SIMULAÇÃO NUMÉRICA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE PAREDES DIAFRAGMAS ATIRANTADAS

JOÃO VICTOR FIGUEIREDO ANDRADE[1]*; ALDO DONIZETTI SANTAROSA JUNIOR[2]; DANIEL FERNANDO GUILMO MANTECA; OSMAR BARROS JUNIOR[4]; JOSÉ EDUARDO QUARESMA[5].

[1]Graduando em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, jvfandrade@uol.com.br;
[2] Graduando em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, aldo.santarosa@hotmail.com;
[3] Graduando em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, danieljau1@gmail.com;
[4]Mestre em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, osmar.barros.jr@gmail.com;
[5]Mestre em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, quaresma@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Este trabalho objetiva os estudos dos esforços do solo com base em dados retirados de uma obra situada na cidade de Matão-SP, tendo como base o funcionamento de paredes diafragmas atirantadas. Na metodologia foi utilizado o *software* ***PLAXIS***, para calcular e representar os deslocamentos de uma parede diafragma em meio aos esforços decorrentes do edifício local, bem como se estudar os esforços reverberados pelo solo e como realizar sua contenção. Os resultados demonstraram que o solo em questão foi capaz de resistir aos esforços exercidos no local e seu deslocamento não foi significativo a ponto de gerar fissuras, conforme preconiza o E.L.S. (Estado Limite de Serviço).
PALAVRAS-CHAVE: Paredes diafragmas atirantadas, deslocamentos, contenção.

NUMERICAL SIMULATION BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS FOR STABILIZATION OF DIAPHRAGM WALLS WITH GROUND ANCHORS

ABSTRACT: This study aim to study the ground efforts based in a data withdrawn from a construction in Matão-SP, having as basis the function of diaphragm walls with ground anchors. As method was used the PLAXIS software to calculate and represent the displacements of a diaphragm wall amid efforts arising from the building site, as the study of efforts that reverberate through soil and how to contain it. The results shows that the stated soil were capable to resist the efforts made and it's displacement was not significant to the point of fissures generation, according what S.L.S. (Service Limit State) advocates.
KEYWORDS: Diaphragm walls with ground anchors, displacements, containing.

INTRODUÇÃO

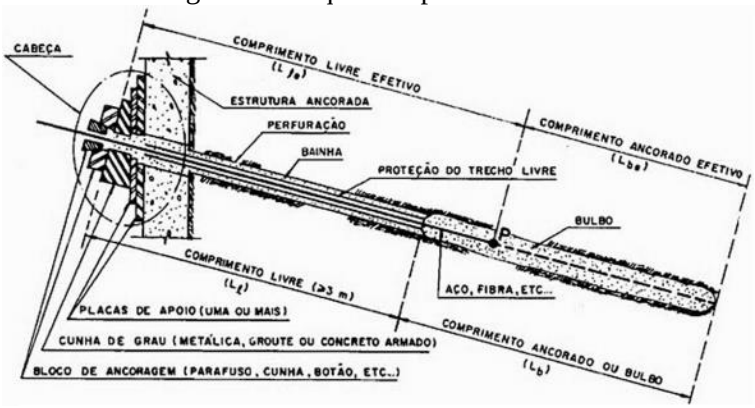
Neste trabalho é apresentado um estudo de caso, realizado por meio de dados coletados de uma obra no município de Matão, localizada na região central do estado de São Paulo. Foram realizados para determinação das propriedades do solo, por meio dos ensaios de cisalhamento direto e sondagens a percussão, conhecidas como *Standard Penetration Test* (*SPT*). Para tanto, esses dados foram empregados para simulação da contenção da cortina.

As paredes diafragmas foram, inicialmente, desenvolvidas em 1958 por C. Veder e Marconi na Itália, sendo um sistema de contenção flexível, ou seja, podem ou não ser escoradas e podendo ser moldadas in loco ou pré-moldadas. Sua composição, na época, era de uma mistura de cimento, bentonita e água formando uma cortina conhecida como coulis. Ao passar dos anos foi desenvolvido outras alternativas para as paredes diafragmas, como as moldadas in loco de concreto armado, pré-moldadas de concreto armado ou mistas, ou seja, utilização de pré-moldados e concreto armado. A mesma lama bentonita utilizada para a formação da primeira cortina é utilizada como substância ao lado de polímeros para estabilizar as paredes de escavação para contrabalancear o empuxo causado pelo lençol freático do solo.

