

# Análise Numérica em Uma Estrutura de Contenção do Tipo Estaca Justaposta Grampeada Assente no Solo Poroso no Distrito Federal

Alexandre Gil Batista Medeiros e Renato Pinto da Cunha

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

Carlos Medeiros Silva

EMBRE Engenharia Ltda, Brasília, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um estudo do comportamento de uma cortina de estaca justaposta grampeada assente em solo poroso no Setor Bancário Sul em Brasília. O projeto está sendo construído, para amenizar o problema de estacionamento existente em Brasília. Para a realização do projeto foi utilizada uma cortina de contenção com 4 linhas de grampos, com ancoragem calculada com base em uma situação de permanência provisória. A Fachada Oeste foi escolhida para ser instrumentada e analisada numericamente, a mesma apresenta espaçamento variado entre as estacas, situação de ancoragem simples e dupla, bermas de equilíbrio e um comprimento de ficha constante de 4,0 m. Foi realizado um acompanhamento do deslocamento do topo das estacas através de medidas diretas. Utilizando os programas GEO-FEM e Sheeting Check, fez-se as análises numéricas para a Fachada Oeste. Conclui-se que as ferramentas numéricas e instrumentação são de fundamental importância para o estudo desse tipo de estrutura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise numérica, Estruturas de contenção, grampos, instrumentação.

## 1 INTRODUÇÃO

No intuito de melhorar a resistência e estabilidade, e reduzir os deslocamentos em Estruturas de Contenção, reforços como ancoragens, grampos, geogrelhas, tiras metálicas, geossintéticos têm sido utilizados na Engenharia Geotécnica.

Para a realização do projeto foi utilizada uma cortina de contenção com 4 linhas de grampos, com ancoragem calculada com base em uma situação de permanência provisória.

A Fachada Oeste foi escolhida para ser instrumentada e analisada numericamente, a mesma apresenta espaçamento variado entre as estacas, situação de ancoragem simples e dupla, bermas de equilíbrio e um comprimento de ficha constante de 4,0 m.

Foi realizado um acompanhamento do deslocamento do topo das estacas através de medidas diretas. Utilizando os programas GEO-FEM e Sheeting Check, fez-se as análises numéricas para a Fachada Oeste.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Obra Executada no Setor Bancário Sul

A Estrutura de contenção com linha de grampos foi construída no Setor Bancário Sul, Quadra 01, Bloco C, lotes 21/22/23 na cidade de Brasília – DF (Figura 1), totalizando uma área de 900 m<sup>2</sup>. O empreendimento está sendo construído para prover um estacionamento ao Setor Bancário Sul de Brasília, onde circulam mais de 30 mil pessoas por dia.

O projeto consta ainda com um centro gastronômico e lojas de conveniências, com 12 lojas e sobrelojas de 100 m<sup>2</sup> cada e 3 lojas de 200 m<sup>2</sup> totalizando 15 lojas. O projeto é constituído de 7 (sete) subsolos com 482 vagas, com tamanho médio de 12,50 m<sup>2</sup>, que atenderá a grande demanda oferecendo tranquilidade e segurança aos usuários.

Para a realização do projeto foi utilizada uma cortina de contenção com 4 linhas de grampos, onde a ancoragem foi calculada com base em

uma situação de permanência provisória. As linhas de grampos foram todas unidas por uma viga de ancoragem de 40 x 20 cm. As estacas justapostas foram escavadas mecanicamente, e todas apresentam diâmetro de 50 cm.

