

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/256

Utilização de Pré-Furos para Contenções em Parede Diafragma

Victória Silva Dias

Engenheira Civil, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, victoria.dias@geofix.com.br

Jhonatan Eduardo Dutra Garcia

Engenheiro Civil, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, jhonatan.garcia@geofix.com.br

Marcio Abreu de Freitas

Engenheiro Civil Geotécnico, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, marcio.freitas@geofix.com.br

RESUMO: Neste artigo é apresentado um caso de obra de contenção em São Paulo/SP, envolvendo uma contenção de cinco subsolos. Localizado na região sul da cidade, próximo ao Rio Pinheiros, o local possui um perfil rochoso (gnaisse cinza pouco alterado) a partir de 17 metros de profundidade em relação ao nível da rua. O projeto optou pela solução de contenção em Parede Diafragma com espessura de 50 cm e comprimento de 18 metros, precisando embutir a parede na rocha alterada. Para isso, utilizou-se a técnica de pré-furos de alívio com perfuratriz hidráulica para atingir a cota de ponta mínima necessária. Este trabalho tem como objetivo destacar as vantagens dessa abordagem por meio da análise de projetos de contenções, sondagens mistas e experiências em outros casos semelhantes. Diante desses fatos, observa-se que essa técnica permite avançar na escavação além do alcance de uma diafragmadora tradicional (acionado a cabo ou hidráulicamente), garantindo eficiência e produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: pré-furo; parede diafragma; escavação; solos resistentes; rocha alterada.

ABSTRACT: In this article, a case of containment work in São Paulo/SP is presented, involving the containment of five underground levels. Located in the southern region of the city, near the Pinheiros River, the site has a rocky profile (slightly altered gray gneiss) starting from 17 meters deep in relation to street level. The project opted for the solution of containment using a Diaphragm Wall with a thickness of 50 cm and a length of 18 meters, aiming to embed the wall in the altered rock. For this, the technique of relief pre-drilling with a hydraulic drill rig was used to reach the necessary tip elevation. This work aims to highlight the advantages of this approach through the analysis of containment projects, mixed surveys, and experiences in other similar cases. Given these facts, it is observed that this technique allows for advancing in excavation beyond the reach of a traditional diaphragm wall machine (cable or hydraulically operated), ensuring efficiency and on-site productivity.

KEYWORDS: predrilled hole; diaphragm wall; excavation; resistant soils; rock weathering.

1 INTRODUÇÃO

No contexto de expansão urbana na cidade de São Paulo, empreendimentos enfrentam constantemente o desafio logístico de ajustar-se ao espaço disponível e às características geotécnicas específicas da região.

Ao longo desta exposição, abordaremos um caso de obra de contenção situado na Avenida Faria Lima, zona sul da cidade, onde a composição do solo apresenta variações significativas. No estudo em questão, por meio de sondagens mistas, foram identificados gnaisses cinza e granitos constituindo a base rochosa do terreno.

A complexidade desse perfil de solo/rocha impôs desafios adicionais ao projeto, uma vez que envolvia a construção de uma edificação com a necessidade de escavação e contenção de cinco subsolos. Diante dessa realidade, a equipe de engenheiros e geotécnicos optou por uma solução eficiente: parede diafragma com a utilização de pré-furos de alívio.

Desde os anos 2000, essa técnica tem sido aplicada com o intuito de aprimorar o embutimento de fundações e contenções profundas em solos resistentes e alterações de rochas. Sua aplicação, por garantir maior produtividade na execução dos serviços e auxiliar na verticalidade da solução, tem se revelado uma escolha eficaz, tornando-se um avanço na engenharia geotécnica.

O propósito deste trabalho é analisar esse caso de obra, descrever as soluções adotadas, os desafios preponderantes e os resultados obtidos. Contudo, busca-se contribuir com o conhecimento e experiência acumulados para futuras obras na região e em áreas geologicamente similares, assegurando uma base sólida para o planejamento e execução de projetos de contenção em ambientes urbanos.

2 CONCEITOS

2.1 Parede Diafragma

Na engenharia civil, a parede diafragma é uma estrutura de contenção empregada para estabelecer barreiras verticais subterrâneas aptas a resistir às tensões laterais do solo e aos empuxos hidráulicos em empreendimentos de construção civil e projetos de infraestrutura.

Existem alguns tipos de parede diafragma, entre os quais se destacam:

- moldada "in loco", de concreto armado ou não;
- de concreto armado em placas pré-moldadas;
- de uma mistura de cimento, bentonita e água em proporções convenientes, conhecida como "coulis", formando um diafragma plástica;
- mista.

A parede diafragma pode atingir grandes profundidades e suas espessuras variam de 0,30 m a 1,20 m. Apenas a parede diafragma com placas pré-moldadas têm limitações de profundidades e espessura, por razões executivas. (HACHICH et al. 1998).