Comparando a formas de contenção, as paredes-diafragma se sobressaem pelo fato de não provocarem vibrações ao serem implantadas, independente do solo e sua versatilidade em poderem ser implantadas em quase qualquer tipo de terreno, até mesmo em areias finas submersas sem rebaixamento do lençol freático, sendo preciso cortar apenas o necessário do solo (Saes et al., 1998). Para realização das paredes diafragmas é necessário seguir as normas de dimensionamento e recomendações presentes na ABNT NBR 6118 (em sua última edição).

Segundo Ranzini & Negro Jr. em 1998, ao analisarmos os empuxos de um muro de contenção, os tirantes se tornam uma alternativa viável, pois funcionam com tração e com um comprimento que lhe garantem a capacidade de balancear a estrutura. Podendo ser divido em três partes, a primeira chamada de cabeça, onde é a parte do tirante que suporta a estrutura, em segundo o comprimento livre efetivo, tendo um comprimento de no mínimo 3 metros com proteção contra corrosão, é necessário a vedação através de um tubo para a injeção da nata de cimento para a formação do bulbo, e por último o comprimento ancorado efetivo que possui o intuito de transmitir os esforços do tirante para o solo, podendo trabalhar em tração ou compressão.

Figura 1 – Esquema típico de tirante.



Fonte: Ranzini & Negro Jr. (1998)

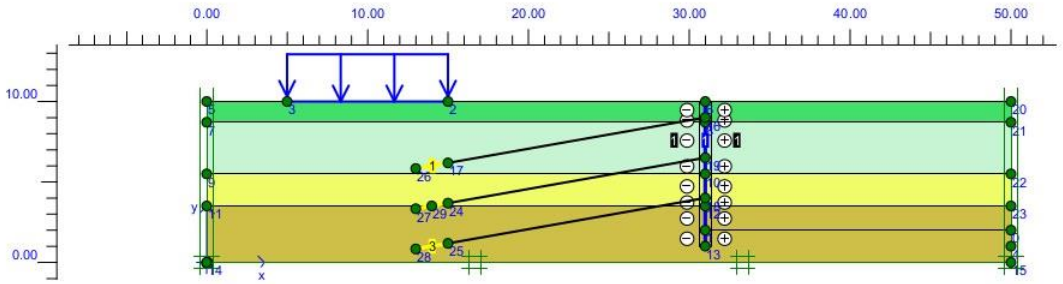
Além de sua habilidade de contrapor os esforços da estrutura, os tirantes possuem como vantagem sua simplicidade construtiva, ou seja, os elementos utilizados são relativamente simples e de fácil uso pelo fato da carga de reação ser obtida no interior maciço, o fato do tirante ser autoportante induz ao seu uso pelo fato de não requerer detalhes complexos na fundação ao ser usado em conjunto com uma estrutura de contenção de terra. Olhando pelo modo jurídico, para se executar uma estrutura com tirantes é necessário a autorização formal das confrontantes de onde sua obra está localizada. É necessário seguir as normas de dimensionamento e cálculos de tirantes através da ABNT NBR 5629 (em sua última edição).

Utilizando o *software PLAXIS* foi possível realizar a criação da situação de uma contenção de terra utilizando a teoria dos elementos finitos onde busca uma aproximação de valores com o intuito de analisar os parâmetros do solo desde seus deslocamentos até sua permeabilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizando os dados retirados através de ensaios realizados *in-situ* foi-se possível a criação de uma simulação para análise do comportamento do solo e de como poderá ser realizado sua contenção como demonstrado na figura 2, a carga determinada para a análise do solo é de 120 kN/m.

