

# Análise Construtiva e Econômica de Empreendimento com Escavação Abaixo do Nível da Água

Fernando Naves Adriano

Brasal Incorporações, Brasília, Brasil, [fernando@brasal.com.br](mailto:fernando@brasal.com.br)

Vinicius Resende Domingues

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, [vinicius.rdomingues@gmail.com](mailto:vinicius.rdomingues@gmail.com)

Neusa Maria Bezerra Mota

Centro Universitário de Brasília, Brasília, Brasil, [neusa.mota@uniceub.br](mailto:neusa.mota@uniceub.br)

**RESUMO:** Este trabalho transmite o conhecimento adquirido com a experiência incorporada durante as etapas de contenção, escavação e fundação de um empreendimento situado em Águas Claras – DF, com lençol freático localizado na cota do 4º subsolo. Com base nesse estudo é possível inferir considerações relevantes que asseguram um maior controle de desempenho da contenção assim como a adequação do orçamento final do empreendimento. Nesse sentido, destacam-se: a importância da investigação geotécnica que proporciona a elaboração de um planejamento mais racional do sistema construtivo; a integração da engenharia e da arquitetura no processo de concepção do projeto arquitetônico como promotor da eliminação de grande parte das intercorrências que se apresentam no canteiro de obras; a necessidade do envolvimento de consultores e especialistas quando a solução técnica mostrou-se complexa e específica, durante a execução; quanto mais profunda a escavação, mais complicada e cara é a logística de canteiro; e problemas com movimentação de terra, transporte vertical e horizontal em geral, provocam ociosidade de equipamentos e mão de obra sendo estes aspectos difíceis de mensurar e que agregam custos relevantes à obra. Por fim, conclui-se que o bom planejamento de todo o modelo construtivo, ao observar os itens destacados, deverá associar a segurança e os custos com ganhos de produtividade e eficiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lençol Freático, Fundação, Escavação.

## 1 INTRODUÇÃO

O virtuoso ciclo econômico vivido pelo Brasil pós-inflação, a euforia do mercado de capitais, o aumento da renda dos trabalhadores, a incorporação de uma nova camada da população ao trabalho formal com acesso a linhas de crédito de longo prazo deram ao sonho de todo cidadão Brasileiro em possuir sua casa própria uma perspectiva concreta de realização. Todos esses fatos somados impulsionaram a nossa economia e em especial o setor da construção civil gerando inúmeras oportunidades de negócios entre os proprietários de terras e os incorporadores. Entretanto, os questionamentos lançados pelos economistas sobre a assertividade da condução

econômica por parte do governo e as perspectivas de desaceleração da economia mundial fizeram com que o fator tempo de lançamento dos empreendimentos ganhasse uma importância ainda maior e isso trouxe uma redução nos prazos de planejamento das obras, buscando aproveitar o aquecimento desse mercado que parecia estar próximo a uma acomodação. Em prol dessa velocidade, etapas importantes foram sendo sobrepostas e discutidas durante a elaboração e aprovação dos projetos, com isso, muitas decisões importantes foram transferidas de forma emergencial para dentro do canteiro de obras e debates que deveriam fazer parte de reuniões preparatórias anteriores ao desenvolvimento do projeto foram suprimidos. Uma grande parte dos conflitos

gerados entre construtores, incorporadores e clientes tem sua origem estabelecida no desprezo com que são tratadas algumas questões.

Com base nos argumentos apresentados acima, o presente estudo tem por objetivos: analisar as etapas de escavação, contenção e fundação de um empreendimento habitacional em Águas Claras – DF; descrever os processos provisórios e definitivos de gestão da água subterrânea que percola pelas estacas de contenção em função do afloramento do lençol freático; demonstrar os custos incorridos pelo construtor em função das características estratigráficas do solo e da necessidade de escavação abaixo do lençol freático, conforme estabelecido no projeto arquitetônico; e evidenciar a necessidade de um maior monitoramento de todas as etapas construtivas para respaldar as soluções estabelecidas como as mais seguras e adequadas.

Apesar de todo aprofundamento nas questões acima expostas denotar uma grande complexidade no entendimento sobre a composição dos solos e na maneira como os minerais presentes na sua estratigrafia irão se comportar na presença do lençol freático, a engenharia civil já desmistificou grande parte desses problemas. Isso porque, através de equipamentos e soluções que podem ser utilizados de forma separada ou conjunta, é possível interromper de forma provisória ou definitiva a presença de água no canteiro de obra e seus efeitos sobre a estrutura a ser construída. Dessa forma, as decisões são baseadas nas soluções que apresentam o menor custo de implantação levando-se em conta não somente os aspectos técnicos, mas também fatores como a presença de vizinhos nas imediações, as normas governamentais, a disponibilidade de equipamentos e mão de obra para execução dos trabalhos, o custo do transporte dos materiais, os impactos ambientais, entre outros.

