

A IMPORTÂNCIA DA MEDIÇÃO DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS EM CORTINAS DE CONTENÇÃO

Marciano Lang Fraga

Engenheiro Civil e diretor da MLF Consultoria Geotécnica Ltda

marciano@mlfgeotecnia.com.br

Jonatan Garrido Jung

Engenheiro Civil na MLF Consultoria Geotécnica Ltda

jonatan@mlfgeotecnia.com.br

Matheus Campos Pompermayer

Acadêmico em Engenharia Civil pela PUCRS e estagiário da MLF Consultoria Geotécnica Ltda

pompermayer.matheus@gmail.com

Resumo. *Este artigo apresenta o caso de três obras de contenção em paredes diafragma atirantadas na cidade de Porto Alegre/RS onde houve o acompanhamento dos deslocamentos horizontais ao longo das fases de escavação até o travamento com as lajes. Discute-se aqui a peculiaridade de cada obra, algumas possíveis inconsistências além de cotejar os dados observados com previsões teóricas e critérios obtidos da literatura técnica. Por fim mostra a importância da mensuração dos deslocamentos para o controle de desempenho das cortinas.*

Palavras-chave: *Paredes diafragma. Deslocamentos horizontais. Monitoramento.*

1. INTRODUÇÃO

Contenções em cortinas atirantadas são soluções corriqueiras para viabilizar escavações quer em áreas urbanas ou fora delas. A literatura especializada é abundante sobre o assunto: Budhu (2013), Caputo (1988), Craig (2014), Tschebotarioff, (1978), Ranzini e Negro Jr. (1998) tanto na descrição da técnica como na proposição metodológica de dimensionamento. Entretanto as incertezas envolvidas, quer na investigação geotécnica,

quer na obtenção dos parâmetros muitas vezes oriundos de correlações ou até mesmo na definição do método de avaliação dos carregamentos trazem à tarefa do projetista incertezas significativas. Nesse sentido o monitoramento dos deslocamentos confere mais confiabilidade às premissas de projeto e segurança à obra.

2. DESCRIÇÃO DAS OBRAS

2.1 Edifício público

Trata-se de uma escavação de aproximadamente 11 m para implantação de 3 subsolos num prédio público no bairro Praia de Belas. A Figura 1 mostra um dos perfis de sondagem dentro de uma companhia total de 10 ensaios SPT realizados conforme a NBR 6484 (ABNT, 2001) e mais 9 ensaios CPT conforme a antiga NBR 12069 (ABNT, 1991).

Trata-se de uma zona de deposição de camadas intercaladas e irregulares de areia e argila com baixos índices de compactidade e consistência nos primeiros metros crescendo gradualmente até atingir o impenetrável entre 30 e 40 m. O nível d'água apresenta-se quase superficialmente e já durante as perfurações

foi encontrada muita água que continuou jorrando abundante pelos furos dos tirantes.

