

PAREDES MOLDADAS – GENERALIDADES SOBRE A SUA UTILIZAÇÃO

Diaphragms Walls – Elementary principles about their application

por

F. GUEDES DE MELO*

RESUMO – Apresentam-se numa forma genérica alguns aspectos relacionados com o uso de paredes moldadas. O artigo começa por uma referência histórica sobre o seu desenvolvimento e prossegue com considerações sobre o efeito estabilizador das suspensões de argila, indicações sobre as fases de construção, campo de aplicação e vantagens do método.

SYNOPSIS – Some aspects connected with the application of diaphragm walls are presented in a generic manner. The paper starts with a historical reference on their development and proceeds with considerations on stabilizer effect of the clay suspensions, construction phases, field of application and advantages of the method.

1 – BREVE REFERÊNCIA HISTÓRICA

A técnica de construção das chamadas “paredes moldadas” baseia-se fundamentalmente nos efeitos estabilizadores conseguidos numa escavação à custa duma suspensão de certos tipos de argila. Graças a esses efeitos, é possível ir realizando a escavação sem necessidade de qualquer tipo de entivação, desde que a cavidade que se vai formando esteja sempre preenchida com a referida suspensão, habitualmente designada por “calda” ou “lama”.

Este tipo de prática construtiva dentro do ramo da Engenharia Civil resultou duma extensão e adaptação, para esse domínio, da técnica de utilização das “lamas”, que desde fins do século passado vem sendo posta em prática e aperfeiçoada no campo da pesquisa e exploração do petróleo.

* Engenheiro Especialista em Geotecnia, LNEC, Lisboa.

Consultando a bibliografia especializada neste domínio é possível encontrar referências anteriores a 1900 que dão conta da utilização daquilo que se pode considerar a origem das actuais lamas e da técnica de furação com lamas (Chapman, 1887). É no entanto apenas a partir de 1900 que elas entram em uso generalizado nos Estados Unidos.

Desde o início da exploração desta técnica que um dos aspectos que mais atraiu as atenções dos utilizadores foi o que se prende com a constituição da própria lama. Começando por recorrer aos materiais argilosos existentes nos locais dos trabalhos, os estudos efectuados foram mostrando a vantagem em utilizar certos tipos de argila, até que, em 1929, o uso da bentonite acabou por ser patenteado por Cross e Harth nos Estados Unidos, tendo-se generalizado a partir de então, por todo o mundo.

No domínio da Engenharia Civil uma das primeiras aplicações da utilização das lamas diz respeito a um método construtivo desenvolvido por Powell e patenteado em 1926 o qual se destinava à construção de peças de fundação tipo tubulão. A cavidade necessária para a execução da peça era realizada à custa da estabilização com lamas, dentro das quais era posteriormente introduzido um cilindro metálico de bordo cortante, o qual depois de cravado no estrato julgado adequado para suporte da solicitação em causa, era esvaziado, passando em seguida a funcionar como cofragem.

A partir de então a utilização das lamas foi-se generalizando, especialmente na construção de estacas e de estruturas formadas por conjuntos de estacas secantes.

Contudo, aquilo que hoje é habitual designar por “parede moldada”, só na década de 50 começou a ser utilizada após os trabalhos em Itália de Veder e Marconi. Assim, após uma fase de ensaios prévios, Veder, em 1950, dirigiu a execução da primeira parede moldada na barragem de Fedala em Itália, enquanto que em 1953 Marconi começou a utilizar na escavação a técnica habitualmente designada por “circulação inversa”.

Em Portugal a construção de paredes moldadas teve o seu início em 1969 na obra do “Edifício Europeia” da Companhia de Seguros Europeia, em Lisboa. Com efeito, essa técnica foi utilizada para a construção da estrutura periférica envolvente dos pisos enterrados. Foi assim construído um total de 2020m² de parede com espessuras de 0,75 e 0,85 m e profundidade máxima de 14m. Ainda no mesmo ano foram executadas mais outras duas obras com recurso a paredes moldadas: reconstrução do Teatro D. Maria II, em Lisboa, e Doca n.º 10 do Estaleiro

Naval da Lisnave, na Margueira. No caso do Teatro D. Maria II a função a desempenhar pela parede moldada é idêntica à da que foi construída no “Edifício Europeia. A área total é um pouco superior (2400m²) sendo a espessura de 0,80m e a profundidade variável entre 10 e 23 metros. Na Doca n.º 10 do Estaleiro da Lisnave foi construída uma parede de 0,75m de espessura, 163 metros de desenvolvimento e profundidade máxima da ordem dos 14 metros, sendo de 2044m² a área total. Esta parede foi projectada como ancorada mediante a introdução dum nível de ancoragens a 2,20 metros da cabeça da parede.

Um pouco mais tarde, já em 1970, foi também adoptada a solução parede moldada na execução da passagem subterrânea para peões em Alcântara. Trata-se dum quadro rígido formado por paredes verticais, lajes de soleira e tecto, com cerca de 150 metros de desenvolvimento, assente em areias, e atravessando a linha de caminho-de-ferro Lisboa-Cascais. O trabalho foi realizado começando pela construção das cortinas laterais, em parede moldada, após o que se procedeu à escavação até ao nível inferior da laje do tecto. Após betonagem desta laje prosseguiu-se com a escavação até ao nível inferior da laje de soleira e posterior betonagem desta. Esta obra levou à realização de cerca de 3000m² de paredes moldadas.

A partir desta fase inicial de aplicação do método a sua utilização foi-se generalizando em diversos tipos de obra tais como edifícios, estrutura de suporte, fundações de estruturas, corta águas, etc.

2 – EFEITO ESTABILIZADOR DAS LAMAS

As lamas utilizadas na execução das paredes moldadas são habitualmente constituídas por suspensões em água dum tipo de argila designada por *bentonite*. A razão da escolha deste tipo de argila fundamenta-se nas propriedades por ela exibidas as quais conferem à suspensão um conjunto de características que se adaptam bem às exigências de execução impostas pelo próprio método.

Para que mais facilmente se possa compreender o papel que a bentonite desempenha em todo o processo construtivo, parece conveniente uma referência, ainda que breve, sobre a sua natureza e constituição.

A bentonite é um mineral argiloso pertencente ao grupo das chamadas montmorilonites. Em regra aparece em depósitos mais ou menos espessos resul-

tantes da alteração de cinzas vulcânicas em meio húmido. Como todos os minerais argilosos é um mineral cristalino formado por partículas lamelares de muito reduzidas dimensões.

