

Avaliação da Influência do Estaqueamento da Cortina de Contenção no Fluxo D'água Subterrâneo, Por Meio da Utilização do Software *Seep/W*

Guilherme Ribeiro Paiva

Instituto de Ensino Superior Planalto (IESPlan), Brasília, Brasil, guilherme933@gmail.com

Haroldo da Silva Paranhos

Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Brasil, reforsolo@gmail.com

Rideci de Jesus Farias

Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Brasil, rideci.reforsolo@gmail.com

RESUMO: O estudo do comportamento do fluxo d'água subterrâneo em seu rebaixamento provisório ou permanente é algo pouco estudado nas bibliografias nacionais, assim como a influência promovida pelo estaqueamento das cortinas de contenção. O objetivo deste projeto é entender - com a ajuda do software de análises de infiltração *Seep/W* - como a linha da cortina de contenção influencia no fluxo d'água subterrâneo, rebaixando-o naturalmente apenas por sua mera execução. Entendendo-se como a cortina de contenção afeta o nível freático será possível elaborar um projeto de rebaixamento mais sucinto, resultando em uma maior eficiência no emprego em conjunto destes dois sistemas. Alguns pontos sobre o tema são esclarecidos no desenvolvimento deste artigo.

PALAVRAS-CHAVE: Rebaixamento do Lençol Freático, *Seep/W*, Cortina de Contenção.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo tem por objetivo analisar a influência do estaqueamento da cortina de contenção (estaca justaposta) no fluxo d'água subterrâneo, fazendo uso do software de cálculo *Seep/W*, da empresa canadense Geo-Slope International Ltd.

Será mostrado um caso de real de obra, em um empreendimento de 17.000 m², localizado em Olímpia, São Paulo.

Neste empreendimento, a água do lençol freático encontrava-se, em certos pontos, a 60 cm de profundidade (Figuras 01 a 06) e era necessário escavar 01 subsolo de até a uma profundidade de 3,5 metros, além dos blocos de fundações, reservatórios enterrados e caixas de elevadores; totalizando 5,50 m de profundidade.



Figura 1. Situação antes do rebaixamento.



Figura 2. Situação antes do rebaixamento.



Figura 3. Comparação. Situação antes do rebaixamento.

Foi, então, dimensionado um sistema de rebaixamento temporário do lençol freático, por meio de poços drenantes.

Após a completa execução do sistema e escavação até a cota de projeto, notou-se que alguns poços localizados próximos à cortina de contenção do empreendimento não foram tão solicitados para o rebaixamento efetivo do lençol freático quanto outros.

O objetivo deste projeto é entender, com a ajuda do software *Seep/W*, como a linha de cortina de contenção influenciou no fluxo d'água subterrâneo, rebaixando-o naturalmente apenas por sua execução.



Figura 4. Comparação. Situação depois do rebaixamento.



Figura 5. Situação após o rebaixamento.



Figura 6. Situação após o rebaixamento.

Entendendo-se como a cortina de contenção afetou o nível freático será possível elaborar um projeto de rebaixamento mais sucinto, mantendo-se a sua eficiência e reduzindo custos de execução, melhorando a taxa do Custo x Benefício, objetivo principal de um projeto de engenharia.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Todos os conceitos básicos e teóricos foram extraídos de fontes de pesquisa: como livros ou revistas técnicas. Para informações adicionais e desenvolvimento da pesquisa utilizou-se sites especializados e confiáveis que tratavam dos assuntos.

O rebaixamento de lençol freático é um assunto pouco estudado no Brasil, foram, portanto, encontradas poucas fontes de informação bibliográfica nacional. Ao final, levou-se em consideração, principalmente, o sistema de cálculo e rebaixamento proposto por Alonso, U. R. (2007) *Rebaixamento temporário de aquíferos*, São Paulo, Oficina de Textos.

2.1 Materiais

A metodologia deste artigo consiste em analisar, por meio de softwares, a influência do estaqueamento da cortina de contenção no fluxo d'água subterrâneo.

Esta consideração veio à tona após o serviço de execução de um projeto de sistema de rebaixamento de lençol freático para um

empreendimento em Olímpia, São Paulo.