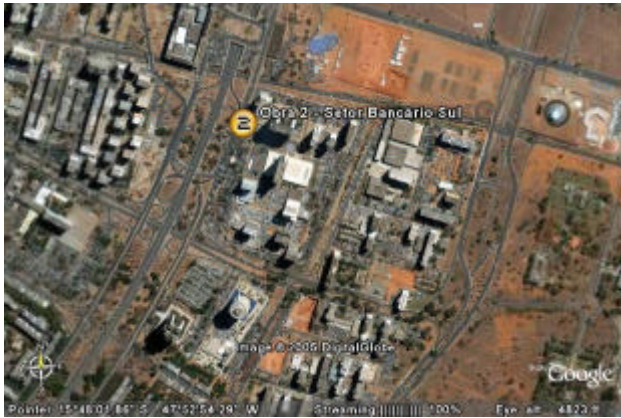


Figura 1. Localização da Obra no Setor Bancário Sul (Fonte: Google Earth, 2005).

A Figura 2 mostra detalhes da Fachada Oeste, onde pode-se perceber as vigas de ancoragem e os pontos onde foram instalados os grampos com simples e dupla ancoragem.

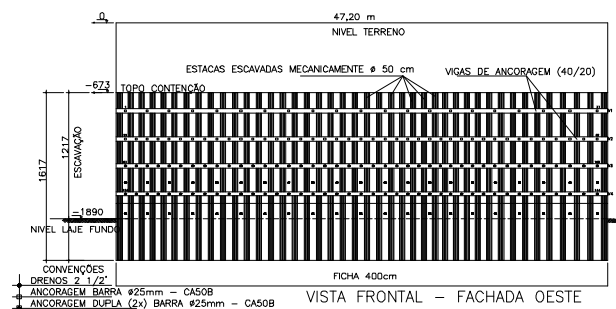


Figura 2. Vista frontal da Fachada Oeste, Obra no Setor Bancário Sul (Fonte: Embre).

A Fachada Oeste foi escolhida para ser instrumentada e analisada. A mesma apresenta espaçamento variado entre as estacas, situação de ancoragem simples e dupla, bermas de equilíbrio e uma ficha constante de 4 m, conforme mostrado na seção transversal tipo na Figura 3.

Os espaçamentos entre estacas variaram de 1,05 m, 1,15 m, e 1,3 m, conforme a disposição das estacas na Fachada Oeste. A 1ª linha de grampos situa-se a 1,77 m abaixo do topo da escavação, a 2ª linha de grampos está 2,70 m abaixo da 1ª linha de grampos, a 3ª linha de grampos situa-se a 2,40 m abaixo da 2ª linha de

grampos, a 4ª linha de grampos está a 2,70 m abaixo da 3ª linha de grampos e 2,40 m acima do nível da laje de fundo, porém existe uma bermas de 1,50 m acima do nível da laje de fundo.

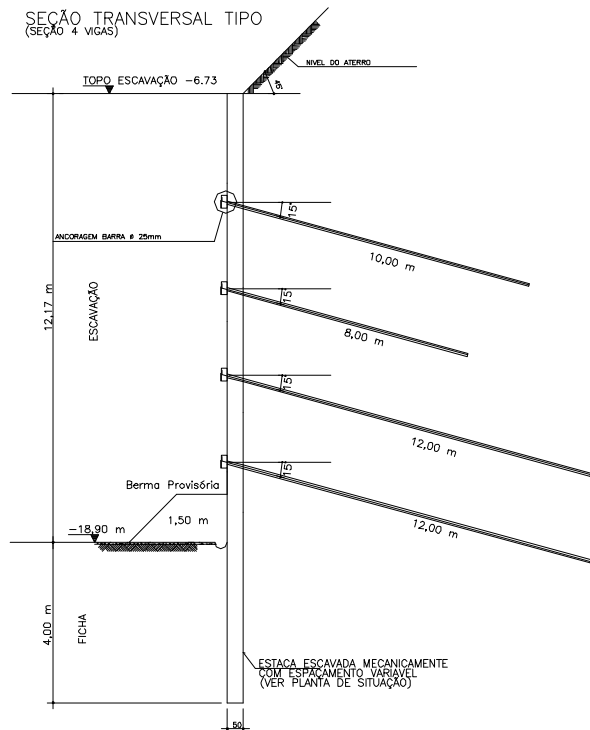


Figura 3. Seção Transversal Tipo da Fachada Oeste, Obra no Setor Bancário Sul (Fonte: Embre).