O estudo do solo é a parte mais negligenciada pelos empresários do setor da construção civil. É correta a afirmação que a investigação geotécnica está associada ao tipo de obra e os riscos envolvidos, entretanto, a maioria dos projetos são elaborados levando-se

em conta apenas os dados de sondagem a percussão (SPT) e, não por acaso, os maiores desvios apresentados nos orçamentos estão lançados na conta das contenções e fundações. A investigação, quando bem realizada, traz benefícios para a elaboração do projeto e uma melhor precisão na elaboração do cronograma da obra e conseqüente redução do impacto ambiental na vizinhança e redução dos custos. Exemplo da segurança obtida através de investigações geotécnicas é exposta pela NBR 6122/10 (ABNT, 2010) que respalda o projetista a trabalhar com fatores de segurança reduzidos que acarretarão em economias no consumo de aço e concreto se a investigação for realizada dentro dos critérios estabelecidos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Características da Geologia e do Solo do Distrito Federal

As condições climáticas, geológicas e antrópicas do Distrito Federal determinam uma geologia complexa com características peculiares, chapadas de topografia plana e relevo residual (34%), ocorrendo latossolos como tipo de solo predominante e áreas de dissecação intermediária representando aproximadamente 31% do solo do DF modeladas por rochas compostas por ardósias, metarritmitos, metassiltitos e quartzito em geral muito intemperizados na sua parte superior. A região de Águas Claras, que será o foco deste trabalho, está localizada em uma área de transição desses dois tipos de solo. (EMBRAPA, 1978)

Os latossolos, que representam a maior parcela do solo do DF, possuem um maior estágio de intemperismo e por isso formam as superfícies mais antigas e mais estáveis com um alto índice de porosidade. Além disso, apresentam uma mistura de óxidos hidratados de ferro e alumínio, ricos em caulinita e gipsita e também de materiais insolúveis como o quartzo. Dessa forma, apresentam alto teor de argila, porém em função da sua estrutura granular esse material comporta-se como uma textura mais grossa. A diferenciação da cor

vermelho-escuro para vermelho-amarelo se dá em função do horizonte e do óxido de ferro e das fases e tipos de vegetação nativa. Apesar da alta proporção de argila, o elevado nível de agregação das partículas em grãos do tamanho de areia eleva a permeabilidade do solo da região estudada.

Segundo MOTA (2002) as obras subterrâneas do DF se localizam em horizontes de solos colapsíveis e em ambientes argilosos de cor vermelha a vermelha amarelada, denominados pelos geotécnicos da região como argila porosa de baixa resistência à penetração (SPT variando de 1 a 6 golpes) e alta permeabilidade (10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup> cm/s). Esse material é constituído por argilas, siltes e areias combinados em diferentes proporções dependendo do domínio geológico local. A alta porosidade e o tipo de ligações cimentícias, quando submetidos a aumento de umidade e/ou à alteração do estado de tensões, agregam à estrutura uma condição de instabilidade com variação brusca de volume que é denominada colapso.

Adequando-se as particularidades do estudo de caso, Águas Claras (DF) possui uma cobertura Detrito-Laterítica de material inconsolidado impedindo o afloramento de suas litologias. Dessa forma, torna-se necessário um aprofundamento de cerca de 10 metros para se ter alcance ao saprólito do substrato rochoso. A Ardósia constitui a área de maior abrangência no substrato da região, seguido do metarritmito arenoso e por fim o quartzito. Segundo o mapa de solos da EMBRAPA (1978), os solos de Águas Claras são compostos basicamente de um latossolo vermelho-escuro que cobre aproximadamente 50% da região, seguido por latossolo vermelho-amarelo ocupando pouco mais de 6% da área e em seguida por cambissolo, associação de cambissolo e cambissolo raso, e material hidromórfico que somariam cerca de 25% da área, terminando com os terrenos urbanos que representam algo próximo a 19% do total.

## 2.2 Lençol Freático

É de conhecimento do meio geotécnico que a posição do lençol freático no subsolo é bastante

variável. Isso representa dizer que, em determinada região a profundidade do lençol freático varia segundo as estações do ano e depende do clima.

O Distrito Federal apresenta estações distintas típicas do clima que se enquadram na classificação de Köppen (CODEPLAN, 1984). Dentre os tipos de classificação temos o clima tropical de savana e temperado chuvoso de inverno seco e está caracterizado pela existência bem nítida de duas estações: seca e chuvosa. Os meses mais quentes são setembro e outubro enquanto o mais frio é julho. Com relação à precipitação, o trimestre mais chuvoso são os meses de novembro, dezembro e janeiro, enquanto que o trimestre junho, julho e agosto é pertinente ao período mais seco do ano.