Esse sistema de rebaixamento específico foi realizado por meio de poços de bombeamento.

Após o projeto ter sido completamente executado pelo empreendimento, foram observadas algumas peculiaridades nesse sistema, como, por exemplo, o fato de que alguns poços de rebaixamento, se quer chegaram a ser utilizados. Estes poços se encontravam após uma região em que foi executada uma estrutura de contenção, em estacas hélice contínua.

A dúvida que surgiu então, foi a que deu origem a este artigo: como e quanto as estruturas de cortina de contenção em estacas hélice contínua influenciam no fluxo d'água subterrâneo?

Serão listados aqui todos os materiais e procedimentos utilizados para chegar a uma conclusão acerca desta dúvida.

2.2 Dados do empreendimento analisado

O empreendimento a ser estudado é o um conjunto hoteleiro e parque aquático, no município de Olímpia, no estado de São Paulo.

O hotel e parque aquático tem 04 torres, cada uma com 17 pavimentos, 01 subsolo totalmente enterrado e o pavimento térreo semienterrado.

2.3 Características do laudo de sondagem

O laudo de sondagem fornecido pela empresa era referente ao mês de novembro de 2012.

Foram feitos 16 furos de sondagem SPT em uma área de 17.000m² e pôde ser realizada a caracterização do solo e observado o NA correspondente ao seu mês de execução.

A partir do ensaio de sondagem, elaborou-se uma modelagem 3D do nível d'água (Figura 7) e do impenetrável (Figura 8) com base nos valores encontrados no laudo de sondagem e as coordenadas XY de cada furo:

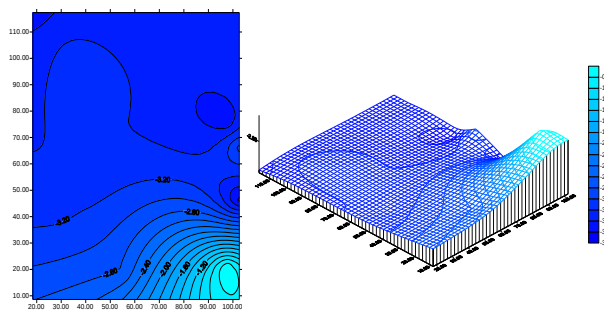


Figura 7. Modelagem digital do N.A.

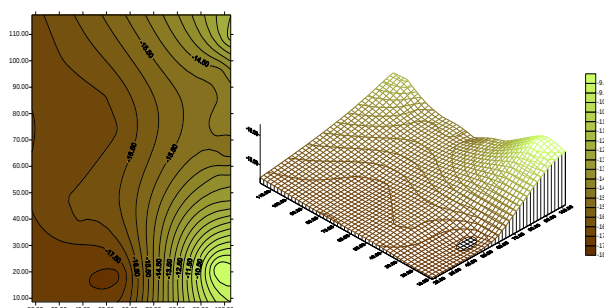


Figura 8. Modelagem digital do impenetrável.

Analisando-se o laudo, observou-se que o nível d'água teve um pico de afloramento no canto superior direito do empreendimento, influenciado também pelas características geológicas do local. Nesse ponto, o nível do impenetrável está bem próximo da superfície, a cerca de 7 m de profundidade. Alguns pontos próximos a esta região tiveram níveis d'água bem próximos de 0,60m, a partir da superfície do terreno.

De uma forma geral, o NA teve um valor médio de 3,40m de profundidade.

Os solos caracterizados no laudo foram: argila arenosa, até os primeiros 03 m, em seguida um silte argiloso, até os 06m e por fim uma areia siltosa até o final do SPT, a 14m.

2.4 Dados do sistema de rebaixamento originalmente dimensionado

O método de cálculo do sistema de rebaixamento proposto consistiu em dividir a área do empreendimento em 04 partes de 50x50m.

Após os cálculos, segundo recomendações de Alonso (2007), em seu livro, viu-se a necessidade, para cada parte dessas, de colocar 08 poços de diâmetro de 50 cm e com profundidade de 12m (Tabela 1). Sendo 04

partes, a quantidade total de poços foi de 32 unidades.

Tabela 1. Dimensionamento original do sistema.