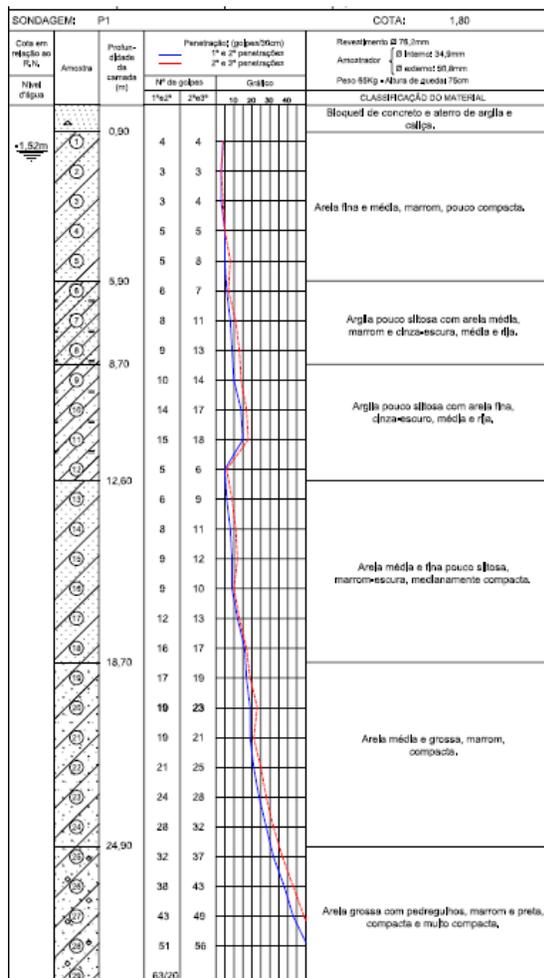


Figura 1. Perfil geotécnico

Como solução foram executadas lamelas moldadas *in loco* com 60 cm de espessura e 17 m de profundidade. Para contrabalançar os empuxos aplicaram-se três linhas de tirantes executados segundo a NBR 5629 (ABNT, 2009). A Tabela 1 resume as principais informações sobre os tirantes:

Tabela 1. Resumo dos tirantes

Linha	Carga (kN)	L Livre (m)	L Ancorado (m)
1a	400	13/27	12/13
2a	800/900	9/16	15/16
3a	800/900	8	15/16



Figura 2. Início da escavação

No edifício lindeiro à escavação do prédio público foram medidos fortes recalques no piso do térreo (Figura 4), mas não observadas pelas medições de recalques dos pilares. A situação do térreo se explica mais pela fuga de solo devido ao forte fluxo de água pelos furos dos tirantes (Figura 3) além de que o piso provavelmente não se encontra apoiado sobre fundações profundas. Já a inexistência de recalques na estrutura do edifício vizinho se deve ao fato de o mesmo ter fundações em estacas apoiadas abaixo da cota de escavação.



Figura 3. Fluxo de água pelo tirante no prédio público



Figura 4. Patologia no prédio vizinho ao edifício público

2.2 Edifício Residencial

A segunda obra consta de um empreendimento residencial no bairro Auxiliadora com 2 subsolos. Como o terreno é em aclive as alturas de escavação variaram de 7 a 12 m.



Figura 5. Escavação concluída

A Figura 6 apresenta um dos perfis geotécnicos dentro de uma campanha total de 14 sondagens SPT. A estratigrafia é composta basicamente de um solo residual argiloso nos primeiros 3 a 5m passando para uma alteração de rocha com forte presença de mica. Os limites de sondagem foram bem variados devido a existência de matacões, chegando ao máximo de 15 m. Não foi observado nível d'água, mas durante as escavações vertia água pelos tirantes mais baixos.

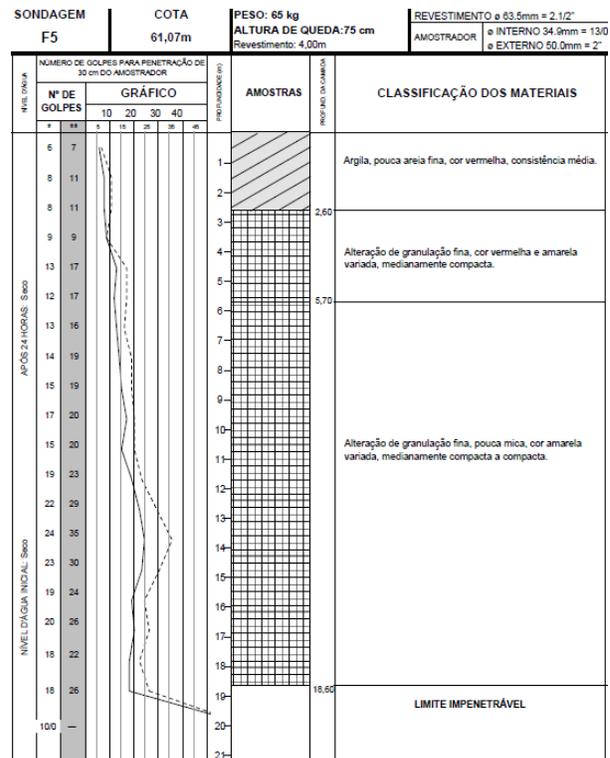


Figura 6. Perfil geotécnico

Como solução de contenção foram executadas lamelas de 40 cm que em alguns locais ficaram sem ficha ou com ficha menor que 1,5 m, mínimo recomendado pela antiga norma NBR 9061 (ABNT, 1985). Como reação aos empuxos foram executadas de 2 a 5 linhas de tirantes com carga de trabalho variando entre 200 e 350 kN e comprimentos totais entre 8 e 19 m.