A região de Águas Claras tem um clima subquente (temperaturas médias mais baixas) e tropical de altitude com baixa amplitude térmica e chuvas mais concentradas no verão. Além da variação sazonal, existe também a possibilidade de haver aumento do lençol freático em diferentes anos, de acordo com a distribuição das chuvas. Isso significa que quando a distribuição é mais homogênea, a infiltração é mais lenta e, portanto, o gradiente de oscilação do lençol freático é menor. Por outro lado, quando a distribuição das chuvas é mais contrastada, o processo de infiltração torna-se mais rápido e gera um maior gradiente de oscilação. (BACANI, 2004)

Existe uma série de métodos disponíveis para controlar a água subterrânea em um projeto de construção. O controle da água pode se dar pela adoção de processos de drenagem ou por rebaixamento do lençol freático. Para estabelecer o meio mais adequado de controlar a água subterrânea são necessários ensaios que conduzam a definição do volume de água infiltrada a ser retirada, as possibilidades de ocorrência de recalques nas edificações vizinhas e investigações que identifiquem a cota do lençol freático. Apesar da multiplicidade de opções, para fins de estudo podem ser estabelecidos os grandes grupos onde eles serão enquadrados, a saber: bombeamento direto; pré-drenagem; cut-off, congelamento e ar comprimido, entre outros. Por fim, é importante admitir que é possível utilizar a combinação dos

métodos apresentados.

As investigações geotécnicas e as particularidades do projeto são fatores determinantes para a escolha da solução. Isso porque ambos poderão acarretar em facilidades de execução e otimização do custo de implantação. É importante citar que para perfeita compreensão do problema é necessário que engenheiro inicie sua análise de posse das seguintes informações básicas: magnitude e a profundidade da escavação; os métodos sugeridos de escavação e a resistência do solo; tipos e profundidades que serão sugeridas para a fundação; cronograma de desenvolvimento da obra; e a possível ocorrência de contaminação da água, provocada por algum elemento exterior ao terreno.

### 3 ESTUDO DE CASO: EMPREENDIMENTO EM ÁGUAS CLARAS – DISTRITO FEDERAL

O empreendimento objeto do presente estudo está implantado no lote com área total de 3.294 m<sup>2</sup>, situado em Águas Claras, próximo a uma estação de metrô. O empreendimento possui 350 unidades distribuídas em 35 pavimentos (5 subsolos, térreo, pilotis, 28 pavimentos tipo e cobertura) e ampla área de lazer. Os subsolos estão distribuídos em 5 pavimentos, com 384 vagas de garagens e ocupam uma área de 11.000m<sup>2</sup> e área construída corresponde a 42.500m<sup>2</sup>. A edificação residencial consiste de três juntas sendo a “A” composta de 5 subsolos e 28 pavimentos tipos, a “B” composta de 4 subsolos e 28 pavimentos tipos e a “C” composta de 4 subsolos e 20 pavimentos tipos, todas contemplando um semi-enterrado, um pilotis de acesso e uma cobertura. Além disso, tem-se ainda o embasamento (Junta D).

A estrutura da construção foi toda concebida em concreto armado, já os subsolos utilizaram lajes nervuradas e os pavimentos tipo com lajes maciças com vedação em bloco cerâmico.

#### 3.1 Caracterização Estratigráfica

Para o empreendimento foram contratadas duas campanhas de sondagens distintas que embasaram as soluções sugeridas e

especificadas nos projetos de rebaixamento e drenagem do subsolo da estrutura de contenção.

Na primeira campanha de sondagem a percussão foram executados 9 furos, totalizando 240 m de perfuração pelo processo sem circulação de água e protegido com um revestimento de 63,50 mm de diâmetro. Na segunda campanha foram executados 3 furos de sondagens rotativas, com circulação de água, e profundidade total de 55,0 metros. A referida campanha teve como objetivo a investigação da camada impenetrável existente a uma profundidade acima do estabelecido no projeto. Com isso, percebeu-se que se tratava de um matacão que levou a uma alteração do projeto original com a execução de reforço em estaca raiz nos 8 (oito) blocos onde houveram registros dessas ocorrências.

Nas Figuras 1 a 2 observam-se que o subsolo apresenta estratigrafia extremamente heterogênea, com baixa resistência até 20,0 m.