Diâm. do poço (m)	0,50
Raio do poço (m)	0,25
Permeabilidade média do solo (m/s)	0,00001
Largura da cava (m)	50,0
Comprimento (m)	50,0
Área limitada (m ²)	2500
Raio do poço equivalente (m)	28,20
Altura do NA a partir da rocha (m)	12,0
Altura da freática rebaixada até a rocha (m)	7,0
Raio de influência do rebaixamento (m)	106,1
Vazão total do sistema (m ³ /s)	0,011
Quantidade de poços (n)	8,0
Distância entre poços perimetrais (m)	25,0
Vazão de cada poço (m ² /s)	0,0015
Comprimento filtrate dos poços (m)	2,10
Velocidade do fluxo no filtro (m/s)	0,00047
Abatimento da freática (m)	3,60
Altura água dentro do poço até a rocha (m)	3,40
Comprimento do poço (m)	10,70
Acrescentar (1,0 de liso + 0,5 de furo)	11,50

Além dos poços de rebaixamento, adotou-se uma metodologia de execução, tornando exequível o projeto. Essa metodologia foi realizada da seguinte forma:

I. Execução de poços manilhados, com diâmetro de 1,0m e profundidade de 2,50m; posicionados em pontos estratégicos, para escoamento da água, que se encontrava superficialmente na obra;

II. Execução de valas com largura de 0,60m e profundidades de 1,0m, em todo o perímetro interno da obra;

III. Execução dos poços de rebaixamento.

2.5 Aplicação do software *Seep/W*

Por meio do software *Seep/W* foi realizada uma análise computacional da influência do estaqueamento da cortina de contenção no fluxo d'água subterrâneo.

Utilizou-se uma base gráfica em CAD (Computer Assited Design), desenhada a partir do próprio software, para criar um modelo digital do empreendimento.

O software trabalhou com as dimensões reais do empreendimento, foram admitidas as características do solo, a hidrologia e nível

d'água encontrados no laudo de sondagem bem como características de desnível do NA.

Além disso, a localização da linha de estaqueamento da contenção também foi cuidadosamente adicionada ao software.

Todos esses dados foram adicionados às condições de contorno do programa, procurando manter o modelo digital o mais próximo possível da situação real vivenciada em obra.

2.5.1 Inserção de dados e parâmetros no software *Seep/W*

Iniciou-se o modelo digital inserindo dados de dimensão, largura e comprimento, no software *Seep/W*. Criando assim o plano inicial de análises (Figura 9).

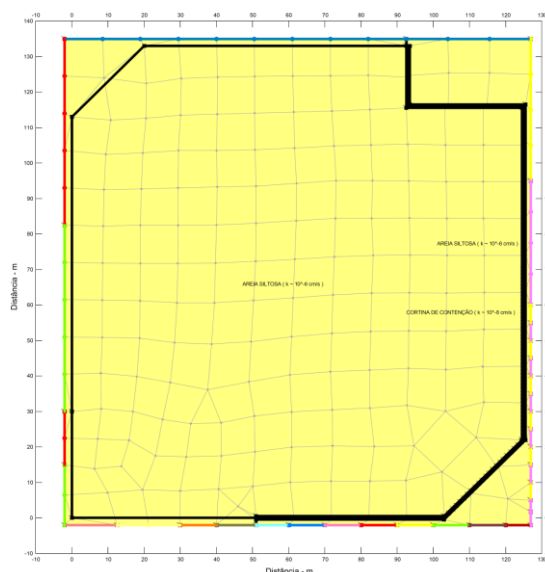


Figura 9. Plano de análises montado e configurado. A linha mais grossa representa a cortina de contenção

Para o tipo de análise que está sendo feito, com uma vista plana, ou seja, uma vista de cima, não há - e não se sabe - como definir diferentes camadas de materiais uns sobre os outros, portanto, apenas um único material foi considerado.

Colocou-se então o material de maior ocorrência nos laudos de sondagem.

Em média, a partir dos 06m de profundidade, encontrou-se apenas areia siltosa até o impenetrável à sondagem SPT. Adotou-se, então, esse material, com uma permeabilidade $k = 1 \times 10^{-6}$ cm/s. O software só aceita a entrada

em metros. Configurou-se então para m/s, portanto $k=1 \times 10^{-8}$ m/s.