Na constituição dos diversos minerais argilosos há a considerar dois tipos de estruturas que, pelo facto de se desenvolverem segundo duas direcções, se designam por "camadas". São elas as camadas tetraédricas e as camadas octaédricas.

As camadas tetraédricas são constituídas pela associação de unidades tetraédricas de $(Si_4O_4)^{4-}$ nas quais o átomo de silício se situa no centro dum tetraédro cujos vértices são ocupados pelos quatro oxigénios. Estas unidades ligam-se entre si de modo a ficarem todas com uma das faces sobre um mesmo plano e o vértice oposto a essa face orientado sempre no mesmo sentido (Fig. 1).

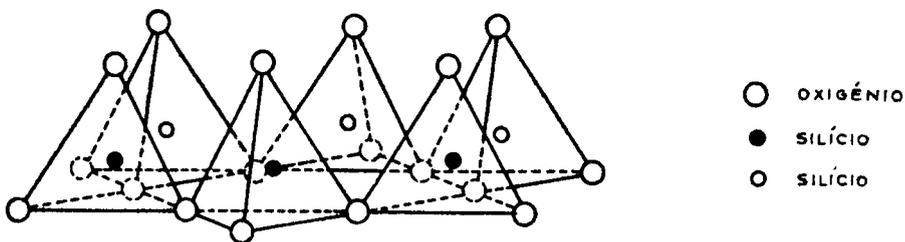


Fig. 1

As camadas octaédricas são constituídas por associação de unidades em forma de octaedro nas quais os iões de Mg^{2+} ou de Al^{3+} ocupam o centro e os oxidrilos $(OH)^-$ se situam nos vértices (Fig. 2).

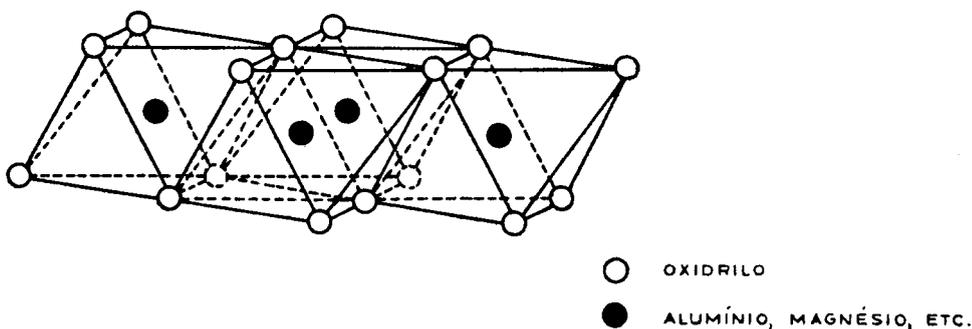


Fig. 2

Camadas dos dois tipos que acabam de ser referidos podem ligar-se umas às outras por sobreposição formando conjuntos lamelares. Conforme o tipo de camadas associadas e a natureza da ligação assim surgem os diferentes minerais argilosos.

No caso da bentonite o conjunto que se repete para a constituição do cristal é formado pela associação de duas camadas tetraédricas com uma camada octaédrica colocada entre aquelas. Acontece porém que se verificam algumas substituições do silício por alumínio, dos tetraedros, e do alumínio ou magnésio, dos octaedros, por outros elementos tais como o ferro, o cromo e o zinco, o que dá como resultado o aparecimento de cargas eléctricas negativas não equilibradas. Nestas condições dá-se a adsorção de catiões como o sódio, o cálcio e o potássio existentes no meio, os quais, dadas as suas dimensões, não penetram na rede cristalina, ficando dispostos junto ao contorno exterior. Dadas as fracas ligações existentes entre estes catiões e a estrutura primitiva, eles são facilmente substituídos por outros, resultando daí a designação de “catiões permutáveis”.

As camadas tetraédricas e octaédricas, com os respectivos catiões permutáveis, ligam-se umas às outras por intermédio das forças de atracção eléctrica, originadas pelos catiões permutáveis, e ainda pela acção de forças de Van der Waals. Trata-se contudo de forças de reduzido valor pelo que se torna relativamente fácil a separação das camadas. É exactamente a este facto que a bentonite deve as suas características de expansibilidade quando em contacto com a água. Com efeito as forças de ligação entre camadas são relativamente fracas, especialmente quando comparadas com as que se desenvolvem na adsorção de moléculas de água. Deste modo estas são atraídas e forçam a estrutura a separar-se ao longo dos planos potencialmente fracos que são os de ligação entre camadas. Surgem deste modo partículas de menores dimensões resultantes da divisão dos agregados iniciais. Este processo de separação pode ser incrementado e activado mediante processos mecânicos, tais como agitação, podendo deste modo atingir-se suspensões de partículas de pequeníssimas dimensões, e de geometria fundamentalmente lamelar, constituindo-se assim uma suspensão com uma dada viscosidade.

Devido à constituição iónica das redes cristalinas as partículas em suspensão apresentam cargas eléctricas não equilibradas distribuídas pela sua superfície, verificando-se que ao longo das faces essas cargas são negativas enquanto ao longo dos bordos elas são normalmente positivas, se bem que possam também ser

negativas, dependendo muitas vezes o seu sinal de imperfeições da rede iónica e até mesmo da natureza do meio onde estão mergulhadas.

O conjunto de partículas, com as cargas eléctricas que acabam de ser referidas, permanece em suspensão enquanto for mantido um estado de agitação no meio em que está mergulhado. Desde que este acabe verifica-se que as partículas tendem a formar agregados mediante o seu arrumo em estruturas cuja orientação espacial depende da distribuição das cargas eléctricas nas partículas. Se posteriormente se voltar a introduzir alterações mecânicas no meio, como por exemplo agitação ou mesmo impactos, o arranjo estrutural desfaz-se e pode voltar a ter-se novamente uma suspensão. Esta característica das suspensões de argila é designada por “tixotropia”.

Embora teoricamente a tixotropia seja uma propriedade que pode ser considerada comum a todos os tipos de argila, o facto é que, do ponto de vista prático, o fenómeno só tem repercussões importantes quando o tempo necessário para a formação da estrutura, desde que cessa a agitação, é relativamente pequeno. É o que sucede no caso da bentonite. Com efeito, enquanto que em argilas médias a gelificação pode levar alguns dias, no caso da bentonite ela processa-se em apenas poucos minutos.