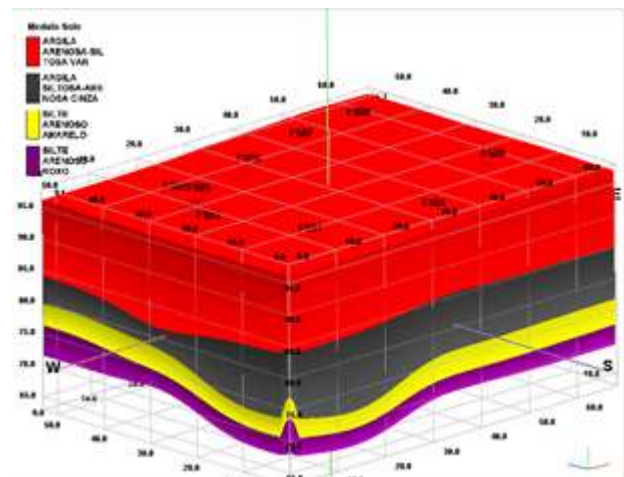


Figura 1. Perfil estratigráfico do solo local

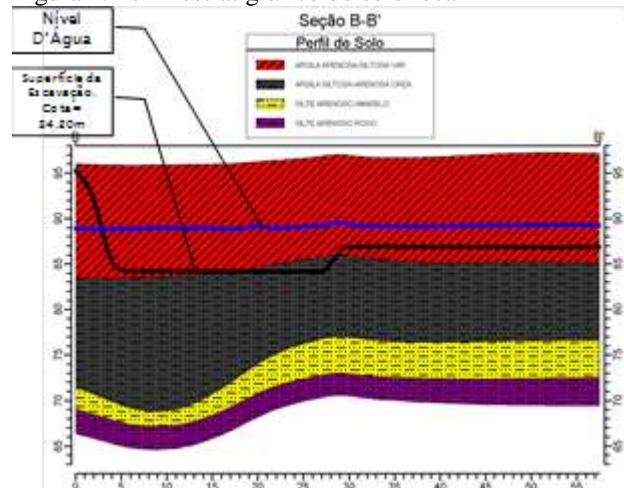


Figura 2. Perfil estratigráfico – Seção B-B'

A primeira camada constitui-se em um horizonte de argila arenoso siltosa variegada com profundidade aproximada de 10,0 m, com nível da água a 6,0 m abaixo da superfície do terreno e com a presença de aterro em algumas áreas. Subjacente, é apresentada uma argila siltosa arenosa cinza (turfa) com valores de  $N_{SPT}$  nulos, ocorrendo entre 10,0 e 20,0 m de profundidade. Logo após é encontrada uma camada de silte arenoso amarelo bastante intemperizado com profundidade aproximada de 5,0 m,  $N_{SPT}$  de 2 a 15 golpes. Por fim, a sondagem atinge o impenetrável em uma camada de silte roxo com  $N_{SPT}$  de 15 a 31 golpes e espessura de 5,0 m.

Na cota 84,20 referente à escavação do 5º subsolo, que se encontra abaixo do nível d'água, percebe-se a presença da camada de turfa que dificultou bastante a escavação e a execução dos grampos das cortinas provisórias (Figura 3). As sondagens e a espacialização foram fundamentais na definição dos projetos de fundação e contenção.



Figura 3. Visão geral da composição do solo

### 3.2 Projeto e Execução das Contenções

A contenção foi projetada e executada em estacas justapostas, tipo escavada, com auxílio de lama bentonítica, instaladas ao longo de todo o perímetro da obra: cortinas norte, sul, leste oeste. O projeto segmentou as quatro faces da contenção em oito trechos, de acordo com a topografia, estratigrafia e cotas de cortes da obra, sendo executado um total de 175 estacas com diâmetro de 0,60 m, com espaçamentos de

0,70 e 1,20 m e profundidades variando de 20,5 a 31,5 m.

No projeto executivo foi estabelecida a instalação de linhas de grampos/tirantes a cada 2,5m e com diâmetro da escavação de 4" nos grampos de aço ( $\Phi = 32\text{mm}$ ) e nos tirantes (INCO 22D e 35D), correspondente a 30mm e 40mm de diâmetro nominal, respectivamente. Além disso, o projeto estabeleceu que as profundidades dos grampos variam entre 14 e 16 metros, enquanto que a dos tirantes estaria fixa em 15 metros. As vigas de travamento ligam os grampos e tirantes formando 4 linhas.

Entretanto, há que se observar na Figura 4, que devido às possíveis interferências na galeria de águas, paralela ao metrô, a primeira e segunda linha de grampos (lado sul) foram executadas com espaçamento de aproximadamente 3,5 m. Com isso, a segunda linha de grampo do lado sul passou a ser tirante (ativo).



Figura 4. Visão geral da contenção (lado sul)

Enquanto a injeção da calda de cimento em um grampo ou tirante horizontal era realizada por um tubo, outro funcionava como dreno até que a coloração do efluente drenado alterasse de transparente para cinza. Dessa forma, quando então o dreno era fechado a injeção do elemento horizontal finalizava.