Em seguida, criou-se uma região fictícia de 01 m de largura para simular a linha de estacas de contenção. Na situação real, a linha de contenção é disposta por estacas de 40 cm espaçadas a cada 70 cm.

Foi-se calculada uma média ponderada e adotou-se a permeabilidade $k=1 \times 10^{-8}$ cm/s (para entrada no software $k=1 \times 10^{-10}$ m/s) na região sinalizada pela cortina de contenção.

Após serem definidos os materiais, adicionaram-se os parâmetros de limite da espessura da camada de solo, ou seja, definiu-se o limite do impenetrável. A partir dos dados obtidos na sondagem, adotou-se 20 m como espessura média.

Em seguida, inseriram-se os parâmetros hidrológicos no software de modo que os resultados finais das curvas de nível freáticas fossem em conformidade com os resultados e gráficos obtidos através do ensaio de SPT realizado (Figura 10).

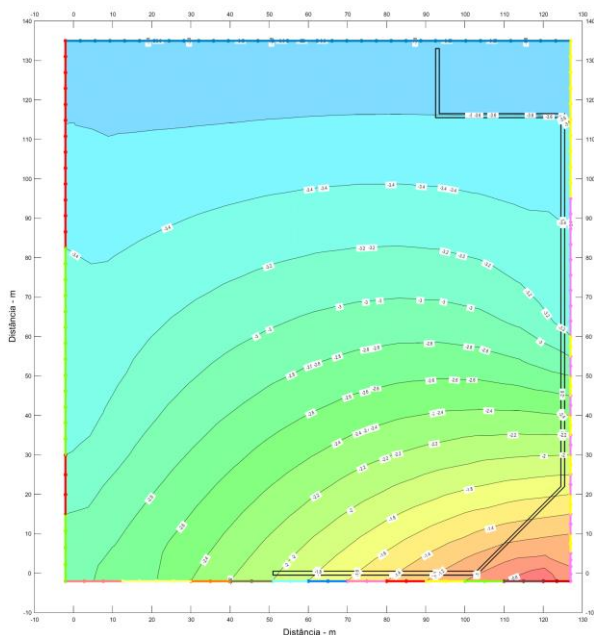


Figura 10. Parâmetros hidrológicos e limite impenetrável adicionado ao software de modo que se igualem aos dados da sondagem SPT real.

2.5.2 Gerando a análise no software *Seep/W*

Após todos os dados corretamente lançados fez-se rodar o cálculo do software, obtendo-se o

seguinte resultado demonstrado na Figura 11.

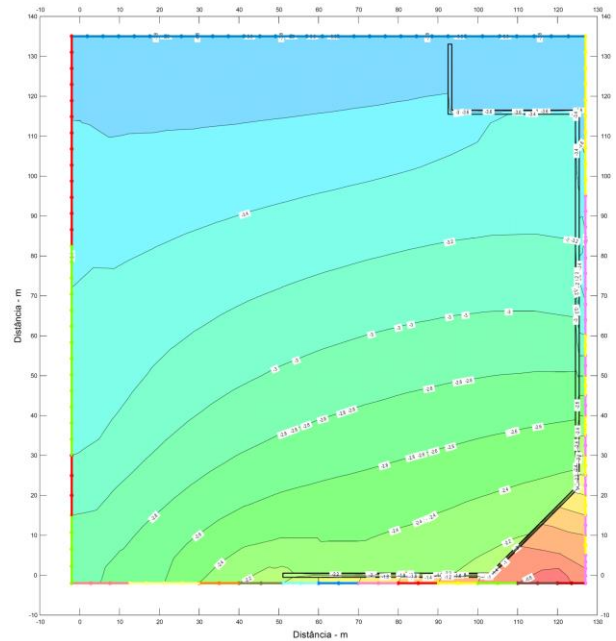


Figura 11. Curvas de nível freáticas rebaixadas após inserção do elemento representativo da cortina de contenção.