Reologicamente o comportamento duma suspensão de bentonite em água pode ser assemelhado a um corpo de Bingham, caracterizado portanto pela existência dum valor particular da tensão tangencial que marca a separação de dois tipos de comportamento distintos, conforme a tensão aplicada se situa abaixo ou acima desse valor. Assim, para valores abaixo dessa tensão característica, o corpo não sofre deformações, enquanto que, uma vez ela ultrapassada, o comportamento é o que corresponde a um corpo de Newton, isto é, exibindo deformações operadas a velocidades de deformação constante para um dado nível de tensão. Essa velocidade é proporcional ao nível de tensão aplicado, através duma constante de proporcionalidade que mede a viscosidade. No esquema da Fig. 3 apresenta-se o modelo reológico habitualmente utilizado para descrição do comportamento dum corpo de Bingham.

Para além das propriedades tixotrópicas exibidas por uma suspensão de bentonite em água há ainda a referir uma outra característica particularmente importante para a sua aplicação na construção das paredes moldadas. Com efeito verifica-se que quando essa suspensão é posta em contacto com um solo forma-se à superfície deste uma película praticamente estanque recobrendo-o completamente. Tal película, designada habitualmente pelo termo inglês “cake”, funciona como uma

membrana sobre a qual se exerce a pressão hidrostática devida à própria suspensão. É importante que essa membrana seja contínua de forma a evitar fugas exageradas de calda para o interior do terreno. Tais fugas são indesejáveis, não só pela perda de calda em si, mas também pelos efeitos instabilizadores que provocam, na medida que originam aumentos de tensão neutra.

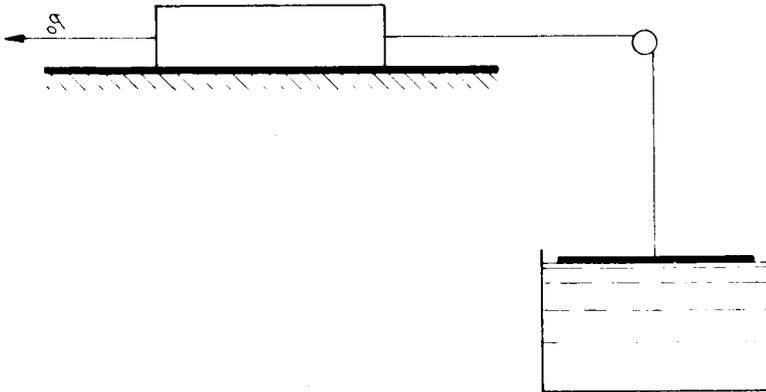


Fig. 3

A formação do “cake” tem a sua origem em fenómenos eléctricos de atracção entre as partículas do solo e as partículas de bentonite da suspensão. No caso de solos finos a suspensão não penetra profundamente no solo por não existirem vazios de dimensões elevadas e então a película que se forma é superficial. Se a granulometria do solo envolvente é grosseira a calda vai penetrando em profundidade maior ou menor mas, graças às propriedades tixotrópicas, vão-se criando estruturas de agregados de bentonite que vão obturando os canais de circulação. Neste caso a superfície da membrana onde se exerce a pressão hidrostática não é tão regular como no caso anterior mas do ponto de vista de funcionamento não há diferenças apreciáveis. O que se verifica é que a zona contaminada pela suspensão tem uma maior espessura.

A estabilidade da escavação depende muito da existência desta película impermeável através da qual é transmitida ao solo a pressão hidrostática da suspensão. Esta constitui com efeito a principal acção estabilizadora existente embora não seja a única. Na realidade por si só ela não justifica teoricamente o equilíbrio, sendo necessário procurar justificações de outro tipo, designadamente efeitos de arco que originam transferências de tensões para zonas fora da área em escavação.

3 – FASES DE CONSTRUÇÃO DUMA PAREDE MOLDADA

Embora certos pormenores de execução sejam diferentes de caso para caso, de acordo com as condições particulares de cada obra, é possível esquematicamente considerar-se determinadas fases de execução que são características do método. Assim tem-se:

3.1 – *Construção dos “muros-guia”*

Após a definição em planta da localização da parede moldada começa-se por executar uma pequena trincheira ao longo de todo o desenvolvimento da parede e de eixo coincidente com o desta. Os taludes verticais desta escavação são em seguida protegidos por pequenos muros de betão (muros-guia) afastados entre si de uma distância idêntica à espessura da parede que se pretende construir.

A função destes muros é a de, por um lado, servir de guia quando da descida do equipamento de escavação, e por outro, a de criar uma espécie de canal para condução da suspensão bentonítica durante as operações de escavação.

A altura dos muros-guias deve ser tal que as flutuações do nível da calda originadas pelas operações de escavação não provoquem nem o seu transbordo nem a sua descida para cotas inferiores à da base dos muros. Com efeito no primeiro caso verificar-se-ia uma perda de calda enquanto que, no segundo, as sucessivas flutuações em zona não protegida da escavação poderiam originar com facilidade desmoronamentos, que acabariam por arrastar a ruína dos próprios muros, impedindo assim o prosseguimento da escavação. Como ordem de grandeza pode dizer-se que em regra a altura dos muros se situa entre os 0,80 e 1,50 metros.

3.2 – *Montagem do sistema de preparação, de distribuição e de eventual recuperação da calda*

Estudos laboratoriais prévios são habitualmente conduzidos com a finalidade de definir qual a constituição da calda que deve ser utilizada. Nestes estudos deve ter-se em atenção não só o tipo de terreno onde a escavação vai ser realizada mas também a natureza dos materiais argilosos de empréstimos vizinhos, os quais poderão eventualmente ser incorporados na própria calda.

Para que as escavações possam ser realizadas em boas condições é necessário que as lamas desempenhem satisfatoriamente um certo número de funções, tais como:

- suportar a escavação;
- permanecer na escavação sem que se verifiquem perdas sistemáticas para o interior do solo;
- manter suspensos os detritos da escavação impedindo a sua deposição no fundo da escavação;
- permitir uma fácil substituição pelo betão sem que reste no final qualquer camada ou bolsada no seu interior;
- permitir, por peneiração, sedimentação ou qualquer outro processo, a separação dos detritos, de forma a tornar possível posterior re-utilização;
- ser facilmente bombada.