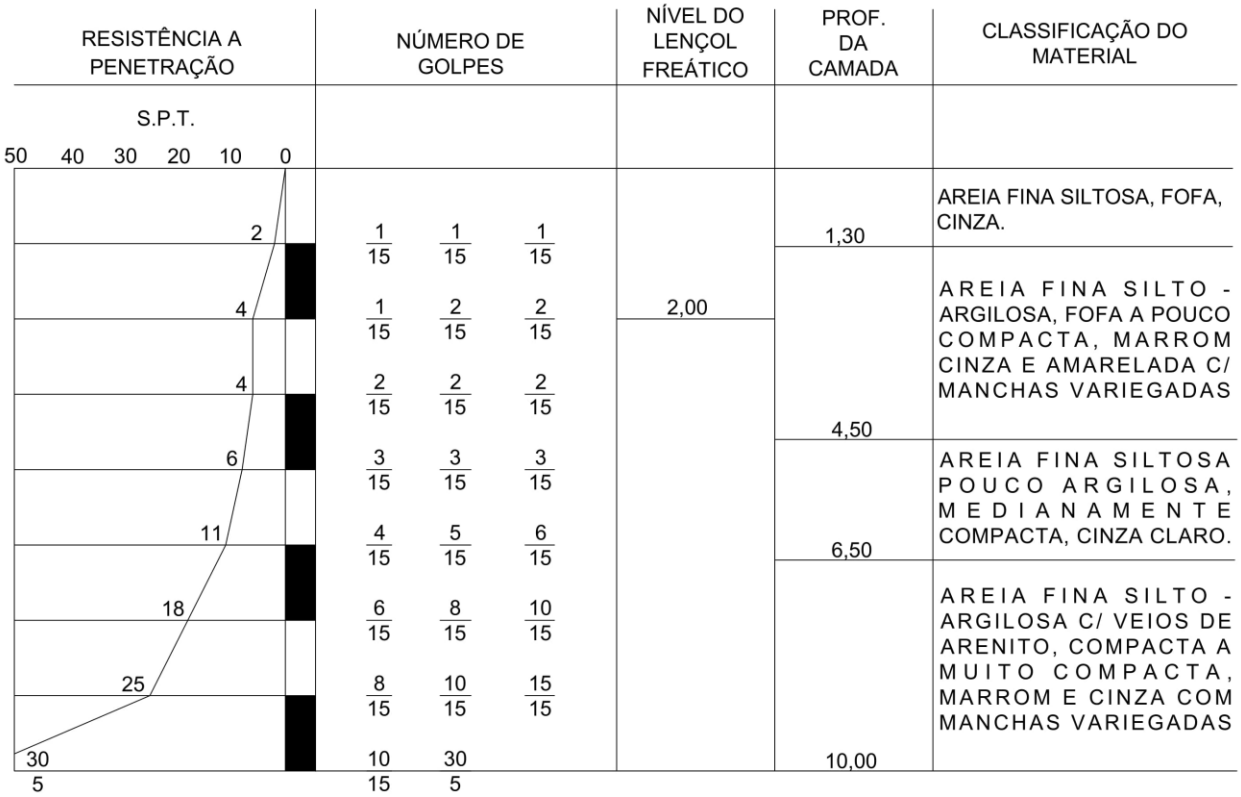
Figura 2 – Visualização do terreno para simulação.



Fonte: Autoria própria, a partir de visualização do *software Plaxis*.

Para a determinação dos valores como, peso específico, ângulo de atrito efetivo, módulo de Young foi-se utilizado o quadro 1 através da média de Nspt encontrados na sondagem presente na figura 3. Para a determinação da coesão foi utilizada a Lei de Mohr-Coulomb onde, através do ensaio de cisalhamento direto, foi possível encontrar valores para a coesão efetiva do solo apresentado na figura 4 (Parry, 2004). Todos os dados receberam interpolações para uma maior precisão.

Figura 3 – Ensaio *SPT*.