A partir dos resultados do software, escolheu-se 04 seções em planta (Figura 12) e elaborou-se gráficos para análise da variação do nível d'água, conforme se distanciava da linha de estaqueamento (Figuras 13 e 14).

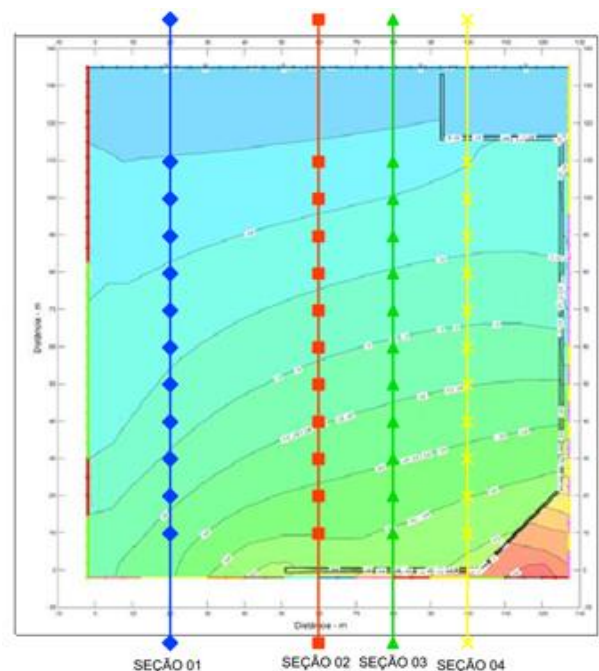


Figura 12. Localização das seções de análise.

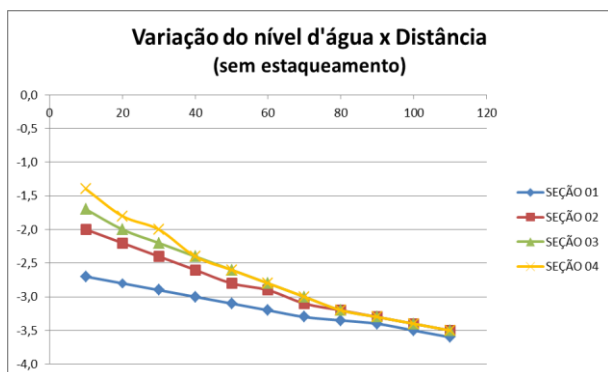


Figura 13. Variação do N.A. sem estaqueamento.

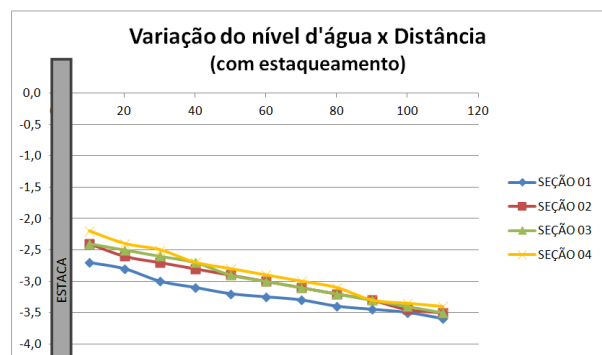


Figura 14. Variação do N.A. com estaqueamento.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observou-se, a partir da Figura 14, que, após a inserção do elemento representativo do estaqueamento da cortina de contenção, houve um rebaixamento do nível freático, de uma forma geral.

Ao observar os pontos da face inferior do empreendimento, onde o estaqueamento faz uma curva e parece “abraçar” o empreendimento, antes da inserção do elemento representativo do estaqueamento, a água se mantinha a 1,20m e, após a inserção do elemento representativo, o nível freático foi rebaixado para 2,20m, ou seja, 1,0m de rebaixamento efetivo nessa área.

Entretanto, conforme se avançava na direção norte, distanciando-se da cortina de contenção, essa diferença vai reduzindo-se gradativamente, até estabilizar-se ao nível freático anterior ao estaqueamento, após cerca de 80 m de distância da cortina.

A partir destes resultados obtidos é possível redimensionar o sistema de rebaixamento.