Durante as obras de contenções, a maior dificuldade encontrada foi o nível d'água. Esse problema ficava mais evidente no momento da perfuração e injeção necessária à instalação dos grampos e tirantes horizontais.

Nos trechos mais críticos, em que a água jorrava durante a perfuração dos grampos/tirantes, a solução encontrada foi o tamponamento com argamassa, contendo aditivo impermeabilizante de pega ultrarrápida, e posterior injeção de calda de cimento através dos tubos de injeção e drenagem previamente instalados (Figura 5).



Figura 5. Água que percola pelo furo dos tirantes

No processo executivo, entre as estacas justapostas, foi realizado emboço com argamassa armada com tela de aço Q 92. A tela foi fixada nas estacas com pino e finca-pino e com grampos no solo. Com isso, esse serviço ajudou na prevenção de carreamento do solo durante as escavações e também na manutenção da cava aberta.

### 3.3 Projeto e Execução das Fundações

Devido às características geotécnicas, o processo executivo das fundações foi extremamente complexo. Na etapa de planejamento foram realizados estudos do custo/benefício das possibilidades a serem adotadas para as fundações dos pilares com cargas de até 14.660 kN.

Dentre as possibilidades analisadas (estacas cravadas de aço ou concreto, estacas escavadas com auxílio de lama bentonítica ou hélice), a solução adotada foi a hélice contínua monitorada com diâmetros de 40 a 70 cm e profundidade média de 18,0m, totalizando 370 estacas.

Para garantir a segurança e a qualidade dos serviços executados, foram tomadas as

seguintes providências: execução de prova de carga, acompanhamento com controle de recalque e ensaios de integridade.

Os resultados dos ensaios de prova de carga indicavam que parte das estacas possuíam capacidades de carga inferiores às aquelas consideradas em projeto. Como solução foram projetados reforços, através do aumento do número de estacas do tipo hélice contínua, além da adoção de algumas estacas do tipo raiz ( $\Phi = 41\text{cm}$ ) para que houvesse a menor interferência possível nos blocos de fundação inicialmente projetados. No total foram executadas 42 estacas raiz.

## 4 GERENCIAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO DURANTE A OBRA

O processo de escavação identificou que o lençol freático cruzava através de vários veios uma parcela representativa do terreno. Notou-se que a água percolava por entre as estrutura das contenções do tipo estaca justaposta e atirantadas, com distribuições pontuais e não muito uniformes.

No terceiro subsolo podia-se observar através de inspeção visual que havia um fluxo de água com carreamento de finos e que esse fato poderia se tornar um problema maior caso não implementassem medidas corretivas em um curto espaço de tempo. Além disso, o problema poderia acarretar em atrasos mais significantes no cronograma da escavação.

Apresentam-se a seguir as etapas de desenvolvimentos de gestão da água do lençol freático para posterior escavação da obra.

- Realização de cinco poços externos a cava, com profundidade média de 20m, espaçados a cada 12,0 m. Os referidos poços tangenciavam as estacas justapostas da contenção sul, com objetivo de reduzir ao máximo a percolação de água e carreamento de solo por entre as estacas.
- Escavação de trincheiras provisórias, escavadas a céu aberto, com espessura de 80cm e profundidade de 1,5m, internas a cava, para a canalização da água até a extremidade de cada trecho. O recalque foi induzido através de bombas submersas para condução da água até o

pavimento térreo. Essa etapa foi executada a cada nível de escavação definidos para a obra, repetindo-se a sequência executiva até o quinto subsolo.

- Foram executados, no lado oeste, drenos horizontais do tipo barbacãs e instalados no último nível de escavação. Esses drenos foram espaçados a cada 3 estacas e com comprimento de 2,5m para alívio do empuxo ativo do solo. Além disso, em alguns casos, foi realizada a canalização dos barbacãs para facilitar a execução dos serviços.

- Como os grampos e tirantes eram mais profundos que os barbacãs, ocorreu que a água percolou com maior intensidade por essa estrutura inutilizando, em parte, a função drenante dos barbacãs.

Com a referida metodologia foi possível executar a obra sem nenhuma ocorrência de desmoronamento de solo ou mesmo falta de acesso para máquinas e pessoal durante a execução das fundações e da estrutura. É importante alertar que não houve a necessidade de instalação de drenagem vertical ao longo da contenção.

Após resolver o problema da água durante o processo de execução das contenções e escavações, as demais etapas do processo construtivo encontravam-se liberadas. Isso quer dizer que a estrutura, a obra bruta e a obra fina poderiam ser finalizadas.

## 5 INSTRUMENTAÇÃO DA OBRA

Sabendo-se das dificuldades construtivas do empreendimento e das responsabilidades do incorporador e considerando que os riscos são inerentes a toda e qualquer atividade que envolva fenômenos da natureza, os critérios e procedimentos inerentes ao gerenciamento de risco da obra foram realizados. Neste contexto foram realizadas instrumentações na escavação, contenção, fundação, bem como o monitoramento de recalque durante obra e após a sua entrega.