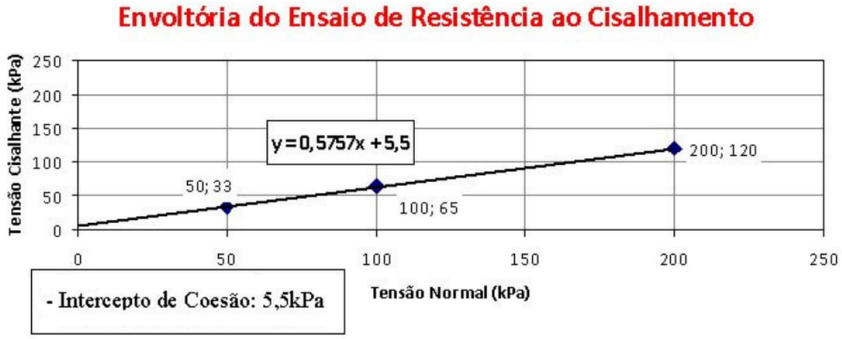
Fonte: Autoria própria.

Quadro 1 – Características do solo.

Solo	Nspt	E (kN/m²)	Peso Específico (kN/m³)		Ang. Atrito Efetivo
			Natural	Saturado	
Areia pouco siltosa / pouco argilosa	0 - 4	20.000 - 50.000	17	18	25
	5 - 8	40.000 - 80.000	18	19	30
	9 - 18	50.000 - 100.000	19	20	32
	19 - 41	80.000 - 150.000	20	21	35
	>= 41	160.000 - 200.000	20	21	38

Fonte: Joppert Jr. (2007)

Figura 4 – Envoltória do ensaio de resistência ao cisalhamento.



Fonte: Autoria própria.

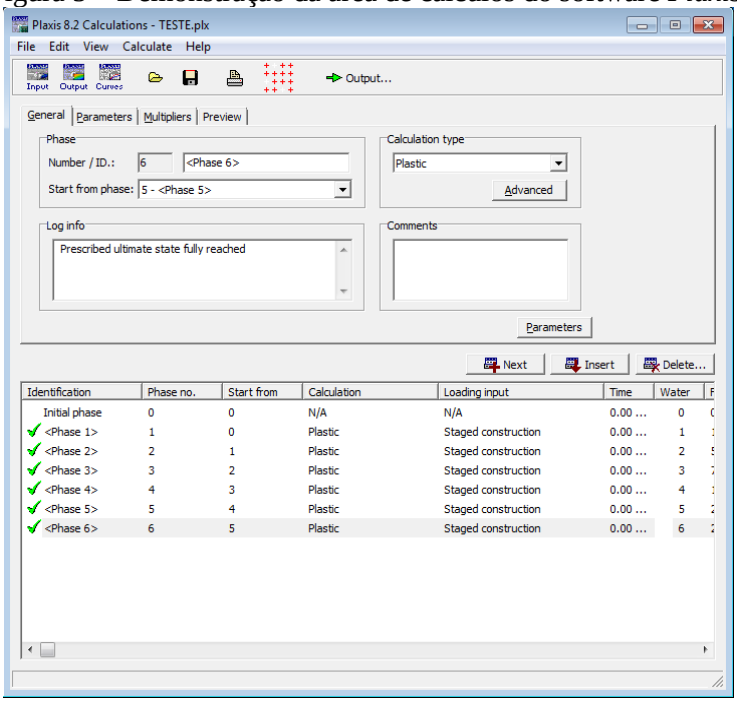
Dessa forma, estipulou-se então para a simulação, uma parede diafragma de espessura igual a 0,60 metros contendo 9 metros de profundidade e três tirantes com extensões de 16 metros e com bulbos de ancoragem de aproximadamente 2 metros. Através do ensaio *SPT* foi possível determinar a linha do lençol freático, que se encontra na cota 8 metros e, através do ensaio de resistência ao cisalhamento foi possível a determinação do coeficiente de empuxo (K0) para se determinar os esforços que irão ser decorrentes dos esforços da água. (Knappett & Craig, 2012).

Para a determinação das principais características dos tirantes, como tensão de escoamento e módulo de elasticidade, foram utilizados catálogos da DYWIDAG-Systems International (2018) sendo determinado o tirante DW 15mm com pré-tensão de 70kN/m em cada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise dos cálculos, foi necessário a divisão do seu cálculo em seis fases com o intuito de ser realizada a construção da parede diafragma e seus tirantes simultaneamente com a retirada do solo, com o objetivo de não haver deslocamentos desnecessários apresentados na figura 5 (Weissenbach, 2003).