A satisfação conjunta destes requisitos consegue-se à custa de soluções de compromisso uma vez que alguns deles são contraditórios. Assim, por exemplo, a pressão hidrostática, com que se conta para efeitos estabilizadores da escavação, e a capacidade em manter suspensos os detritos, serão melhorados à medida que as lamas se tornam mais densas. Contudo, para melhor se processar, quer a sua substituição, quer as operações de bombagem, convém que elas sejam o mais fluídas possível. Face a esta situação a definição da mistura mais conveniente exige uma série de estudos preliminares com a finalidade de otimizar os diversos efeitos que se pretendem obter. Uma vez aceite determinado tipo de mistura, há que verificar periodicamente se os valores obtidos em estaleiro estão dentro das tolerâncias admitidas para os valores pré-fixados. Por este motivo é habitual realizar determinações sistemáticas de diversas grandezas, tais como:

- densidade;
- viscosidade;
- resistência do gel;
- pH;
- percentagem de areia.

Da boa definição do tipo de lama a utilizar depende em larga medida o êxito da forma como poderá decorrer o trabalho. Nessa definição tem um papel importante a natureza do solo onde se pretende executar o trabalho.

Dum modo geral pode dizer-se que o processo construtivo das paredes

moldadas é aplicável a qualquer tipo de solo desde que o equipamento de escavação e, muito principalmente, a natureza da lama de escavação, sejam correctamente escolhidos. Para se ter uma ideia da gama de variação de constituição das lamas face à natureza de terreno podem indicar-se as diversas situações que seguidamente se apresentam:

- para solos com permeabilidade até 10^{-1} a 10^{-2} cm/s é suficiente adoptar suspensões de bentonite com concentrações da ordem de 4 a 6%.
- para solos de permeabilidades superiores pode aumentar-se a concentração da suspensão, a qual contudo em regra não deve ir além de 12%;
- em casos excepcionais em que, mesmo para esta concentração, a suspensão não é retida na escavação, usam-se aditivos destinados a actuar por diversas formas, tais como:
 - materiais destinados a provocar directamente a obstrução dos poros do solo (argilas, siltes ou mesmo areias);
 - materiais que provocam a floculação da bentonite (aluminato de potássio, cloreto de alumínio e cálcio);
 - materiais que por ligação às partículas do solo vão diminuindo os diâmetros dos poros (cimento);
 - materiais fibrosos que vão criando redes nos poros de maiores dimensões, a partir das quais se torna mais fácil a obturação (plantas fibrosas e fibras sintéticas).

Uma vez estabelecida a constituição das lamas é necessário dispor de todo um sistema de preparação da mistura. Ele consta fundamentalmente de reservatórios providos de agitadores mecânicos no interior dos quais são lançadas as quantidades previamente fixadas dos vários constituintes. Estes são em seguida misturados mediante a acção dos agitadores de forma a constituir-se uma suspensão homogénea. A agitação da mistura mantém-se ininterruptamente até se proceder à bombagem para a zona em escavação de modo a evitar que as partículas de argila formem estruturas o que, a verificar-se, prejudicaria, quer a bombagem, quer o papel a desempenhar pela suspensão no interior da escavação.

O caudal de calda a bombar para o interior da escavação deve ser regulado em função do ritmo da própria escavação, procurando-se que o nível da calda se mantenha sempre constante.

Associado ao sistema de preparação da calda é habitual encontrar um outro destinado à recuperação da já utilizada na escavação dum painel para posterior

re-utilização. Trata-se fundamentalmente de tanques onde a calda já utilizada é recolhida e nos quais se procura fazer a separação dos detritos provenientes da escavação. Esta recuperação de calda já utilizada justifica-se por duas razões fundamentais e ambas de carácter económico. Assim, em primeiro lugar, há toda a vantagem na recuperação da calda uma vez que o custo da bentonite é em geral elevado, especialmente nos países onde esse material não existe e tem de ser importado, como é o caso de Portugal. Desde que o custo da sua recuperação não seja exageradamente alto, o que geralmente se verifica, esta operação é economicamente recomendável, não apresentando inconvenientes de ordem técnica. Por outro lado, em muitos casos de utilização de paredes moldadas, em especial em zonas urbanas, não é com facilidade que um estaleiro pode dispor dum local de depósito onde possa lançar, sem cuidados de maior, volumes apreciáveis de calda já utilizada. Em casos destes há que ponderar os custos de tratamento e os correspondentes à perda total da calda acrescida do custo de transporte até um local de depósito adequado, chegando-se à conclusão de que muitas vezes é bastante mais económico proceder ao tratamento.

3.3 – Escavação

Uma vez construídos os muros-guia e posto a funcionar o sistema de alimentação da calda pode passar-se à realização da escavação.

A escavação é executada parcelarmente por painéis cujas dimensões são função das características do caso concreto que se pretende resolver.

Em princípio pode dizer-se que a altura é um dos dados do problema que é previamente fixado de acordo com a natureza do terreno e a finalidade a que a parede se destina.

No que diz respeito à largura do mesmo modo se pode considerar que ela é também um dos dados a fornecer ao construtor sendo igualmente fixada em função daquilo que se pretende obter com a construção da parede. Aqui, contudo, levantam-se certos condicionamentos que é necessário ter em conta e que dizem respeito às dimensões do equipamento de escavação e do equipamento de colocação da mistura definitiva, em substituição das lamas de escavação, nos casos em que tal substituição tem lugar. Assim é preciso ter em atenção, quando se escolhe a espessura, que a escavação é normalmente realizada por equipamentos com dimensões iguais à da espessura da parede, pelo que esta deve ser dimensionada de acordo com o equipamento disponível. Daí que não seja possível

na prática adoptar toda uma gama contínua de valores, antes se verificando, à semelhança do que acontece com a construção de estacas, que os valores comerciais são em regra limitados. A título de exemplo pode referir-se que, dois dos valores mais utilizados, são 60 e 80 cm.