A Figura 4 mostra o detalhe da ancoragem dos grampos e também detalhes da viga de ancoragem.

DETALHE (ANCORAGEM)

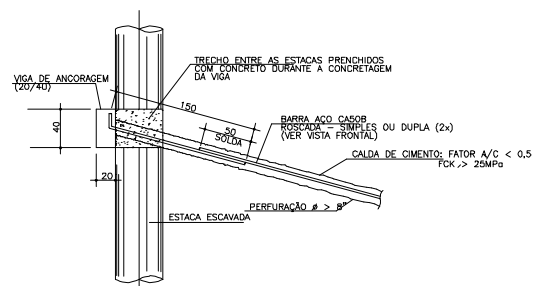


Figura 4. Detalhe da ancoragem dos grampos e da viga de ancoragem, Obra no Setor Bancário Sul.

Os grampos na Fachada Oeste foram espaçados de forma diferente em cada linha de grampos. Por exemplo, na 1ª linha de grampos, obteve-se uma configuração de um grampo a cada duas estacas, na 2ª linha de grampos,

obteve-se uma configuração de um grampo a cada estaca, porém na 3ª e 4ª linha de grampos, a configuração foi de uma ancoragem dupla, isto é, duas barras de aço em um mesmo furo, a cada estaca.

A perfuração é realizada com um trado manual de 20 cm de diâmetro, na profundidade de projeto, na Obra 2 – Setor Bancário Sul (Figura 5). Usou-se uma técnica de encher metade do furo onde serão colocados os grampos e, após isso, colocar uma ou duas barras de aço, conforme o projeto, e completar o furo com a calda de cimento, fator água/cimento menor que 0,5.



Figura 5. Detalhe da perfuração com o trado manual para instalação dos grampos, Obra 2 – Setor Bancário Sul.

A Figura 6 mostra uma vista geral da Fachada Oeste, onde se podem perceber as quatro linhas de grampos, onde cada linha de grampos está unida pela viga de ancoragem.



Figura 6. Vista Geral da Fachada Oeste, Obra no Setor Bancário Sul.

A Tabela 1 mostra os parâmetros do solo utilizados para a realização do projeto.

Tabela 1. Parâmetros do solo utilizados no projeto da Obra no Setor de Autarquias Sul (Cunha, 2005).

Ângulo de atrito ( $F'$ )	27°
Altura de escavação (m)	12,50
Coesão (kPa)	10
Peso Específico do Solo ( $kN/m^3$ )	16
Diâmetro da estaca (cm)	50
$E_{estaca}$ (MPa)	25000

## 2.2 Programas Sheeting check e GEO-FEM

O programa Sheeting Check foi desenvolvido para analisar estruturas de contenção em estacas, e este aplicativo serve para análise de estruturas com geometria conhecida. A análise aplica o método de tensões dependentes. Em particular, o carregamento devido às tensões de terra corresponde à deformação da estrutura.

Este aplicativo possibilita análises de processos construtivos, e casos de carregamento individual, inclusive o desenvolvimento gradual das deformações. É possível, com a utilização deste aplicativo, a modelagem do comportamento real das estruturas resultando em projetos mais econômicos. Pode-se verificar, também a estabilidade interna dos sistemas de ancoragens.

O programa GEO FEM é um programa de elementos finitos bidimensional que foi desenvolvido para modelar várias soluções geotécnicas, tais como: Estruturas de contenção, Estabilidade de taludes, Vigas em fundação elástica, Análise de escavações subterrâneas, entre outras.