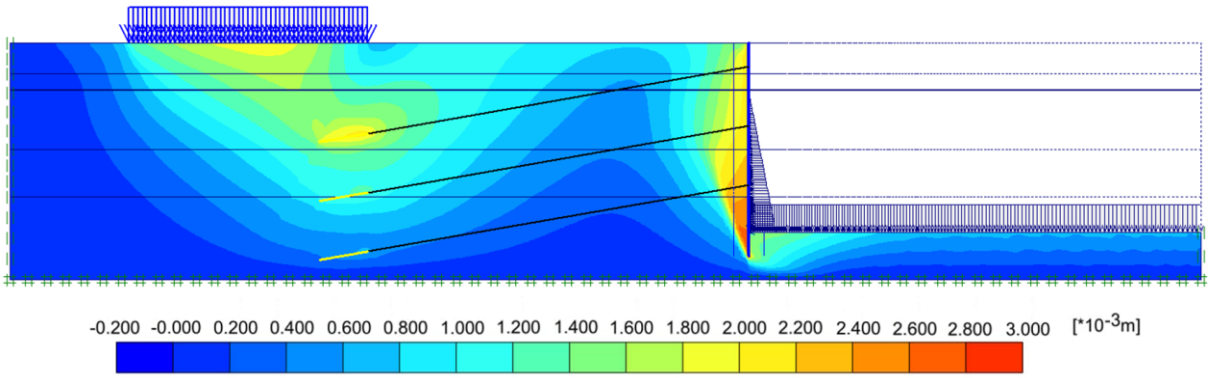
Figura 5 – Demonstração da área de cálculos do software *Plaxis*.



Fonte: Autoria própria.

Todavia, o resultado final se encontra na última fase onde todos os cálculos já foram realizados e onde podemos analisar seus estresses, deslocamentos e afins contido na figura 6.

Figura 6 – Resultados dos deslocamentos.



Fonte: Autoria própria.

Conferindo o resultado obtido, foi possível analisar que o deslocamento máximo ocorreu na parte inferior da parede resultando em um deslocamento de 2,82 mm, onde, segundo Bjerrum em 1963, conforme citado por Teixeira & Godoy (1998), o deslocamento máximo adequado seria 18 mm, sendo necessário evitar valores superiores a este para não ocorrer a criação de fissuras na parede diafragma.

CONCLUSÃO

Por meio da simulação numérica através do *software PLAXIS*, que simula pelo método dos elementos finitos, foi possível determinar os deslocamentos da parede diafragma, isto é, levando em consideração os parâmetros físicos do solo, bem como suas propriedades físicas e geométricas. Neste contexto, por meio dos valores obtidos da simulação numérica, foi possível determinar um valor aproximado 2,82 mm na parte inferior, estando assim dentro dos parâmetros técnicos esperados e não sendo prejudicial para a estrutura.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5629: Execução de tirantes ancorados no terreno. Rio de Janeiro. 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

DYWIDAG-Systems International. Sistemas de Protensão com Barras DYWIDAG - Aplicações Geotécnicas: catálogo. Disponível em: <https://www.dywidag.com.br/downloads/catalogos-protendidos-dywidag/>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Joppert Jr., I. Fundações e Contenções de Edifícios - Qualidade Total na Gestão do Projeto e Execução. 1. ed. [S.l.]: Pini, 2007.

Knappett, J. A.; Craig, R. F. Craig's Soil Mechanics. 8. ed. New York: Spon Press, 2012.

Parry, R. H. G. Mohr circles, stress paths and geotechnics. 2. ed. New York: Spon Press, 2004.

Ranzini, S. M. T.; Negro Jr., A. Obras de contenção: Tipos, métodos construtivos, dificuldades executivas. In: Hachich, W. et al. Fundações: Teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 497-515 p.

Saes, J. L.; Stucchi, F. R.; Militisky, J. Concepção de obras de contenção. In: Hachich, W. et al. Fundações: Teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 517-536 p.

Teixeira, A. H.; Godoy, N. S. Análise e Projeto de Fundações Profundas. In: Hachich, W. et al. Fundações: Teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 227-264 p.

Weissenbach, A. Recommendations on excavations. Tradução de A. Johnson. Berlim: Ernst & Sohn, 2003. 67-73 p.