4 REDIMENSIONAMENTO DOS POÇOS E COMPARAÇÕES ANALÍTICAS

Com base nos resultados obtidos através do software, modificou-se o valor da altura no nível freático (hm) nos cálculos do sistema de rebaixamento feito inicialmente. Não foi realizada nenhuma outra modificação nos cálculos, tornando possível fazer a comparação dos dimensionamentos tomando-se como parâmetro de base apenas essa mudança no nível d'água, calculado pelo software *Seep/W*.

O novo dimensionamento fora realizado da mesma forma, dividindo-se o empreendimento em 04 partes de 50x50 m e adotando-se poços com 0,50m de diâmetro.

A interação das fórmulas resultou em poços com profundidade um pouco menor do que as inicialmente calculadas. A nova profundidade total dos poços resultou em 11,50 m. O cálculo feito inicialmente havia resultado em 12,20 m e por razões de execução adotou-se 12 m. Para efeito de comparação, pode-se considerar que somente o fato de reduzir a altura do nível d'água reduziu a profundidade do poço em 0,70m, o que geraria enorme economia em material e mão de obra da empresa executante.

Os resultados de redimensionamento podem ser acompanhados na Tabela 2 que se segue.

Tabela 2. Redimensionamento do sistema.

Diâm. do poço (m)	0,5
Raio do poço (m)	0,25
Permeabilidade média do solo (m/s)	0,00001
Largura da cava (m)	50,0
Comprimento (m)	50,0
Área limitada (m ²)	2500
Raio do poço equivalente (m)	28,2
Altura do NA a partir da rocha (m)	11,5
Altura da freática rebaixada até a rocha (m)	7,0
Raio de influência do rebaixamento (m)	95,5
Vazão total do sistema (m ³ /s)	0,011
Quantidade de poços (n)	8,0
Distância entre poços perimetrais (m)	25,0
Vazão de cada poço (m ³ /s)	0,0015
Comprimento filtrate dos poços (m)	2,0
Velocidade do fluxo no filtro (m/s)	0,00047
Abatimento da freática (m)	3,5
Altura água dentro do poço até a rocha (m)	3,5
Comprimento do poço (m)	10,0
Acrescentar (1,0 de liso + 0,5 de furo)	11,5

Diante dos fatos aqui apresentados, conclui-se que o estaqueamento da cortina de contenção contribuiu apenas para o rebaixamento à jusante, próximo ao estaqueamento e não ao longo da obra, como se imaginava no início do estudo deste projeto.

Entretanto, pode-se notar que em regiões onde o estaqueamento “abraçava” o empreendimento, formando uma espécie de região que podemos chamar como “protegida” pela linha de estaqueamento, o nível freático teve um rebaixamento consideravelmente grande, cerca de 0,80 a 1,0m a partir de seu nível original. Mas conforme o estaqueamento deixava de “abraçar” o empreendimento, a influência deste no rebaixamento efetivo do nível freático era muito pequena, cerca de 0,40 a 0,60 m.

O limite dessa influência foi visto até 80 m a partir da linha de estaqueamento, a partir disso já não se via efeito sobre o fluxo-d’água.

É necessário salientar que essa distância limite não é universal e que cada caso necessitará de uma nova análise no software *Seep/W*, adicionando-se novos parâmetros de solo, nível d’água, densidade da cortina de contenção e sua geometria e disposição, tanto em relação à obra, como em relação sentido do fluxo-d’água subterrâneo.

Pode-se concluir ainda que o fato de que alguns poços de rebaixamento não se fizeram úteis em campo, poderia ter ocorrido por motivos diversos à influência da linha de estaqueamento da cortina de contenção. Como por exemplo: a má execução do poço na obra, ou talvez, por ter sido locado em uma região rodeada por um solo pouco permeável, além disso, pode-se considerar ainda que pela influência dos poços adjacentes, a água pode simplesmente ter se infiltrado para regiões de maiores gradiente hidráulico, onde a percolação era mais fácil, não chegando a ser captada por esses poços analisados, inutilizando-os.

- Alonso, U. R. (2007) *Rebaixamento temporário de aquíferos*, São Paulo, Oficina de Textos.
- Geo-slope. (2012) *Seepage Modeling with Seep/W*, Canada, Geo-Slope International Ltd.