Em vários casos os resultados podem também ser obtidos usando as soluções analíticas disponíveis de um grupo dos programas GEO. Entretanto, o programa GEO FEM permite que o usuário obtenha uma visão mais complexa de uma solução dada e compare os resultados. Além disso, existem casos em

que as soluções são mais complexas, não tendo uma solução analítica disponível, e a análise numérica que usa o método de elemento finito (FEM) é geralmente a única opção.

### 2.3 Instrumentação

Foi realizado um acompanhamento do deslocamento do topo das estacas e das linhas de grampo das 4 fachadas da Obra no Setor Bancário Sul. Esses deslocamentos foram monitorados por meio de medidas diretas, com o auxílio de um topógrafo que efetuava leituras através de um teodolito, conforme mostrado na Figura 7.



Figura 7. Medição dos deslocamentos do topo das estacas e das linhas de grampos, Obra no Setor Bancário Sul.

A Figura 8 mostra as estacas que foram instrumentadas na Fachada Oeste. A numeração corresponde às estacas no sentido Norte-Sul, excluindo a 1ª estaca, pois a mesma se encontra fora da área escavada.



Figura 8. Estacas que foram instrumentadas na Obra no Setor Bancário Sul.

Para se obter os deslocamentos foram escolhidos pontos fixos fora da Obra. As leituras eram realizadas sempre após qualquer modificação na estrutura, isto é, escavação, execução dos grampos, e concretagem da viga de ancoragem na linha de grampos.

## 3 ANÁLISES E RESULTADOS

### 3.1 Resultados da instrumentação da Obra no Setor Bancário Sul

Os dados de deslocamentos do topo das estacas foram acompanhados semanalmente durante os meses de abril a julho de 2005, referentes ao período de escavação desta obra, instalação dos grampos e concretagem da viga de ancoragem.

As estacas que foram instrumentadas já foram apresentadas na Figura 8. As estacas da Fachada Oeste foram numeradas no sentido Norte-Sul, sendo que as estacas W6, W20, W23 e W27 apresentam um espaçamento entre estacas de 1,15 m, e a estaca W17 apresenta um espaçamento de 1,05 m em relação às circunvizinhas.

É importante observar que a 1ª leitura de deslocamento do topo das estacas foi realizada quando já se tinha escavado 1,37 m, até a cota - 8,10 m podendo ter ocorrido deslocamentos não observados.

A Figura 9 apresenta os deslocamentos do topo da contenção variando com o tempo, para as estacas instrumentadas.

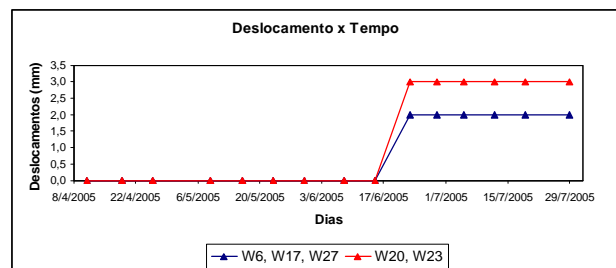


Figura 9. Variação do deslocamento do topo da contenção com o tempo, Obra no Setor Bancário Sul.

Pode-se observar que ocorreram deslocamentos de 2 e 3 mm do topo da contenção quando a altura de escavação era de 6,27 m, tendo sido executadas até então duas linhas de grampos. As análises numéricas serão baseadas nesses valores de deslocamentos máximos.

### 3.2 Resultados Da Simulação Numérica Utilizando O Programa Sheeting Check, Fachada Oeste, Obra No Setor Bancário Sul.

Foram realizadas retroanálises na Obra no intuito de se obter os deslocamentos do topo da

contenção, de preferência coerentes com os resultados da instrumentação.

É importante ressaltar dois pontos bastante relevantes nas análises numéricas: o primeiro ponto é que as leituras de deslocamentos só foram iniciadas quando a primeira linha de grampo, que se situa a 1,77 m abaixo do topo da estaca, estava sendo executada. O resultado desse deslocamento não observado na instrumentação, foi obtido através do programa Sheeting Check, apresentando um resultado de deslocamento de 0,50 mm.