No que se refere aos valores máximos e mínimos da espessura existem também condicionamentos de ordem prática que limitam a gama de valores a considerar. Assim não é habitual utilizar espessuras superiores a 1,5 metros, dado que a partir daí os equipamentos começam a ser demasiado pesados e conseqüentemente de difícil manobra. Por outro lado a dimensão mínima está também condicionada à dimensão com que se fabricam os equipamentos, os quais, para serem eficientes, necessitam dum mínimo de robustez e de peso, o que na prática limita valores abaixo dos quais não é aconselhável descer. Além disso, e para o caso de se tratar de paredes resistentes, a colocação das armaduras e as operações de betonagem exigem espessuras abaixo das quais se torna difícil a realização e elevado o risco de obter uma má qualidade de execução. Resulta assim que, em regra não se desce a valores inferiores a 50 cm.

Fixados os valores da altura e da espessura da parede, para completar a definição geométrica dos painéis, resta fixar o valor do seu comprimento. Também aqui é necessário ter em conta diversos factores, os quais por vezes têm efeitos opostos, pelo que a sua ponderação deverá conduzir em cada caso a um valor do comprimento óptimo. Em primeiro lugar é de referir que o aumento do comprimento do painel é, em certa medida, desejável. Na realidade quanto maior ele é menos problemas de execução de juntas se levantam, pelo que a parede se torna mais económica e menor é o risco de ocorrência de deficiências de execução, dado que, inevitavelmente, uma junta é sempre um ponto potencial de fraqueza da parede, particularmente no que diz respeito à sua estanqueidade. Há no entanto outros aspectos importantes que introduzem também condicionamentos ao comprimento dos painéis. Assim é de referir que a estabilidade da escavação é conseguida à custa da acção das lamas sobre as paredes mas que além disso contribuem como factor estabilizador os efeitos de arco, os quais diminuem muito à medida que o comprimento do painel aumenta. Resulta então que, para se poder contar com esse efeito benéfico na estabilidade da escavação, é preciso não aumentar demasiado a dimensão do painel. Isto leva a que em regra não se adoptem comprimentos superiores a 2,5 metros em casos em que exista a possibilidade de, por acidente na construção da parede, se poderem causar prejuízos importantes em construções vizinhas, como é o caso da construção de paredes moldadas em zonas urbanas.

Outro condicionamento que é preciso ter em conta é o que se prende com a substituição das lamias de escavação pela mistura definitiva. Com efeito, sempre que se trata de construção de paredes resistentes, deve ter-se em atenção que a betonagem deve ser feita sem interrupções e de tal modo que esteja concluída antes de as primeiras camadas terem ganho presa.

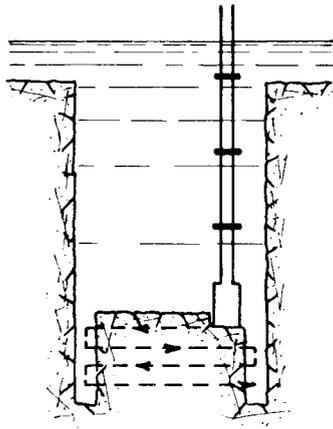
É de referir ainda que em alguns casos o comprimento dum painel é fixado tendo em atenção factores de natureza bastante diferentes dos apresentados. Assim, por exemplo, quando da construção de muros ancorados, é o estudo do espaçamento mais económico das ancoragens que pode levar a adoptar um determinado valor óptimo do comprimento do painel.

Para a realização da escavação existe actualmente uma grande variedade de equipamentos podendo no entanto fazer-se o seu agrupamento em dois tipos fundamentais: equipamentos de escavação por circulação e equipamentos de escavação por baldes.

Os do primeiro tipo, equipamentos de escavação por circulação, começam por provocar a desagregação dos materiais e a sua mistura com a lama forçando em seguida a circulação da suspensão que assim serve de veículo de transporte dos produtos de escavação. Dependendo da forma como se estabelece o movimento de circulação é possível distinguir ainda dois sub-tipos de escavação designados por “circulação directa” e “circulação inversa”. No primeiro caso a lama é injectada no interior da escavação e a sua saída, pela parte superior, é que vai arrastando os produtos de escavação. No caso da circulação inversa a lama é lançada dentro da escavação e por sucção é retirada juntamente com os produtos de escavação.

Quanto ao modo como é orientado o prosseguimento da escavação é possível considerar ainda outros dois tipos de técnicas: por “aplainamento” e por “furação à vara” (Fig. 4). Na técnica de “aplainamento” o equipamento de escavação desloca-se ao longo de todo o comprimento do painel em consecutivos movimentos de vai-vém em cada um dos quais se vão escavando sucessivas fatias de pequena espessura. Uma vez escavado todo o solo dentro do campo de acção para o comprimento do equipamento num dado momento, acrescenta-se uma nova vara repetindo-se as operações. Na técnica designada por “furação à vara” a escavação é feita por sucessivas furações de elementos verticais de altura correspondente ao comprimento duma vara. Quando todo o painel se encontra escavado para esse comprimento de equipamento acrescenta-se nova vara. Quando a escavação é feita por qualquer dos métodos de circulação referidos é habitual montar o equipa-

APLAINAMENTO



FURAÇÃO À VARA

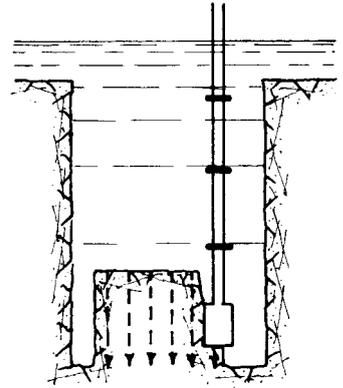


Fig. 4

mento de escavação sobre carris, o que permite o seu deslocamento duma forma fácil e precisa.

Para a realização da escavação pelo processo de “escavação por baldes” existe hoje em dia uma vasta gama de equipamento diferindo entre si por aspectos tais como, geometria dos baldes, peso, sistema de suspensão e de manutenção de verticalidade e ainda tipo de comando (mecânico, hidráulico e hidro-eléctrico). A escolha do tipo de equipamento a utilizar na realização duma dada escavação depende fundamentalmente da gama de equipamento disponível, das características da parede e do tipo do solo onde ela vai ser executada. A experiência adquirida na resolução de problemas anteriores é factor a ter em conta, permitindo muitas vezes chegar à solução mais ade-

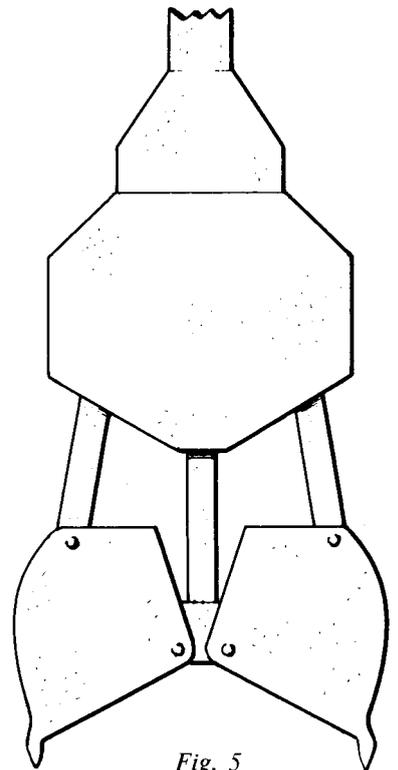


Fig. 5

quada com um mínimo de esforço dispendido. Na Fig. 5 apresenta-se um dos tipos de equipamentos habitualmente utilizados.