2.3 Edifício Comercial

A última obra é um empreendimento comercial no bairro Higienópolis que para a implantação de 2 subsolos foram escavados cerca de 8m. a 9m. Executaram-se lamelas de 30 cm com comprimentos de até 12 m. Os tirantes estavam dispostos em 2 ou 3 linhas com cargas de trabalho variando entre 100 e 330 kN e comprimentos totais entre 8 e 17 m.



Figura 7. Escavação em andamento

O perfil geotécnico mostrado na Figura 8 é típico de solo residual constando de uma primeira camada argilosa de consistência média a rija seguida de uma alteração de rocha marcada pela presença de mica. O impenetrável variou entre 16 e 19 m. A leitura de nível d'água foi errática e durante a escavação não foi encontrada água, mas sim ao final da mesma observou-se o contínuo encharcamento do fundo da escavação.



Figura 8. Perfil geotécnico

3. MONITORAMENTOS

Em todas as obras foi utilizado equipamento topográfico para medição dos deslocamentos e apenas na primeira, contou-se com o uso de inclinômetros.

3.1 Edifício público

No primeiro plano de controle originalmente estavam previstos 14 inclinômetros para o acompanhamento dos deslocamentos e de fato foram instalados, mas danificados em certo momento do andamento da obra. Durante esse período os deslocamentos observados estiveram entre 18 a 20 mm próximos ao pé da cortina. Depois, seguiu-se ao monitoramento com leituras através de equipamento topográfico em 30 pontos. A Figura 9 mostra a leitura do inclinômetro 8.

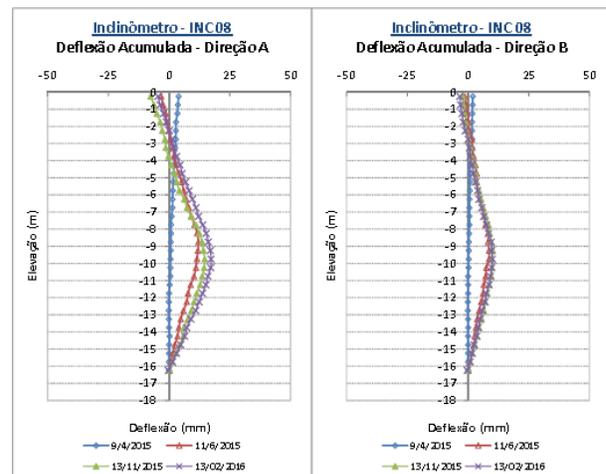


Figura 9. Medição do inclinômetro 8

A segunda fase das medições apontou deslocamentos máximos na região da cortina da ordem de 8 mm. Somando a estes valores as deflexões medidas no topo da cortina pelos inclinômetros mais próximos, podemos ter uma estimativa do deslocamento total acumulado da cortina. A Tabela 2 apresenta os deslocamentos acumulados da cortina na direção da escavação.

Tabela 2. Deslocamento acumulado nos pontos da cortina

Pino	ΔH (mm)	Pino	ΔH (mm)
PHV1	11	PHV16	5
PHV2	11	PHV17	9
PHV3	11	PHV18	11
PHV4	11	PHV19	10
PHV5	8	PHV20	7
PHV6	11	PHV21	8
PHV7	7	PHV22	11
PHV8	6	PHV23	7
PHV9	2	PHV24	6
PHV10	6	PHV25	2
PHV11	0	PHV26	14
PHV12	5	PHV27	11
PHV13	7	PHV28	13
PHV14	9	PHV29	14
PHV15	7	PHV30	10

3.2 Edifício residencial

Nesta obra foram instalados 16 pinos de medição de deslocamentos em diversas etapas, ao longo de 268 dias. No período mais crítico alcançaram-se velocidades de até $430\mu\text{m}/\text{dia}$. As linhas verticais coloridas no gráfico indicam aproximadamente as datas de escavação de cada patamar, já as linhas verticais em preto indicam as datas de execução do primeiro trecho da primeira laje correspondendo em duas etapas iniciado nos fundos da obra em panos correspondendo a 2/3 e 1/3 do total respectivamente. O recuo no deslocamento do pino 4 provavelmente se deve a um erro de leitura.

