bentonita.
b) Os demais parâmetros devem ser determinados em amostras retiradas do fundo de cada estaca, imediatamente antes da concretagem.
c) Em casos especiais, pode ser necessário adicionar produtos químicos à lama bentonítica, destinados a melhorar suas condições, corrigindo a acidez da água, aumentando a sua densidade de massa, etc.

Fonte: NBR 6122 (ABNT, 2010)

5.4 FASES DE EXECUÇÃO DA PAREDE DIAFRAGMA MOLDADA IN LOCO

No processo de execução da parede diafragma destacam-se as seguintes etapas:

5.4.1 Mureta guia

Mureta guia é uma estrutura de concreto armado que é executada ao longo de todo perímetro da obra onde será executada a parede diafragma, é realizada do lado de fora da parede diafragma e outra do lado de dentro da parede. A Mureta guia tem função de servir de guia para a escavação da parede diafragma com o *clamshell*, segundo Anson (2001).

A execução da mureta guia é feita com a marcação de perímetro onde é executada a parede diafragma e escavado, em uma profundidade de 1,50m e sua largura varia de acordo com a espessura da parede diafragma, essa largura tem a espessura da mureta guia 0,15m cada uma, mais a espessura da parede diafragma com um acréscimo de 0,04m, esse acréscimo é referente a colocação de uma chapa espelho que é colocado na face interna da parede diafragma.

É importante lembrar que na escavação da mureta guia, em uma divisa com casas vizinhas, é necessário realizar o sub-muramento das casas e muros vizinhos. Ele é feito com tijolo de barro comum (espessura de 10 cm), destacando que a escavação deverá ser fracionada, realizando escavações no máximo de 30 cm até obter-se a cota desejada. Esse cuidado é importante para não ocasionar avarias nas edificações vizinhas.

Além do sub-muramento também é importante verificar se não existe nenhuma interferência onde está sendo executada a parede diafragma, essas interferências podem ser do tipo, vigas baldrame de edificações antigas e estacas, caso existam essas interferências é necessário a sua remoção antes de concretar a mureta guia, o motivo da remoção é para não ocasionar um travamento do *clamshell* junto com a mureta guia.

As remoções das interferências são feitas da seguinte maneira: a viga baldrame é quebrada com um martetele, e a estaca é removida com um *clamshell* menor medindo aproximadamente 1,50 m de largura, colocando na escavação a lama bentonítica para não desbarrancar o terreno, essa escavação só termina quando remover a viga baldrame por inteiro, o *clamshell* vai rompendo a viga baldrame desfragmentando-a, após sua retirada é necessário recompor o solo com uma argamassa de cimento e areia com um traço de 80 kg de cimento para cada m³ de areia.

O processo de escavação da mureta guia é feita em partes, após sua escavação, coloca-se a armadura e não se pode esquecer de deixar os arranques para a próxima etapa. Coloca-se a fôrma do lado onde será a parede diafragma, após isso, faz-se o alinhamento, nivelamento e travamento da fôrma.

Quando a espessura da mureta guia for muito grande, é necessário colocar uma contra fôrma para não aumentar o consumo de concreto, estudos mostraram que quando colocado a contra fôrma, há uma perda de concreto de somente 2 a 3% durante a concretagem. Porém a não colocação da contra fôrma, essa mesma perda, poderá chegar a 50%, portanto quando a espessura da mureta guia estiver muito irregular é necessário colocar uma contra forma.

O processo de concretagem da mureta guia é feito com concreto de resistência fck 15 MPa; brita 1 e 2, e o *slump* 8 mais ou menos 2, esse concreto deverá ter uma boa trabalhabilidade para diminuir os riscos de vazios na peça concretada.

Para essa peça estrutural o concreto não tem necessidade de ser ensaiado em laboratório tecnológico.

Após 24 horas é feita a desforma, colocam-se galgas de pontalete entre as duas muretas (as galgas têm que ter a espessura da parede diafragma mais 4 cm), depois aterra-se a mureta guia até chegar no nível superior.

Para começar a execução da parede diafragma, não é necessário esperar terminar toda a mureta guia, isso é, assim que a execução da mureta guia terminar em um dos lados do terreno incluindo os dois cantos de extremidade poderá começar a execução da parede diafragma. É necessário esperar 72 horas após a execução da mureta guia para começar a escavação da parede diafragma.

5.4.2 Escavação

Primeiramente é necessário marcar todos os painéis na mureta guia e indicá-lo se é painel inicial, sequencial ou de fechamento.

A escavação começa pelos painéis iniciais, portanto são feitos dois painéis iniciais um em

cada extremidade, depois de concretados são feitos os painéis sequenciais, até sobrar um único painel que é de fechamento, tomando cuidado que esse painel tem que ser maior que a largura do *clamshell*.