Para acompanhamento das escavações foi instalado um inclinômetro próximo à linha do metrô e na face paralela ao parque, com intuito de garantir a segurança durante a obra. A

escolha desses pontos é justificada pelos estados mais crítico nessas regiões.

Obteve-se durante todas as fases da escavação uma inclinação máxima de 10,3 mm no sentido da cava, valor aceitável e dentro dos parâmetros previstos para obra.

A garantia da estabilidade das contenções era controlada através da medição de seu deslocamento. Essa medição foi realizada com estação total em todas as faces. A Figura 6 apresenta as deformações acumuladas obtidas no monitoramento topográfico realizado durante as escavações, compreendendo o período de Janeiro/2009 a Julho/2009.

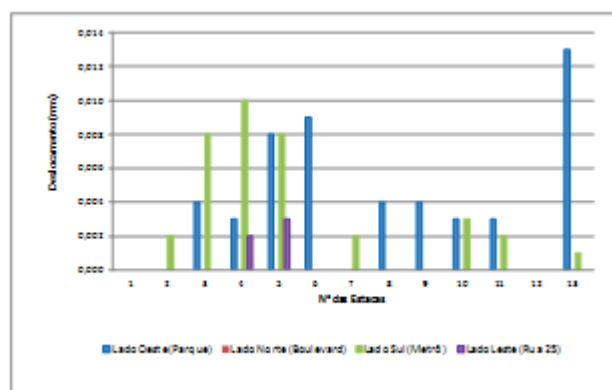


Figura 6. Deformações acumuladas nas contenções

Com base nos resultados verifica-se que no lado norte da contenção não houve deslocamentos e que nos demais lados o maior deslocamento foi de 0,013mm no lado oeste, muito abaixo do valor crítico de deslocamento que corresponde a 0,3% da profundidade escavada.

Durante a execução da obra foi realizado o controle de recalque das fundações, seguindo as orientações da NBR 6122/10 (ABNT, 2010). Os recalques distorcionais máximos obtidos estão no Quadro 1.

Quadro 1. Recalques distorcionais máximos

Junta	Recalques Distorcionais Máximos Entre Pilares	Referência Bibliográfica
A	P105/P110: 1/1640 P109/P110: 1/3480	1/500 limite seguro para evitar danos em paredes de edifícios
B	P212/P215: 1/2295 P213/P215: 1/2903	
C	P219A/P220A: 1/822 P220A/P308: 1/1557	

Os resultados obtidos estão dentro dos limites aceitáveis, sendo observados que durante o carregamento da obra os recalques e velocidades foram mais acentuados com a estabilização após a entrega da edificação.

## 6 SOLUÇÃO DEFINITIVA ADOTADA PARA GESTÃO DA ÁGUA

No caso da contenção para conter a água que percolava pelas estacas justapostas, principalmente nas faces sul e oeste, em função do volume de água e da necessidade de visitas ao longo de toda a vida útil do empreendimento, foi projetada uma galeria que circundava todo o perímetro do subsolo. Como a ocorrência do fluxo no interior da estrutura de contenção era pontual e distribuída de maneira não uniforme, os estudos se concentram na concepção do sistema filtrante (pré-filtro confinado) no interior da galeria (parede falsa de alvenaria para fechamento).

A solução utilizada foi o sistema com pré-filtro confinado. Nesta concepção do sistema levou-se em consideração as possíveis consequências da erosão interna (piping) a médio e longo prazo, que poderiam causar afundamentos superficiais na vizinhança, principalmente a linha do metrô. Nesse contexto, o sistema de drenagem de pré-filtro foi executado com espessura de 30 cm, brita 2 e geocomposto drenante (GD) com abertura de filtração:

- Sistema filtrante com geossintético, tipo geocomposto drenante – GD, com abertura de filtração  $\Phi > 0,1\text{mm}$  (com a utilização do pré-filtro), levando-se em consideração a condição do solo no local.
- Adoção de GD com  $\Psi_{GT} \geq 1,8 \text{ s}^{-1}$ , Kn (permeabilidade) =  $3,05\text{E}^{-1} \text{ m/s}$  e porosidade do GD  $\geq 50\%$ .

No espaço interno da galeria instalou-se no sistema a parede de confinamento formada por placas metálicas, com função de conter o pré-filtro. A água drenada é canalizada através de tubo tipo Kanadreno, com diâmetro de 100 mm e inclinação de 0,5%, intercalado por caixas de passagem (com função de favorecer a manutenção e regular caimento e diâmetros) até

serem conduzidas aos dois reservatórios de acumulação.