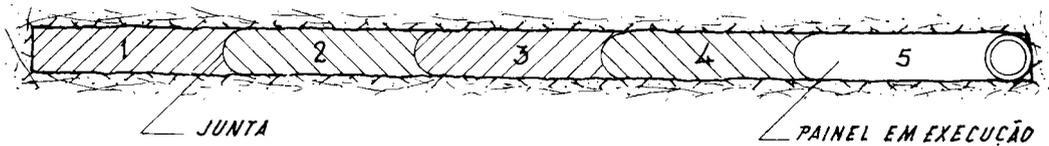
3.4 – Colocação dos tubos-junta

Uma vez que a parede moldada é constituída por um conjunto de elementos distintos justapostos, o próprio método construtivo dá origem a inevitáveis juntas entre eles. Visando a redução ao mínimo possível dos inconvenientes que eles acarretam para o funcionamento da parede, é prática corrente a utilização nos extremos dos painéis dos chamados tubos-junta. Trata-se de tubos metálicos de diâmetro igual à espessura da parede que são colocados nas extremidades dos painéis antes de se proceder à respectiva betonagem. Estes tubos funcionam como molde de encontro ao qual se faz a betonagem. A sua posterior remoção dá assim origem à formação nas extremidades de superfícies hemi-cilíndricas de bom acabamento. Quando se procede à betonagem do painel vizinho é essa própria superfície que passa a funcionar como molde formando-se deste modo uma junta de razoável qualidade, não só pelo acabamento do betão do painel construído em primeiro lugar, mas também pela própria geometria do contacto entre os dois painéis. Como facilmente se compreende a retirada dos tubos-junta deve ser feita em tempo adequado, isto é, não tão cedo que o betão ainda esteja demasiado fluído, nem tão tarde que permita que as reacções de presa criem ligações demasiado fortes entre o betão e o tubo tornando difícil a retirada deste.

A execução dos diversos painéis numa parede pode ser feita de acordo com dois tipos de sequência: ou de forma contínua ou alternadamente. Conforme o nome indica no primeiro caso os painéis são executados uns a seguir aos outros sem que fique nunca nenhum painel intermédio por realizar. No segundo caso o trabalho é conduzido de forma a construir primeiramente uma série de painéis alternados (painéis primários) e só posteriormente é que a segunda série de painéis intermédios (painéis secundários) é executada. Na Fig. 6 esquematiza-se cada uma destas formas de conduzir o trabalho.

Conforme facilmente se compreende o primeiro dos dois métodos de trabalho apontados obriga à utilização de um único tubo-junta por painel, salvo no que diz respeito ao primeiro que necessita de dois. O segundo método obriga a utilizar dois tubos para cada painel primário enquanto que os painéis secundários são realizados sem nenhum.

ORDEM DE EXECUÇÃO



ORDEM DE EXECUÇÃO

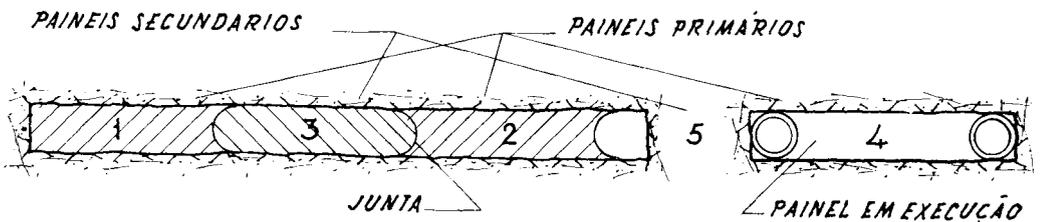


Fig. 6

3.5 - Colocação da armadura

Quando o que está em causa é a construção duma parede resistente, logo que for dada por concluída a realização da escavação deve proceder-se à colocação da respectiva armadura. Esta é previamente preparada no estaleiro constituindo-se como que uma gaiola com as dimensões do respectivo painel e com as secções de aço e respectivas distribuições determinadas por cálculo. O conjunto assim formado é então suspenso por intermédio duma grua, é colocado na vertical da escavação já realizada e então descido de forma a mergulhar na calda que se encontra ainda a preencher o respectivo painel.

A fim de conferir à armadura características que permitam a sua fácil suspensão e transporte torna-se muitas vezes necessário proceder a um adequado reforço, particularmente se as dimensões do painel são elevadas.

De referir que as dificuldades de manipulação das armaduras, quer as resultantes das dimensões quer as do peso, podem introduzir alguns condicionamentos às dimensões dos painéis, embora seja viável, em caso de painéis de grande comprimento, o seccionamento da armadura. Quando se recorre a tal processo a armadura é montada por troços especialmente construídos para permitirem após colocação a sobreposição de ferros considerada necessária por cálculo.

Na execução das armaduras podem ser previstos pontos singulares, como por exemplo, os que correspondem ao atravessamento de ancoragens. Trata-se duma situação muito corrente uma vez que a técnica das ancoragens é com muita frequência utilizada em obras associadas à construção de paredes moldadas. Sempre que tal acontece a armadura da parede é preparada tendo em atenção esse facto. É assim criado um espaço livre de armadura através do qual passará posteriormente a ancoragem, ao mesmo tempo que à sua volta se procede ao adequado reforço com a armadura de distribuição para fazer face à concentração de tensões devidas à actuação da ancoragem. O espaço livre por onde passará a ancoragem é então obturado com materiais facilmente removíveis, tais como esferovite, a fim de evitar que quando da betonagem essas zonas sejam preenchidas com betão.