Depois de marcado o painel é necessário tirar o nível da mureta guia aonde é escavada, para saber quantos metros é preciso escavar para chegar na cota de ponta, e também para saber a cota de arrasamento. A escavação é com a diafragmadora, quando a profundidade da escavação ultrapassar o final da mureta guia já é necessária colocar a lama bentonítica para evitar que solo desmorone.

Na escavação do primeiro painel é importante tirar uma amostra do solo de metro em metro para posteriormente conferir com a sondagem do terreno. Quando a escavação é feita em divisa do terreno é recomendável utilizar um anteparo para não espirrar lama bentonítica nas edificações vizinhas. Sempre que o nível da lama bentonítica abaixar é necessário adicionar mais, o nível recomendável é 50 cm abaixo da cota superior da mureta guia. Assim que a escavação atingir a cota de ponta termina essa primeira etapa, essa profundidade é feita através do cabo de medida.

O equipamento utilizado atualmente para escavação tem uma tolerância de verticabilidade de até 0,5% da profundidade do painel, mas quando ocorre a presença de matacões, obstáculos e camadas duras inclinadas podem prejudicar a obtenção desta verticabilidade, atualmente sensores verificam o prumo da máquina para evitar tal falha. Se mesmo assim for constatado um início de desvio, esta deve ser imediatamente paralisada e ser executada uma raspagem com ferramenta apropriada a fim de evitar o progresso no desvio segundo NBR 9061 (ABNT,1985).

5.4.3 Preparação do painel

Quando existem painéis já instalados ao lado de um painel em escavação é necessário colocar no *clamshell* uma ferramenta chamada de limpa junta, essa ferramenta é importantíssima para uma boa qualidade da parede diafragma, porque irá remover qualquer resíduo de solo que estará nas juntas. Quando a diafragmadora acabar de limpar as juntas finalizando o seu serviço, podendo ir para outro painel e começar a escavar.

A partir dessa etapa até o término da execução desse onde o guindaste auxiliar que finaliza o procedimento. Inicia-se com a colocação das chapas espelhos sempre do lado interno da parede diafragma apoiada sobre a mureta guia, o número de chapas dependerá do tamanho do painel.

Separam-se as gaiolas que do painel de escavação, confere-se a armação. Com os ganchos que são soldados na parte superior da gaiola o guindaste auxiliar pega a gaiola e coloca-se dentro do painel escavado. Quando a profundidade do painel for maior que 12 metros é necessário soldar o complemento da armação. Esse processo é bastante simples, coloca-se a armação de 12

metros no painel, trava-se para ela para não cair, o guindaste auxiliar segura o complemento da armação, coloca-se em cima da armação de 12 metros e solda-se.

Colocam-se os tubos tremonha dentro da gaiola ou entre as duas gaiolas, depende da espessura da parede diafragma, paredes com espessuras de 30 e 40 cm são colocados entre as duas gaiolas e paredes com 50, 60, 80, 100 e 120 cm são colocados dentro da gaiola. O número de tremonha depende da largura do painel, geralmente quando for maior que 4 metros utilizam dois tubos tremonha.

Esses tubos tremonha têm comprimento variável, vão sendo unidos até atingir a profundidade correta, lembrando que ele tem que ficar aproximadamente 50 cm acima do nível da mureta guia, para posteriormente colocar o funil.

Agora são colocadas as juntas, que também são de comprimento variável, elas são emendadas até atingir a dimensão do painel.

A quantidade de juntas depende se o painel for inicial, sequente ou de fechamento, se for um painel inicial é necessário utilizar duas juntas, se for um painel sequente é necessário utilizar apenas uma junta, do lado onde não existir outro painel, e se for um painel de fechamento não é colocado nenhuma junta porque já existem painéis dos dois lados.

Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2010) é necessário que o teor de areia na lama bentonítica seja menor ou igual a 3%, medido através do “*Baroid Sand Content*” ou similar.

Pode-se obter o teor de areia contido na lama bentonítica através de um ensaio básico que consiste em adicionar 100 cm³ de lama em 300 cm³ de água em um recipiente graduado, o qual deve ser agitado até atingir a homogeneidade, após esse processo a mistura deve ser passada para outro recipiente também graduado com uma peneira de malha de 0,075 sobre o mesmo, que depois que ocorrer a sedimentação será possível coletar dado do teor de areia contida na lama, segundo (Anson, 2001).

Acopla-se o funil no tubo tremonha e coloca-se uma bola de borracha dentro do funil, para quando começar cair o concreto ele não empurre a bola para baixo do tubo tremonha até sair no final do tubo, depois como a bola está cheia de ar, que sobe até a superfície do painel, esse procedimento é feito apenas para limpar o tubo tremonha.

5.4.4 Placas protendidas

Entre as placas pré-moldadas as placas com armaduras protendidas são as mais utilizadas, essas placas são dimensionadas para o mesmo fim estrutural, mas com algumas vantagens, como, uma espessura menor em relação as outras placas que não são protendidas e também aos painéis moldado “*in loco*”, portanto com a espessura menor elas apresentam um peso menor também é conseqüentemente a área útil do subsolo aumenta.