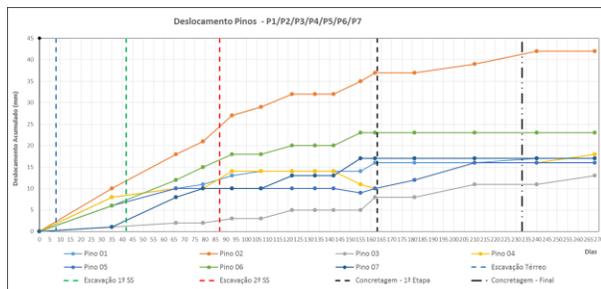


Figura 10. Deslocamento dos pinos P1 a P7

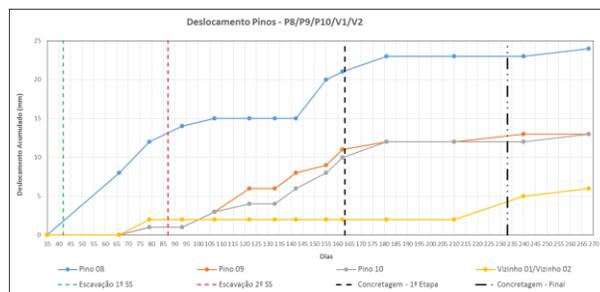


Figura 11. Deslocamento dos pinos P8 a P10 e V1, V2

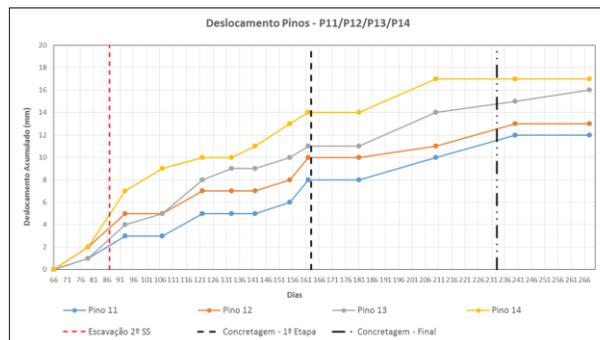


Figura 12. Deslocamento dos pinos P11 a P14

Pode-se observar que os deslocamentos são progressivos durante a fase de escavação e tende a se estabilizar, mas não de todo, após a concretagem da primeira laje.

3.3 Edifício comercial

Foram fixados 19 pinos para um período de leitura de 321 dias. A linha tracejada vertical indica a concretagem da primeira laje naquela região. Leituras “negativas” se devem à imprecisão do equipamento de medida.