3.6 – *Betonagem*

Após a colocação das armaduras e dos tubos-juntas a construção dum painel termina com a operação de betonagem. Esta é realizada através de colunas de betonagem compostas por sucessivos tubos de diâmetro da ordem de grandeza dos 15 a 25 cm e de comprimentos de 1 a 4 metros, os quais vão sendo ligados uns aos outros até atingir o fundo da escavação. A extremidade superior da coluna termina por uma zona alargada na qual é lançado o betão que depois desliza ao longo da coluna (betonagem por tremonha).

A betonagem faz-se então lançando o betão no fundo da escavação. Este, dada a sua maior densidade faz com que a lama utilizada na escavação seja removida indo ele ocupar o seu lugar. O enchimento com betão processa-se assim de baixo para cima ao mesmo tempo que a lama estabilizadora da escavação vai sendo expulsa do interior do painel escorrendo ao longo do espaço limitado pelos muros-guia.

A fim de minimizar tanto quanto possível o contacto entre o betão e as lamas de enchimento a betonagem deve ser conduzida de forma a que a extremidade da coluna de betonagem esteja sempre mergulhada no betão já colocado. Contudo, para facilitar o seu escoamento, não é aconselhável criar grande desnível entre a base da coluna de betonagem e a superfície superior do betão dentro do painel, razão pela qual a coluna deve ir sendo sucessivamente elevada de forma a manter permanentemente um comprimento mergulhado no betão da ordem de um a dois metros.

No que diz respeito às características do betão de enchimento, para além daquilo que é habitual exigir a um betão como constituinte de uma peça resistente de betão armado, no caso das paredes moldadas é ainda necessário que ele tenha características de consistência que permitam uma fácil substituição da lama de escavação. Este aspecto é particularmente importante no caso de as armaduras terem grande concentração de ferro localizada em certos pontos, o que necessariamente cria dificuldades de escoamento de betão, o que pode provocar incompleta substituição das lamas, exactamente em pontos críticos do painel.

Nas operações de betonagem deve ter-se sempre presente que todo o volume de betão dum painel deve ser colocado antes que se verifiquem apreciáveis reacções de presa. Como ordem de grandeza é costume fazer toda a programação de forma a que a betonagem possa estar concluída dentro dum intervalo de tempo da ordem de grandeza de 3 a 4 horas. Este é portanto um condicionamento que pode ter influência bem marcada na fixação do comprimento máximo dos painéis.

Um outro aspecto que deve ser tido em conta é o de que, mesmo em painéis relativamente curtos, portanto de pequeno volume por metro de comprimento, nos quais o problema anteriormente focado não se põe, não se pode aumentar demasiado o comprimento de painel sem adoptar precauções adequadas. Com efeito a experiência mostra que quando a distância da coluna de betonagem ao extremo dos painéis é grande começa a verificar-se segregação no betão, o que deve ser evitado. Para atender a este aspecto aquela distância não deve ultrapassar os 3 a 4 metros. Contudo, havendo interesse em adoptar maiores dimensões de painéis pode evitar-se o inconveniente apontado utilizando mais do que uma coluna de betonagem dentro de cada painel convenientemente espaçadas. Sempre que se recorra a este tipo de procedimento a betonagem deve ser conduzida de forma a que em cada instante o nível de betão dentro do painel se mantenha o mais uniforme possível, o que equivale a dizer que o caudal de betão a descarregar por cada coluna deve ser aproximadamente igual em todas elas.

3.7 – Nota final sobre as fases de construção duma parede moldada

Tal como anteriormente foi referido, as fases de construção que acabam de ser apontadas correspondem a uma separação esquemática de tarefas habitual-

- dizer-se que a sua realização é possível em qualquer tipo de solo desde que se tomem as precauções adequadas, o que implica para cada caso concreto um cuidadoso estudo da composição da lama estabilizadora, do tipo de equipamento de escavação a utilizar e da geometria do painel;
- o método permite, sem problemas de maior, atingir elevadas profundidades;
 - permite uma grande maleabilidade na programação das obras uma vez que a sua execução é feita por painéis isolados;
 - desde que sejam adoptados certos cuidados de execução, o acabamento final obtido pode ser tal que, para certas situações seja dispensável qualquer tratamento posterior. É esse o caso, por exemplo, de garagens;
 - tem-se verificado um bom comportamento das paredes moldadas para condições de solicitação das mais diversas. Em particular elas têm-se revelado bastante aptas para fazer face a solicitações sísmicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOILS MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING
 "Cast in situ diaphragms walls". Speciality sessions N.º 14 and 15, VII International Conference, México, 1969.
- SCHNEEBELI, G. - "Les parois moulées dans le sol". Éditions Eyrolles, Paris, 1971.
- FEDERATION OF PILING SPECIALISTS - "Specification for cast in place concrete diaphragm walling". Ground Engineering, Vol. 6 N.º 4, July 1973.
- INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - "Diaphragm walls and anchorages". London, September 1974.
- THE CONSULTING ENGINEER - "Practical design for diaphragm walls", supplement, September, 1974.
- XANTHAKOS, P. P. - "Diaphragm wall construction and slurry trench applications in the USA". Ground Engineering Vol. 7, N.º 5, September, 1974.
- PULLER, M. J. - "Slurry trench stability - Theoretical and practical aspects". Ground Engineering Vol. 7, N.º 6, September, 1974.
- IKUTA, Y. - "Diaphragm walling in Japan". Ground Engineering, Vol. 7, N.º 5, September, 1974.
- BOYES, R. G. H. - "Structural and cut off diaphragm walls". Applied Science Publishers Ltd., London, 1975.
- INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - "A review of diaphragm walls", London, September 1976.

- elemento tipo parede fundamentalmente concebido com objectivo de corta águas;
- elemento de fundação de estruturas.

No primeiro destes três tipos de aplicação inclui-se toda a gama de estruturas de suporte necessárias para fazer face à realização de escavações. O caso típico desta aplicação é o que diz respeito à construção de pisos enterrados de edificações. Nestes casos a utilização da técnica das paredes moldadas é muito frequentemente associada à das ancoragens. Assim começa-se pela construção duma parede moldada resistente ao longo de todo o contorno, em planta, da zona a construir enterrada. Em seguida dá-se início à escavação, a qual é realizada apenas até um nível compatível com a capacidade que a parede possui de, por si só, fazer face aos impulsos mobilizados. Nessa altura procede-se à instalação duma linha de ancoragens a partir do que se progride de novo com a escavação. Deste modo conjugando níveis de escavação e instalação de fiadas de ancoragens o desmonte de material vai sendo levado até à cota desejada.