A construção de uma parede diafragma começa com o que chamamos de painéis "iniciais". Esses painéis são feitos com duas juntas, uma em cada extremidade, antes de serem concretados. Depois disso, seguimos para os painéis seguintes, nos quais apenas uma junta é necessária na extremidade oposta ao painel existente (inicial). Por fim, temos os painéis de "fechamento", que não necessitam de junta, já que ficam entre dois painéis já executados.

Maffei (1998) descreve o processo de escavação de um painel de parede diafragma convencional utilizando uma ferramenta denominada Clam-Shell (acionado a cabo ou hidráulicamente), que consiste em remover o solo do painel em execução. Durante a escavação, é necessário preencher a vala com um fluido estabilizante, garantindo que o nível da lama esteja acima do lençol freático (cerca de 1,50 m), estabilizando a escavação e prevenindo o desbarrancamento do solo para dentro da vala.

Após a conclusão da escavação do painel, inicia-se à limpeza de fundo da escavação e à substituição ou desarenação do fluido estabilizante. Esse procedimento é essencial como parte da preparação para a instalação das armaduras, das chapas-espelho e das juntas antes da concretagem.

O processo de concretagem da parede diafragma é realizado de baixo para cima de forma contínua, diretamente do caminhão betoneira no funil de concretagem. O concreto, por ser mais denso que os fluidos estabilizantes, os expulsa sem que haja mistura entre ambos. Conforme o concreto preenche a escavação, o

fluido é bombeado de volta para os reservatórios da central e alguns segmentos do tubo tremonha são removidos.



Figura 1. Parede Diafragma durante a escavação da obra.

A parede diafragma é recomendada para edifícios com múltiplos subsolos, pois nesses níveis de escavação há uma maior probabilidade de alcançar o lençol freático. Ao optar pela parede diafragma como método de contenção, possibilita-se a realização de uma obra seca no período de terraplenagem.

Além de sua função como contenção em escavações temporárias ou permanentes, esse método pode ser utilizado como uma barreira impermeabilizante para regular a percolação em escavações situadas em solos contaminados ou como um elemento de fundação (estacas barretes), distribuindo as cargas verticais para camadas mais profundas do solo.

2.1.1 Mureta-Guia

Segundo Ivan Joppert Jr. (2007, p.39), “para que a parede diafragma feche totalmente os limites da obra, as lamelas são executadas de maneira sequencial, alinhadas por uma “mureta-guia”, previamente construída em torno de todo o terreno antes do início da parede diafragma. A mureta-guia é constituída por duas paredes paralelas de concreto, executadas junto às divisas com a distância entre si igual à largura do Clam-Shell mais 4/5 cm e com dimensões de 10 cm de espessura por 110 cm de altura.”



Figura 2. Execução de mureta-guia.

2.1.2 Trepanação

Quando se alcançam camadas de solo/rocha onde não é possível prosseguir com a ferramenta Clam-Shell, emprega-se o trépano. O trépano é uma ferramenta metálica de formato cilíndrico, pesando cerca de 2 toneladas, que se assemelha a um pilão.

Posicionada dentro da mureta-guia, é solta em queda livre até atingir a cota de fundo da escavação, fragmentando a camada de alteração de rocha para posterior remoção com a ferramenta Clam-Shell. Já em solos argilosos, por serem porosos e contarem com plasticidade, a “trepanação” tende a compactá-los. Todavia, o trépano não tem capacidade para coletar amostras nem medir a resistência do solo.



Figura 3. Trépano.

2.2 Pré-Furos de Alívio

Os pré-furos de alívio constituem perfurações realizadas em pontos específicos ao longo da parede diafragma antes de iniciar a escavação. Esses furos são feitos com a utilização de uma perfuratriz hidráulica de alto torque, equipada com ponteiros especiais e dotadas de BIT's de vídea.

Além de aplicada em parede diafragma, a técnica também pode ser útil na execução de estacas barretes e estacas escavadas com a utilização de fluido estabilizante, nos casos em que o terreno possui em sua formação geológica solos resistentes com $N_{SPT} \geq 50$ e alteração de rocha.

Essas perfurações devem possuir diâmetro inferior ou igual a parede diafragma e/ou estaca e têm como objetivo aliviar a área de escavação, facilitando o processo de retirada do solo, o que pode ocasionar:

- redução do tempo de escavação agregando maior produtividade na obra;
- contribuição na verticalidade da solução executada reduzindo a possibilidade de desvios da ferramenta de escavação (Clam-Shell ou çaçamba);
- alcançar profundidades maiores do que apenas com a utilização das tradicionais ferramentas.



Figura 4. Ponteira com BIT's de vídea.