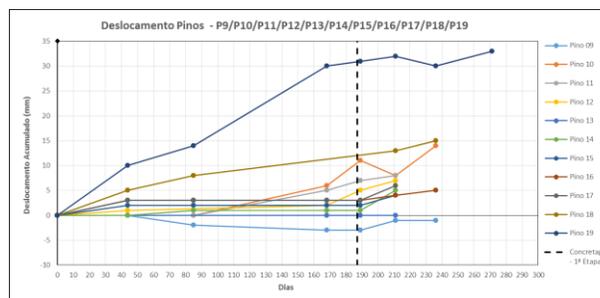


Figura 13. Deslocamento dos pinos P9 ao P19

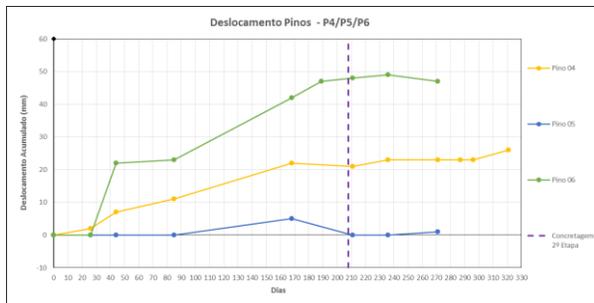


Figura 14. Deslocamento dos pinos P4 a P6

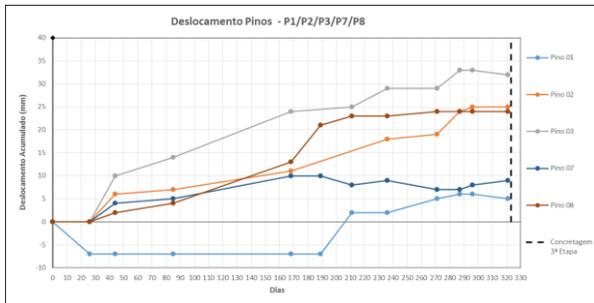


Figura 15. Deslocamento dos pinos P1 a P3, P7 e P8

Apesar de um deslocamento medido de 47mm, em campo não se observou na região do P6 nenhuma patologia junto ao lindeiro, quer seja afundamento de piso ou fissuras junto ao muro.

4. PREVISÃO DE DESLOCAMENTOS

As deformações previstas para as cortinas foram estimadas segundo a modelagem realizada utilizando o programa Cype – Módulo Cortinas, da Cype Ingenieros e para cada obra elaborou-se um perfil geotécnico ideal com base nas correlações apresentadas por Joppert Jr (2007).

4.1 Edifício público

A figura 16 mostra que o modelo obteve como previsão deslocamentos de 18mm. Esses valores relativamente baixos se devem a influência de 2 elementos principais: a ficha profunda, com cerca de 6,0m e as cargas dos tirantes também de magnitudes

mais elevadas que o comum para esses níveis de escavação.

Tabela 3. Parâmetros geotécnicos do solo

Camada	L (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sub} (kN/m ³)	Φ (°)	C (kPa)
Areia	11	18	10	30	0
Areia	5,4	20	12	37	0
Argila	6,5	21	11	20	100
Argila siltosa	-	20	9	25	50

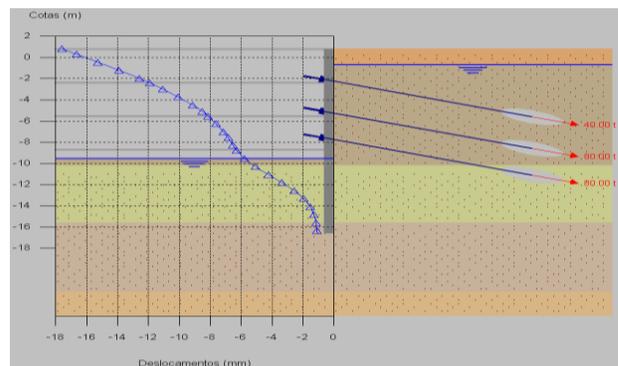


Figura 16. Deslocamento da cortina

4.2 Edifício residencial

Foram analisados 2 pinos de medição, P7 e P2. No P2 inicialmente criou-se um modelo sem a consideração do nível d'água (Figura 18) onde os deslocamentos seriam da ordem de 8mm, mas depois com a observação em campo do fluxo hídrico pelos furos dos tirantes buscou-se uma simulação compatível com os deslocamentos observados e pode-se verificar que os mesmos se dariam com o NA em torno de -6,0 m (Figura 19) alcançando valores em torno de 45mm.

Tabela 4. Parâmetros geotécnicos do solo

Camada	L (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sub} (kN/m ³)	Φ (°)	C (kPa)
Argila	4	19	9	16	16
Silte arenoso	12	19	10	21	16