Outros tipos de obras realizadas por este processo são certas construções de desenvolvimento linear como é o caso de túneis, passagens subterrâneas, galerias para esgotos, etc.

Dum modo geral nestes casos a própria parede moldada começa por servir como estrutura de suporte que permite a realização das escavações, acabando depois por ser integrada na estrutura global, constituindo elemento resistente da construção em causa.

No segundo tipo de aplicação citado, o que se pretende é que a parede moldada corte a percolação existente num dado terreno. Trata-se normalmente de um elemento de construção que vai funcionar encaixado no solo aonde é construído. Para tais funções normalmente não se exige elevada resistência mecânica, pelo que se recorre com frequência a misturas de cimento e argila do tipo das já referidas misturas com auto endurecimento. Como facilmente se reconhece este papel de corta águas pode ser igualmente conseguido à custa duma parede resistente, pelo que, em certos casos, a mesma parede pode desempenhar simultaneamente as duas funções.

Um exemplo de aplicação das paredes moldadas como corta-águas é o da sua utilização no caso de barragens fundadas em solos permeáveis.

.. Finalmente o terceiro tipo de elemento estrutural em cuja construção se recorre à técnica das paredes moldadas é o que se relaciona com a execução

de elementos de fundação de estruturas. Este procedimento iniciou-se pela construção de elementos isolados (designados por “barrettes” na literatura francesa e que em português se tem traduzido por “barreta”) com dimensões da ordem de 0,4 a 0,8 m de largura e 2 a 5 metros de comprimento. Posteriormente o desenvolvimento da técnica de execução passou a permitir a construção de geometrias mais complexas sendo actualmente frequente o recurso a secções em cruz, em T, em L ou em H.

Trata-se portanto duma forma geral de elementos de grande rigidez e de grande momento de inércia, com uma pequena relação superfície-volume. Estas características tornam-os especialmente aptos para funcionarem como elementos de fundação trabalhando de ponta, destinados a suportar grandes cargas concentradas, sejam elas verticais, horizontais ou mesmo momentos, desde que eles sejam convenientemente orientados. Estas características conferem-lhes consideráveis vantagens em certos casos quando em comparação com as estacas.

5 – VANTAGENS DO MÉTODO

Dentro de diversas vantagens que podem ser apontadas ao método de construção das paredes moldadas podem indicar-se:

- ele permite a realização de elementos de suporte e de fundação com um mínimo de descompressão e de deformação do terreno situado na sua vizinhança. Isto torna-o particularmente aconselhável para a realização de obras em áreas urbanas permitindo a execução de escavações ao abrigo de paredes resistentes previamente construídas por este método sem que as edificações vizinhas sejam sensivelmente afectadas por deformações do terreno em que estão fundadas;
- os níveis de vibração e de ruídos resultantes da sua construção são bastante mais modestos do que os atingidos quando se recorre a alguns dos métodos alternativos possíveis, como é o caso da cravação de estacas pranchas metálicas. Esta é também uma forte razão de preferência em casos de obras a realizar em zonas urbanas;
- o método tem-se revelado de uma grande versatilidade face à natureza do solo em questão. Considera-se que actualmente só em casos muito raros de solos muito peculiares é que se levantarão problemas que não possam ser resolvidos mediante o recurso a esta técnica. Como regra pode

mente executadas quando da construção duma parede moldada. Não quer isto dizer que elas tenham obrigatoriamente de ser cumpridas integralmente, nem que o próprio tipo de tarefa apontado tenha de ser executado exactamente de acordo com aquilo que resumidamente foi indicado. Assim, por exemplo, para a resolução de certos problemas, designadamente quando o que está em jogo é a construção dum elemento fundamentalmente impermeável, em relação ao qual não se põem questões de resistência, tem vindo a ser utilizada, uma técnica segundo a qual a própria lama de furação é simultaneamente o material final de constituição da parede. Isso consegue-se através da mistura de cimento à suspensão bentonítica, em dosagem conveniente, obtendo-se assim um material que satisfaz os requisitos necessários à fase de furação e que, uma vez esta terminada, portanto em situação de repouso, acaba por adquirir uma certa resistência mecânica graças às reacções de presa do cimento. Estas caldas são designadas por caldas com “auto-endurecimento”. Tem-se portanto que quando se recorre a esta técnica certas fases de execução como por exemplo, a de betonagem, são eliminadas.

Em certos casos a técnica da abertura de valas com lamas associa-se a pré-fabricação dos painéis eliminando-se as operações de betonagem, anteriormente referidas, e alterando-se alguns aspectos particulares como por exemplo os que dizem respeito às juntas.

Quanto à forma de executar algumas das tarefas apontadas existem também normalmente diversas técnicas mais ou menos evoluídas. Concretamente, por exemplo, no domínio de execução de juntas entre painéis é possível indicar diversas alternativas àquela que foi referida. Trata-se contudo de assunto já de especialidade e pormenor que não se enquadra dentro do espírito com que foi redigido o presente documento.

4 – CAMPOS DE APLICAÇÃO

A técnica das paredes moldadas tem experimentado uma considerável expansão nos últimos anos graças à facilidade com que se pode adaptar à resolução duma gama muito larga de problemas. Duma forma esquemática pode dizer-se contudo que as suas aplicações correspondem fundamentalmente a três tipos de elementos estruturais, a saber:

- elemento tipo parede fundamentalmente concebido com fins resistentes;

- DUPEUBLE, P.; HABIB, P. - "Coulis et bétons plastiques pour coupures étanchès". Proc. IX International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Toquio, 1977.
- GYSI, H. J.; LINDER, A.; LEONI, R. - "Behaviour of a prestressed diaphragm wall". Proc. IX International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Toquio, 1977.
- DELMAS, F. et al - "Comportement d'un soutènement en paroi moulée". Proc. IX International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Toquio, 1977.
- MULLER-KIRCHENBAUER, H. - "Stability of slurry trenches in inhomogeneous subsoil". IX International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Toquio, 1977.
- SILLS, G. C.; BURLAND, J. B.; CZECHOWSKI, M. K. - "Behaviour of and anchored diaphragm wall in stiff clay". Proc. IX International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Toquio, 1977.