O segundo ponto é que as leituras de deslocamento do topo das estacas só foram realizadas até a execução da 3ª linha de grampos, porém nas análises foram simuladas situações de escavação e de execução da 4ª linha de grampos.

Foram realizadas retroanálises variando a coesão de 10 até 15 kPa, o ângulo de atrito de 25° a 28° e o Módulo de reação do subsolo constante com a profundidade, com valores variando de 25 a 45 MN/m<sup>3</sup>. Os resultados que apresentaram melhores resultados foram a coesão de 11 kPa, ângulo de atrito de 27°, e o Módulo de Reação do Subsolo (Kh) constante igual a 40 MN/m<sup>3</sup>.

O espaçamento entre estacas adotado para a simulação da Fachada Oeste na Obra no Setor Bancário Sul foi de 1,15 m. A Figura 10 mostra a saída de dados do programa Sheeting Check, onde pode-se observar os deslocamentos do topo das estacas, e o deslocamento da viga de ancoragem de cada linha de grampos, bem como as forças atuantes nos grampos passivos.

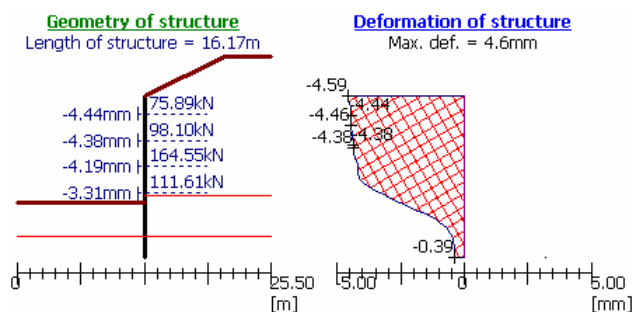


Figura 10. Saída de dados do programa Sheeting Check da Fachada Oeste, Obra 2 – Setor Bancário Sul.

O deslocamento do topo das estacas foi de 4,59 mm, resultado, portanto, satisfatório em relação ao valor medido com a instrumentação.

Os grampos passivos foram dimensionados com uma carga de trabalho de 150 kN para ancoragem simples e 300 kN para ancoragem dupla, onde a relação de segurança é calculada como sendo a relação entre a carga de trabalho de projeto e a carga obtida nas análises numéricas.

A primeira linha de grampos, apresenta espaçamento entre grampos de 2,30 m e ancoragem simples. A segunda linha de grampos possui um espaçamento entre os grampos de 1,15 m e ancoragem simples. A terceira e quarta linha de grampos possuem um espaçamento entre grampos de 1,15 m e ancoragem dupla.

Vale ressaltar que o projeto foi originalmente realizado com uma metodologia que não considera a flexibilidade da estrutura.

Observa-se ainda o deslocamento de cada linha de grampos, onde a 1ª linha grampos teve um deslocamento de 4,44 mm, a 2ª linha de grampos apresentou um deslocamento de 4,38 mm, a 3ª linha de grampos apresentou o deslocamento de 4,19 mm e a 4ª linha de grampos apresentou um deslocamento de 3,31 mm.

A Figura 11 mostra os momentos atuantes na estaca da Fachada Oeste.