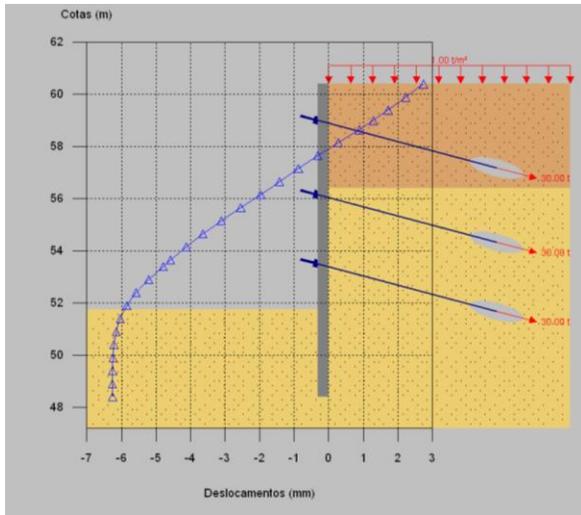


Figura 17. Deslocamento da cortina no P7

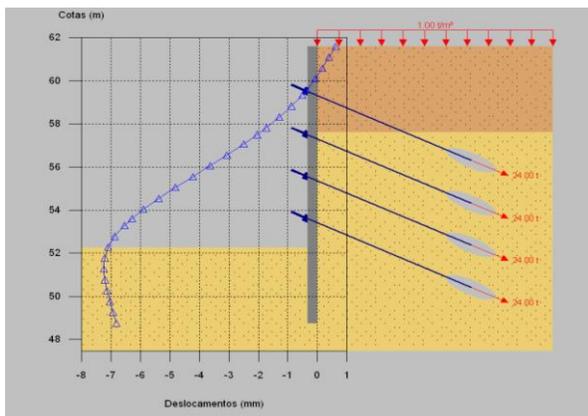


Figura 18. Deslocamento da cortina no P2

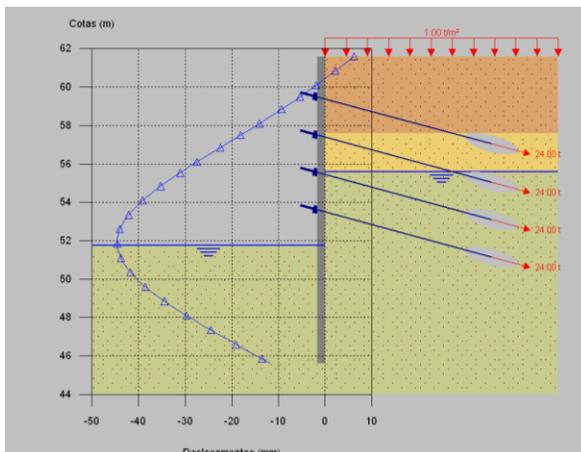


Figura 19. Deslocamento da cortina com NA no P2

4.3 Edifício comercial

Também neste caso foram estudados 2 pinos de medição, P6 e P3. Para o P3 um modelo inicial foi elaborado sem presença de água (Figura 21) e com berma de equilíbrio. Neste caso as estimativas de movimentação eram da ordem de 21mm. Ocorre que após as escavações ocorreu um vazamento na rede pública de águas que gerou vazamento para dentro da obra acarretando ruptura do talude e certamente sobrecarga hidráulica nas cortinas. Assim os deslocamentos foram reavaliados numa nova modelagem (Figura 22) mais compatível com a realidade em torno de 37mm.

Tabela 5. Parâmetros geotécnicos do solo

Camada	L (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sub} (kN/m ³)	Φ (°)	C (kPa)
Argila Arenosa	1	17	8	13	17
Argila Arenosa	1	18	8	15	25
Argila Arenosa	1	20	10	21	25
Silte Arenoso	1	19	9	17	25
Silte Arenoso	4	19	10	22	17
Silte Arenoso	7	20	10	23	25