A rede de drenagem linear, tipo trincheiras drenantes, foi ligada a um poço no qual se instalaram bombas de recalque para conduzir as águas drenadas ao sistema público.

A vala escavada para execução da trincheira foi de 40 cm (início de vala), atingindo a profundidade máxima de 90 cm, dependendo do comprimento entre caixas de passagens, considerando inclinação de 0,5%. A largura mínima adotada foi de 40 cm. O objetivo deste sistema foi propiciar um nível mínimo de rebaixamento necessário para proteção da estrutura de contrapiso. Vale lembrar que a profundidade da trincheira define a cota inferior do lençol freático sendo que, na região central, entre duas trincheiras, tem-se o ponto mais crítico no que se refere ao nível do lençol freático.

A execução consistiu na adoção do sistema unidimensional, conhecido como “espinha-de-peixe”, em que as trincheiras estavam paralelas entre si e desembocando em uma rede principal. Em regiões mais críticas e com maior interferência dos blocos de fundações, foi executado o sistema bidimensional em que as trincheiras foram dispostas paralelas e ortogonais entre si, sem que houvesse uma rede principal, de forma que o fluxo tivesse mais de um caminho a seguir no encontro dessas trincheiras (caixas de passagem).

A trincheira drenante foi executada utilizando os seguintes materiais: tubo dreno Kanadreno com diâmetros de 100 mm, 160 mm e 200 mm, brita no 2, geotêxtil MACTEX MT200 (ou similar).

No sistema bidimensional adotado, o critério de caminhamento dos drenos foi feito buscando-se o melhor funcionamento hidráulico e também mais seguro contra eventuais problemas de operacionalidade. Isso porque, além de garantir caminhos alternativos para o escoamento da água, em caso de obstrução acidental de um trecho ou vazão afluyente excessiva, atua também como reservatório de água em casos de falta de energia para o bombeamento do reservatório de acumulação.

O colchão drenante foi executado com uma dupla finalidade, a saber: impedir que as curvas

formadas pelo nível de água dinâmico, entre caminhos paralelos de drenagem, alcançassem a superfície e evitar que o efeito da capilaridade permitisse que a água presente no lençol freático atingisse o subsolo, tornando o ambiente intensamente úmido e consequentemente em condição insalubre.

Neste caso o colchão drenante foi executado com uma camada de geotêxtil não-tecido (camada separadora), uma camada de brita nº 1 de 20 cm e uma camada de lona terreiro dobrada.

O sistema de drenagem possui dois reservatórios com capacidade de armazenagem de 27 m<sup>3</sup> cada. Além disso, em caso de falta de energia, o sistema dispõe de um grupo gerador dimensionado para suprir toda a energia necessária ao funcionamento das bombas. Em teste realizado pela empresa, foi estimado um prazo de 24h para a completa saturação do colchão drenante e para que o nível da água atingisse uma altura de 15 cm acima da superfície.

## 7 CUSTOS

Historicamente, os valores das fundações situam-se entre 3% e 5% do custo total de construção, de acordo com o Guia da Construção, em Fev/2013. Entretanto estes valores dependem da complexidade estratigráfica do local, tipologia das fundações e contenções, bem como a época do ano em que serão executadas as obras de terra.

No Quadro 2 apresenta-se uma análise comparativa entre o empreendimento em estudo (C) e outros três empreendimentos executados pelo mesmo incorporador, com os mesmos padrões construtivos.

Quadro 2. Comparativo de custos incorridos

		Empreendimento			
		A	B	C	D
1	Preliminares e Gerais	19,67%	11,46%	8,62%	8,02%
2	Administração da Obra		11,35%	8,35%	8,96%
3	Fundações/ Contenções	5,72%	3,45%	13,68%	4,66%
4	Estrutura	23,28%	17,07%	24,76%	24,70%
5	Paredes	3,42%	2,56%	3,38%	7,51%
6	Instalações	11,00%	18,56%	10,45%	8,53%
7	Elevadores	3,02%	3,86%	2,73%	2,34%
8	Esquadrias	7,40%	7,56%	5,89%	6,81%
9	Revestimento/ Pavimentações	10,89%	10,59%	10,51%	14,17%
10	Vidros	2,46%	2,93%	1,61%	1,17%
11	Outros	13,14%	10,61%	10,02%	13,13%
12	TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Nota-se, através das informações prescritas no Quadro 2, que as obras de fundação e contenção do empreendimento em estudo somam custos que representam cerca de 14% do valor da obra. Além disso, vale destacar que os quatro empreendimentos possuem, nos demais itens, valores bem mais próximos, com exceção do item 6 – Instalações, que para o empreendimento B alcançou valores acima do esperado. Esse fato é justificado por se tratar de um empreendimento comercial que contou com instalações complexas e não convencionais.