Além disso, os furos prévios permitem mapear o terreno antes da escavação, prospectando possíveis interferências no perímetro da parede diafragma e detectando zonas mais resistentes, que podem causar maior dificuldade para serem escavadas.

A equipe de geotecnia deve avaliar cada caso de forma singular, pois em situações em que há rochas ainda mais resistentes, o pré-furo pode não ter eficiência. Caso seja necessário aprofundar a escavação em um material rochoso, uma opção seria a utilização do equipamento Hidrofresa, a qual se diferencia dos métodos convencionais.

3 CASO DE OBRA

3.1 Contexto

Localizada em um dos bairros nobres da zona oeste de São Paulo/SP, a Av. Faria Lima é conhecida por sua relevância para o desenvolvimento urbano e comercial. Diante da crescente demanda por infraestrutura, esse empreendimento foi projetado na região envolvendo a construção de um complexo com a obrigatoriedade de cinco subsolos destinados a estacionamento e espaços comerciais.

Antes da obra ser iniciada, foram realizadas investigações geotécnicas, como sondagens a percussão e sondagens mistas para conhecer e entender o comportamento do solo. No entanto, os resultados apresentados nos laudos demonstraram características desafiadoras para a escavação. O solo, embora resistente, manifestava zonas de alteração de rocha.

Um dos furos de sondagem mista realizados no terreno, teve início na cota 725,80 e final na cota 698,25 com 27,55 metros perfurados. Abaixo, na tabela 1, pode-se observar sua estratigrafia:

Tabela 1. Descrição de sondagem mista nº SM7.

Camada	L (m)	Descrição
Aterro de argila silto-arenosa	0,00 – 1,50	Aterro Superficial
Piso de concreto	1,50 – 1,75	Interferência
Areia fina pouco argilosa, cinza	1,75 – 4,40	Areia medianamente compacta
Silte arenoso pouco argiloso, pouco micáceo	4,40 – 17,65	Solo Residual, onde o $N_{SPT} \geq 50$ foi localizado a 14 m do topo do furo ($C_{SPT} \geq 50 = \sim 712,00$).
Gnaisse cinza, rocha pouco alterada	17,65 – 27,55	Alteração de Rocha

Dado esse perfil geológico, tornou-se necessário o uso de técnicas especializadas para a criação dos subsolos. À vista disso, o projetista de fundações definiu a solução de parede diafragma, onde cada painel da obra requisitou no mínimo três pré-furos de $\varnothing 40$ cm, com o intuito de aliviar a escavação da ferramenta convencional, e com isso, avançar além do seu limite, garantindo assim a cota de ponta mínima necessária: 705,00 (projeto) a 708,00 (mínimo em função do topo rochoso).

Outro fundamento do projeto era o embutimento da ficha da parede diafragma em, ao menos, 2 metros em alteração de rocha. E caso a escavação não atingisse a cota de ponta prevista com as duas soluções, a concretagem do painel só se daria pronta após 2 horas de “trepanação” intensa.

A contenção teve o perímetro de 223,70 metros, com profundidades variáveis de 17 a 20 metros, considerando que a obra em referência possuía a obrigatoriedade de escavar 15 metros abaixo do nível da rua.

Tabela 2. Quantitativo executado.

Parede Diafragma	e (cm)	L _{TOTAL} (m ²)
N _{SPT} <50	50	3.136,00
N _{SPT} >50	50	1.525,00

3.2 Execução e Canteiro de Obra

Para execução da obra, o executor utilizou 4 (quatro) equipamentos de grande porte, sendo:

- 2 (dois) guindastes com capacidade de carga de 80 tn, onde 1 (um) foi utilizado para escavação e outro para auxílio de concretagem;
- 1 (uma) diafragmadora hidráulica;
- 1 (uma) perfuratriz hidráulica de alto torque.

Aliados à esses equipamentos e a central de lama bentonítica, foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Clam-Shell mecânico acionado a cabo;
- Clam-Shell hidráulico;
- trado helicoidal de Ø40 cm com ponteira de BIT's de vídea;
- trépano.



Figura 5. Canteiro de obra durante a escavação de parede diafragma.

3.3 Desafios durante o embutimento da parede diagrama em topo rochoso

Foi observado em uma área do terreno uma resistência excepcionalmente elevada do solo, o que resultou em atrasos consideráveis na escavação. A figura 6 abaixo, destaca o trecho mencionado:

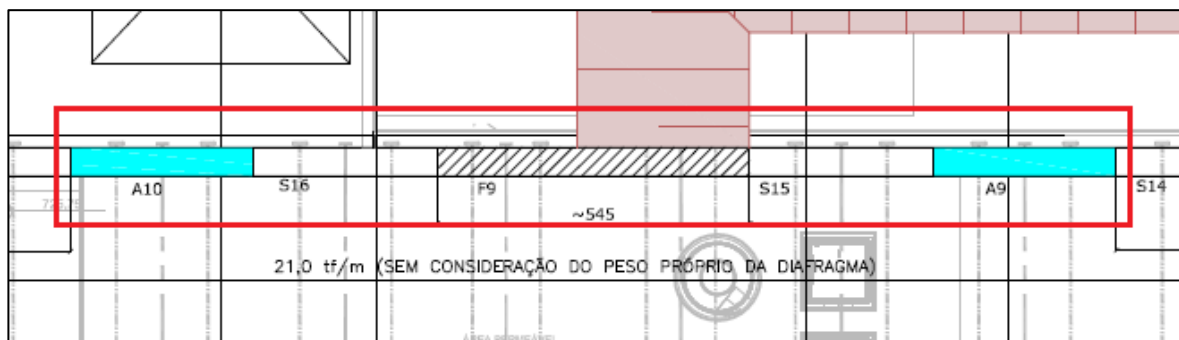


Figura 6. Painéis “A9, A10, S15, S16 e F9”, da parede diafragma.

Durante execução dos painéis indicados acima, com a realização dos pré-furos de alívio, a diafragadora convencional não obteve mais avanço, assim, houve a necessidade de uso do trépano. A solução do executor foi utilizá-lo para desintegrar e fracionar ainda mais a camada de rocha alterada, permitindo que o Clam-Shell removesse os fragmentos e avançasse um pouco além. No total, foram necessárias 28 horas de “trepanação” para concluir a escavação dos painéis em referência. Mais especificamente, o painel S16 atingiu a cota mínima 708,00 após um período de 10 horas de “trepanação”, momento em que foi considerado pronto para a concretagem.

Durante a escavação deste painel, foi possível retirar amostras de solo da cota ~709,00, as quais possibilitaram visualizar a camada de alteração de rocha, com aspecto acinzentado escuro (atributo dos gnaisses presentes nas proximidades das margens do rio Pinheiros, em São Paulo/SP), indo ao encontro das sondagens realizadas previamente ao período da obra.



Figura 7. Amostras de solo retiradas do painel “S16”.

3.4 Resultados

O equipamento que realiza os pré-furos foi empregado de forma contínua ao longo de dois meses durante a execução da parede diafragma. A técnica foi requerida em todo o perímetro, o que auxiliou para a conclusão do serviço dentro dos prazos estabelecidos.

Na sequência, foi iniciada a terraplenagem do terreno juntamente da execução dos tirantes provisórios, a obra foi escavada e não apresentou nenhum desvio ou irregularidade nos painéis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução das contenções profundas em ambientes urbanos, como o caso da Avenida Faria Lima, demonstra a importância da análise da equipe de geotecnia e engenharia civil, onde a integração entre o conhecimento técnico e prático foi essencial para o sucesso do projeto.

O uso de técnicas especializadas, como a parede diafragma com pré-furos de alívio e auxílio do trépano, foi fundamental para superar os desafios geotécnicos apresentados pelo solo da região, pois em relação aos fatos mencionados acima, é perceptível que sem a utilização dos métodos, haveria a possibilidade da escavação da parede diafragma não alcançar a cota de ponta mínima necessária, exigindo a adoção de alternativas como pinagem e/ou soluções não convencionais, como a utilização do equipamento hidrofresa.

Outro aspecto relevante do estudo foi a ausência de desvios ou irregularidades na cortina, indicando que os pré-furos contribuíram na verticalidade dos painéis, eliminando os possíveis desvios da ferramenta durante a escavação. Contudo, a utilização das técnicas colaboraram significativamente para a produção da obra, permitindo que a execução da parede diafragma fosse realizada de forma eficiente, dentro dos prazos estabelecidos.

Este estudo de caso destaca a eficácia dessas soluções, não apenas para este empreendimento, mas também como uma contribuição para futuras obras em áreas geologicamente similares.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a empresa Geofix pela oportunidade de contribuir com este artigo e pela parceria ao longo desta colaboração. Agradeço também a minha família, pelo apoio incondicional e incentivo em todos os momentos. Aos amigos e colegas de trabalho que estiveram ao meu lado, obrigado pela compreensão e pela troca de experiências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GEOFIX. **Paredes Diafragma com Clamshell e/ou Hidrofresa.**

Disponível em: < <https://www.geofix.com.br/servico-paredes-hidrofresa.php>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

HACHICH, Waldemar. et al. **Fundações: Teoria e prática.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

JOPPERT JR., Ivan. **Fundações e Contenções de Edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução.** São Paulo: Pini, 2007.

MAFFEI, C. E. M.; et al. **Análise, projeto e execução de escavações e contenções.** In: HACHICH, Waldemar et al. (Org.). **Fundações: Teoria e prática.** 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. cap. 15, p. 537-581.