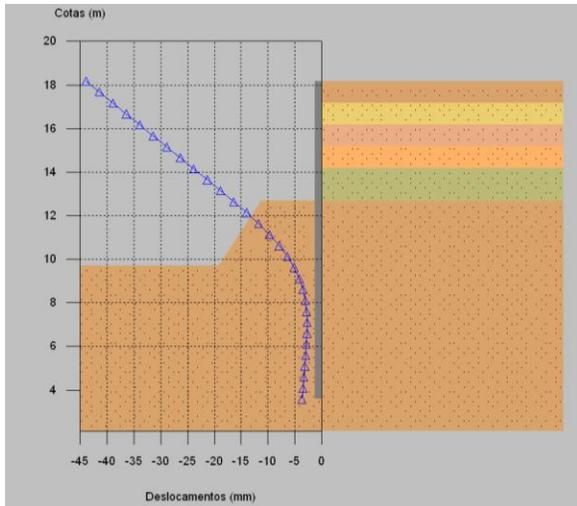


Figura 20. Deslocamento da cortina no P6

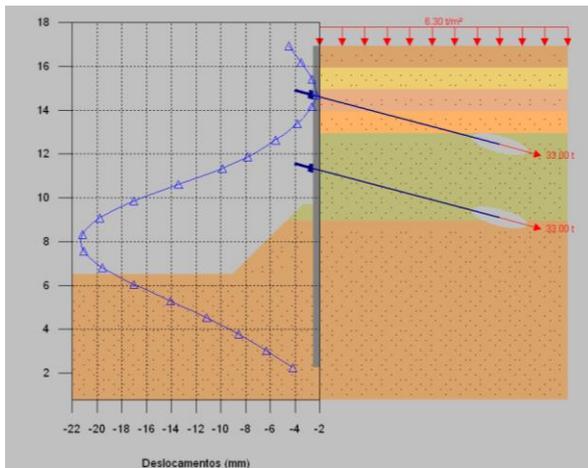


Figura 21. De deslocamento da cortina no P3

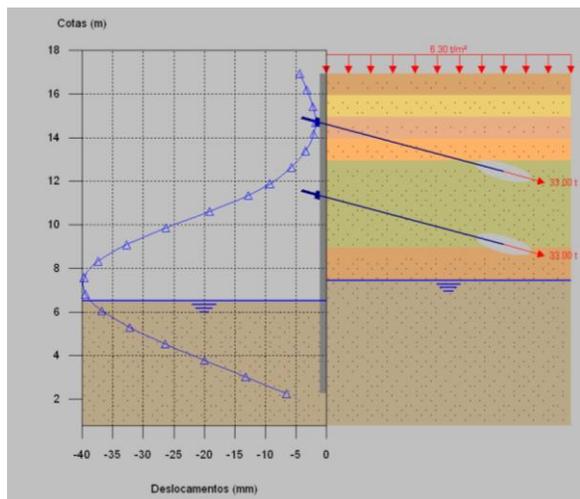


Figura 22. Deslocamento da cortina sem berma e com NA no P3

5. CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO

Segundo a NBR 11682 (ABNT, 2009) existe a obrigatoriedade do monitoramento com instrumentação, mas a mesma não fornece um critério de avaliação. Esta norma se refere mais especificamente à Estabilidade de Encostas mas abarca estruturas ancoradas com tirantes. Assim buscou-se apoio na literatura nacional, especialmente em Gerscovich et al. (2016), Gusmão Filho (2006) e Milititsky (2016). Estes autores apresentam valores de referência com base em estudos de caso que variam geralmente entre 0,2 a 0,5% da altura de escavação, mas podendo chegar muito além até 2 a 3,2% para o caso de argilas moles, mas sempre chamando atenção que deslocamentos horizontais de cortinas estão associados a deslocamentos verticais a montante da escavação com implicações sobre as fundações lindeiras quando existirem.

Não foi encontrada nenhuma referência sobre critérios de avaliação de velocidades de deslocamentos horizontais, mas apenas sobre recalques nas fundações oriundos de escavações.

A Tabela 6 mostra de forma concisa os resultados dos monitoramentos sendo H a altura do pino em relação ao fundo da escavação e ΔH_c os deslocamentos horizontais calculados e ΔH_m os medidos.

Tabela 6. Deslocamentos horizontais das cortinas

Obra	H (m)	ΔH_c (mm)	ΔH_m (mm)	$\Delta H_m/H$ (%)
Público	11	18	14	0,13
Resid. P7	8,7	6	17	0,20
P2	9,9	44	42	0,42
Com. P6	8,5	44	47	0,55
P3	10,5	40	32	0,30

6. CONCLUSÃO

Segundo Assis et al (2017), citando Lamb (1976) a previsão de desempenho a partir da utilização de dados de monitoramento geotécnico aliado a modelos numéricos ou físicos podem se agrupar em três classes, a saber:

- Classe A onde as previsões são feitas antes do evento com base exclusiva nos dados disponíveis de investigação geotécnica. A instrumentação é utilizada posteriormente para confirmar as hipóteses dos modelos;
- Classe B onde as previsões são feitas durante o evento quando já existem alguns dados disponíveis de instrumentação da obra;
- Classe C onde as previsões são feitas após o evento. Os dados de monitoramento são utilizados como evidências.