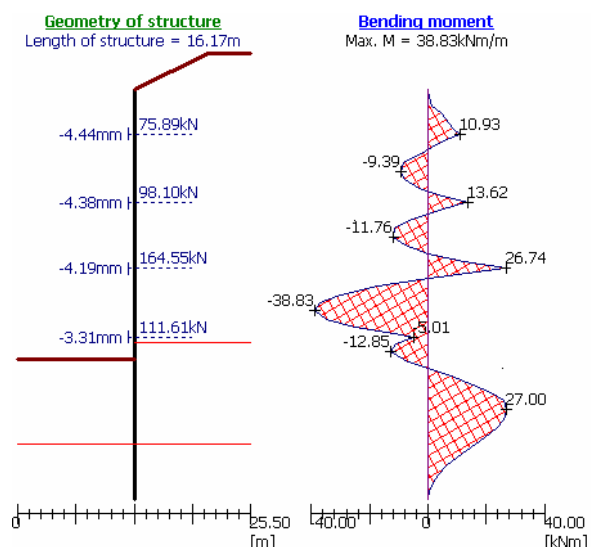


Figura 11. Momentos atuantes na estaca da Fachada Oeste, Obra 2 – Setor Bancário Sul.

O momento máximo na Fachada Oeste foi de 38,83 kNm/m.

### 3.3 Resultados do Programa GEO-FEM, Fachada Oeste, Obra no Setor Bancário Sul.

A Fachada Oeste foi analisada com os mesmos parâmetros utilizados para se fazer as retroanálises no Sheeting Check. Foram feitas as análises numéricas com os modelos de Drucker-Prager (DP), Mohr-Coulomb (MC) e Mohr-Coulomb Modificado (MCM) para se obter dados de deslocamentos das linhas de grampos e momento máximo.

A Figura 12 mostra os deslocamentos do topo das estacas para os três modelos estudados.

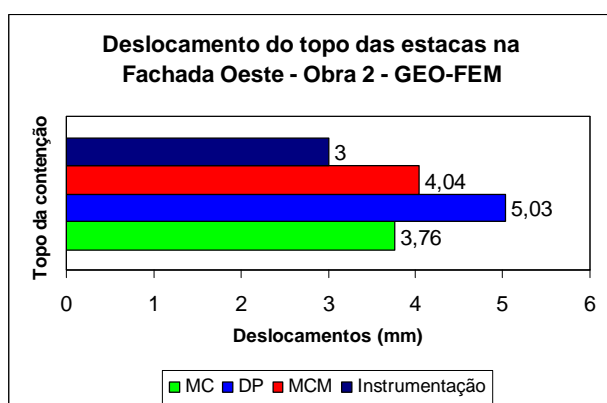


Figura 12. Resultado dos deslocamentos do topo das estacas da Fachada Oeste, Obra no Setor Bancário Sul.

Observa-se que o modelo de MC foi o que apresentou melhor resultado de deslocabilidade do topo da contenção em relação ao valor medido com a instrumentação, ficando mais próximo se acrescentar o valor do deslocamento que não foi medido pois, já se tinha escavado cerca de 1,7 m, esse deslocamento obtido através da retroanálise utilizando o Sheeting Check foi de 0,50 mm, dando um deslocamento do topo da contenção de 3,50 mm.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados das análises numéricas de deslocamentos do topo das contenções foram satisfatórios com os resultados da instrumentação, onde foi possível simular o processo construtivo das obras.

Os parâmetros que apresentaram os melhores comportamentos reais obtidos nas simulações

numéricas foram: coesão 11 kPa, ângulo de atrito 27°, peso específico do solo 17 kN/m<sup>3</sup>, e o módulo de elasticidade do solo igual a quatro vezes o número do SPT obtido no ensaio de sondagem a percussão (em MPa);

O programa GEO-FEM apresentou melhores resultados de deslocamentos do topo da contenção em relação ao programa Sheeting Check em comparação com os resultados da instrumentação.

## REFERÊNCIAS

- Cunha, R.P (2005) – comunicação pessoal.
- GEOFINE (2004). Manual do Usuário: Sheeting Check, GEO-FEM.
- Google Earth (2005). Programa de Imagens de Satélite.
- Medeiros, A.G.B. (2005). Análise Numérica de Estruturas de Contenção em Balanço E Grampeadas do Tipo “Estaca Justaposta” Assentes em Solo Poroso do DF. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-135/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 135 p.