Diante deste contexto pode-se atribuir o elevado custo das fundações e contenções do empreendimento em estudo, as dificuldades do processo construtivo, as características geotécnicas do terreno e as alterações no projeto de arquitetura que foram fundamentais para que as contenções e fundações quebrassem a barreira histórica dos custos.

## 8 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O conhecimento absorvido com a experiência incorporada durante as etapas de escavação, contenção e fundação do empreendimento estudado permite as seguintes conclusões:

- A investigação geotécnica levanta informações que proporcionam a elaboração de um planejamento mais racional do sistema construtivo;
- O conhecimento do perfil estratigráfico do solo deve anteceder à etapa de elaboração do projeto arquitetônico;
- A integração da engenharia e da arquitetura no processo de concepção do projeto arquitetônico elimina grande parte das intercorrências que se apresentam no canteiro de obras;
- Gerenciar a água durante o processo construtivo é um desafio. O rebaixamento provisório do lençol, bem como a logística do canteiro são aspectos que precisam ser resolvidos através de um projeto a ser concebido antes da escavação;
- O lençol freático não deve ser subestimado, pois sua presença pode encarecer consideravelmente os sistemas de fundações e contenções;
- A impermeabilização deve ser prevista na

fase de projeto da edificação, considerando-se que a melhor proteção se dá quando feita na face que tem contato com o solo;

- A experiência de execução de obras abaixo do lençol freático indicam soluções de estaqueamento, tanto para contenções como para fundações, que se limitam a poucas e caras possibilidades, tais como: estacas escavadas com auxílio de lama bentonítica, estacas do tipo raiz, estacas do tipo hélice contínua, estacas cravadas (metálicas ou concreto) e paredes diafragma.
- A instrumentação de empreendimentos com fundações localizadas abaixo do nível da água antecipa medidas corretivas que podem inibir o colapso da estrutura;
- Um empreendimento bem sucedido equilibra as questões comerciais, econômicas e técnicas (engenharia propriamente dita). O objeto de estudo deste trabalho assemelha-se a outros empreendimentos lançados no momento de euforia do mercado imobiliário. Sendo assim, certamente alguns aspectos comerciais prevaleceram na definição do produto.
- Contenções, fundações, drenagem e estrutura seriam mais simples em um projeto com um número menor de subsolos, especialmente se as escavações não ultrapassassem a cota do lençol freático.

Como aprendizado, para que a engenharia e custos decorrentes de suas soluções não sejam subestimados, alguns cuidados devem ser tomados antes da aquisição de novos terrenos e do lançamento de empreendimentos imobiliários. Dentre eles, destacam-se:

- Contratar laudos geotécnicos antes da aquisição de terrenos;
- Quanto mais profunda a escavação, mais complicada e cara é a logística de canteiro. Problemas com movimentação de terra, transporte vertical e horizontal em geral, ociosidade de equipamentos e pessoas são alguns dos aspectos difíceis de mensurar e que agregam custos à obra;
- Toda solução apresentada deve incorporar em sua análise os custos de manutenção decorrentes de sua adoção e as facilidades de acesso e limpeza assim como a perspectiva de sua vida útil;
- Custos não desembolsados durante o

processo construtivo e que serão arcados pelo condomínio, tais como, gestão das bombas de recalque e plano de manutenção (o que inclui os quadros de comando e a inspeção visual das paredes drenantes), devem fazer parte da documentação a ser entregue à comissão de recebimento da obra; e

- Projetos, laudos, garantias dos fabricantes, memórias de cálculo e relação dos fornecedores são documentos que devem ser preservados no arquivo da construtora.

As considerações apresentadas são as que melhor expressam a experiência angariada ao longo desse trabalho, no que se refere à escavação abaixo do nível da água. Infere-se desse estudo que o planejamento prévio de todo o modelo construtivo, ao observar os itens acima destacados, proporcionará a associação da segurança na execução dos serviços com a segurança da estrutura. Dessa forma, conclui-se que a consideração dessas conclusões possibilitará uma efetiva redução dos custos e prazos atribuídos à empreendimentos de complexidade similar.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6122 (2010). *Projeto e execução de fundações*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Bacani, V.M. et al (2004) *Oscilação sazonal do lençol freático da lagoa Salino do Meio, Pantanal da Nhecolândia*. IV SIMPAM – Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, Corumbá, MS.
- CODEPLAN (1984) *Atlas do Distrito Federal*. Governo do Distrito Federal, Brasília, DF, 79p.
- EMBRAPA (1978) *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal*. Boletim Técnico, nº 53, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ, 455 p.
- Mota, N.M.B. (2003) *Ensaio Avançados de Campo na Argila Porosa Não Saturada de Brasília: Interpretação e Aplicação em Projetos de Fundação*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 335 p.