Os valores medidos nas obras apresentadas estão quase todos dentro da faixa esperada ou senão muito próximos. A ferramenta computacional aplicada mostrou-se útil para a previsão dos deslocamentos horizontais com faixas de variação da ordem de 5 a 30% do calculado em relação ao medido.

Ainda que os critérios de verificação estejam associados a deslocamentos totais e não a velocidades, a prática de elaborar previsões é muito útil para a avaliação de desempenho, devendo ser aplicada como rotina nos projetos de contenção.

Os autores aproveitam também para compartilhar algumas experiências oriundas das obras apresentadas que servem também como alerta:

i) O projeto nem sempre é seguido corretamente pelo empreiteiro quer seja por impossibilidade executiva (p. ex.: presença de matacões), quer seja por má leitura do projeto;

ii) As ocorrências de obra que alteram o projeto nem sempre são imediatamente comunicadas ao projetista;

iii) As medições (de carga ou deslocamento) podem conter erros e imprecisões às vezes grosseiros;

iv) A água é um forte fator instabilizante e sua consideração deve ser cuidadosamente avaliada quer seja pela possibilidade de ruptura de redes públicas quer seja pela sua variação sazonal. É aconselhável uma análise levando em conta os aspectos geológicos e topográficos do entorno da obra;

v) Qualquer tipo de ajuste de projeto ou reforço deverá ser feito enquanto os equipamentos estiverem na obra. Além dessa etapa é praticamente impossível, dado os custos envolvidos, alguma ação. Assim é fundamental o Acompanhamento Técnico de Obra, com coleta de informações precisas e tempestivas.

7. REFERÊNCIAS

ABEF. Manual de Execução de Fundações e Geotecnia – São Paulo: Pini, 2012. 499p.

ABNT. NBR 5629: Execução de Tirantes Ancorados no Terreno. Rio de Janeiro, 2006. 32p.

ABNT. NBR 6484: Solo - Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001. 17p.

ABNT. NBR 9061: Segurança de Escavação a

Céu Aberto – Procedimento. Rio de Janeiro 1985. 31p.

ABNT. NBR 11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2009. 33p.

ABNT. NBR 12069: Solo - Ensaio de penetração de cone in situ (CPT) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991. 11p.

ASSIS, ANDRÉ et al. Modelagem Física e Numérica. Revista Fundações e Obras Geotécnicas. São Paulo, n. 77, ano 7, p. 80-100, fev-2017.

BUDHU, MUNI. Fundações e Estruturas de Contenção. 1ª ed. – Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2013. 427p.

CAPUTO, HOMERO PINTO. Mecânica dos Solos e suas aplicações. 6ª ed. – Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1988. Vol 2.

CRAIG, R. F e KNAPPET, J.A. Mecânica dos Solos. 8ª ed. – Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2014. 419p.

GERSCOVICH, DENISE et al. Contenções: teoria e aplicações em obras – São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 319p.

GUSMÃO FILHO, JAIME. Desempenho de Obras Geotécnicas – Recife: Editora Universitária, 2006. 523p.

JOPPERT JR, IVAN. Fundações e Contenções de Edifícios – São Paulo: Pini, 2007. 221p.

MILITITSKY, JARBAS. Grandes escavações em perímetro urbano – São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 144p.

RANZINI, STELVIO M. T e NEGRO JR., ARSÊNIO. Obras de Contenção: tipos, métodos executivos, dificuldades executivas In: **Fundações: teoria e prática**. 2ª ed. – São Paulo: Pini, 1998. 751p.

TSCHEBOTARIOFF, GREGORY P. Fundações, Estruturas de Arrimo e Obras de Terra – São Paulo: McGraw-Hill, 1978. 513p.