5.5 PAREDES DIAFRAGMA PLÁSTICAS

A parede diafragma plástica é uma barreira vertical escavada com a utilização de “*coullis*” (mistura de cimento, bentonita e água), com o objetivo de reduzir a percolação horizontal da água. Para melhorar sua eficiência, a parede deve penetrar na camada de solo impermeável subjacente, segundo Brasfond, (2014).

Esse tipo de parede representa uma solução quando o problema a ser superado seja de contenção hidráulica, dentre os problemas mais encontrados temos: construções de diques, barragens, reservatórios canalização de rios, construções de cais, isolamento contra contaminação de lençóis aquíferos, caso muito utilizado em usinas termelétricas e centrais nucleares.



REFERÊNCIAS

- APOIO – Assessoria e Projetos de Fundações S.S. – **Projeto Preliminar** - Empreendimento Motion Avanhadava, 2012
- ANSON- **Paredes Diafragma e Estacas Escavadas** – Catálogo - São Paulo, 2001,p.7-26
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9061: Segurança de escavação a céu aberto**, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento**, 1986.
- BRASFOND- **Paredes Diafragma**. Disponível em:
<http://www.brasfond.com.br/fundacoes/pdiafragma.html> Acesso em 01 de agosto de 2025.
- COLOTTO S. - TERRATEST. **Fundações e contenções** - REVISTA TÉCNICA - Edição 200 - Editora Pini, 2013, p.47 e 48.
- CONSTRUTORA COSTA FORTUNA - **Engenharia de Fundações**. Disponível em:
<http://www.costafortuna.com.br> Acesso em 11 de agosto de 2025.
- CRAIG, ROBERT F. **Mecânica dos Solos**. 7ª Edição. Editora LTC, 2007, p. 176 e 177.
- E-CIVIL - **Submuramento** - Copyright © E-Civil. Disponível em:
<http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-submuramento.html> Acesso em 05 de setembro de 2025.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA PARAÍBA – FIEP – **Projeto vai beneficiar trabalhadores da indústria**. Disponível em: <http://www.fiepb.com.br/noticias/2008/06/09/projeto-vai-beneficiar-trabalhadores-da-industria> Acesso em: 11 de agosto de 2025.
- FALCON, A. - **Contenção: Parede diafragma**. Disponível em:
<http://www.franki.com.br/PAREDE%20DIAFRAGMA.pdf>. Acesso em 15 de agosto de 2025.
- FRANKI – FUNDAÇÕES INFRAESTRUTURA E CONSTRUÇÃO CIVIL - **Paredes Diafragma**. Disponível em: <http://www.franki.com.br/paredediafragma.html> Acesso em 02 de agosto de 2025.
- FUNDESP - **Paredes Diafragma**. Disponível em:
<http://www.fundesps.com.br/2009/paredesdiafragma.html> Acesso em 10 de setembro 2025.
- GEOFIX FUNDAÇÕES - **Paredes Diafragma com ClamShell e/ou Hidrofresa**
Disponível em: <http://www.geofix.com.br/site2010/servicos/paredes-diafragma-clam-shell/> Acesso em 28 de agosto 2025.



GEODACTHA – **Engenharia de solo e fundações**

<http://www.geodactha.com.br/obras/traco1.htm>

GEOFOUND FUNDAÇÕES - **Parede diafragma moldada “in loco” e pré-moldada**

Disponível em: <http://www.geofund.com.br/?p=210> Acesso em 28 de agosto 2025.

HACHICH - **Fundações Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Pini, 1998.

IN SITU GEOTECNIA S/C Ltda. **Coletas indeformadas e deformadas**. Disponível em:

<http://www.insitu.com.br/> Acesso em 5 de agosto de 2025

JOSÉ ALBERTO FERREIRA DE BRITO. **Monografia Parede Diafragma**. Uninove, 2013.

(Comparativo de Justificativa). Disponível em:

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgSoMAE/parede-diaf-s-s-r> Acesso em 14 de agosto de 2025.

MANOEL VICTOR. **Apostila Sistemas de Contenção**. FATEC - São Paulo, 2003.

SOLO.NET ENGENHARIA - **Parede Diafragma**. Disponível em:

http://www.solonet.eng.br/Duvidas/estacas_diafragma.htm. Acesso em 15 de agosto de 2025.

SPT – Sondagens LTDA – **Projeto de Locação das sondagens**, 2011.

STAN DESENVOLVIMENTO IMOBILIÁRIO. **Empreendimento**. Disponível em:

<http://www.stan.com.br/motion-avanhandava>. Acesso em 15 de agosto de 2025.

TECNICO-EDIFICACAO - **CONTENÇÕES - Parede-diafragma Confirma todas as etapas de construção desse tipo de tecnologia para contenção de taludes**

Disponível em: <http://tecnico-edificacao.blogspot.com.br/2013/11/contencoes-parede-diafragma-confira.html> Acesso em 01 de setembro de 2025.