

FUNDAÇÕES EM RADIER SOBRE CAPITÉIS E ESTACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO: UM CASO PRÁTICO DE APLICAÇÃO NO LITORAL NORTE DE SÃO PAULO

ROBERTO KOCHEN¹; CELSO EDUARDO CAMPOS OSSE²; MARCO ANTÔNIO VIEIRA SAMPAIO³; AUGUSTO CÉSAR FABRIN⁴ & ANTÔNIO RIBEIRO JR.⁵

Resumo: A ETE2 Porto Novo, construída recentemente pela SABESP, em Caraguatatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo, foi projetada inicialmente com fundação sobre radier, ligado a estacas profundas. Na construção, pela impossibilidade de se atravessar camada intermediária de areia compacta, as estacas ficaram com ponta assente nesta camada, e sobrejacentes a uma camada de argila mole. Isto levou a uma revisão na concepção das estruturas da ETE, com juntas para flexibilização das mesmas, e na concepção de suas fundações profundas, tendo em vista os recalques decimétricos previstos nesta nova situação. Nesta ETE, foi executada solução não-convencional de fundação, mediante execução de fundação constituída por radier flexível, assente sobre reaterro, sobrejacente a capitéis de concreto armado, colocados sobre estacas pré-moldadas de concreto. As estacas passam a absorver carga como estacas flutuantes, funcionando como elementos redutores de recalques. A ETE foi instrumentada, visando monitorar o comportamento da Estrutura dos Reservatórios e do Radier de Fundação (sobre Capitéis e Estacas Pré – Moldadas de Concreto), durante o enchimento e operação dos reservatórios. O presente trabalho descreve o comportamento observado nos primeiros meses de operação, através das leituras de instrumentação realizadas. É feita uma avaliação preliminar se a obra está se comportando de acordo com o previsto, em termos de recalques, rotações e aberturas de juntas estruturais. Analisa-se também a segurança da operação dos reservatórios durante o período de desenvolvimento dos recalques de longo prazo, devidos à presença de espessas camadas de argila mole no local.

Abstract: Waste Treatment Station Porto Novo, recently built by SABESP at Caraguatatuba, São Paulo North Coast, was initially designed as a radier with deep foundations (concrete piles). Although dynamic load tests confirmed design loads for the piled foundations, conventional load tests showed that these loads were insufficient to support the structure without significant settlements. Further subsoil investigation revealed the presence of a soft clay layer, with 5 meters of thickness, and this layer was responsible for the bad behavior observed in load tests. Structural and foundation design was then reviewed, changing the structure to a flexible one (with joints between reservoirs), and the foundation to a floating one (driven concrete piles not linked to the bottom slab). The reservoir bottom slabs were then conceived as structures with direct foundations, over a compacted earth fill. The earth fill was resting over concrete caps, placed over the driven concrete piles, now performing as floating piles. The waste treatment station was then monitored, to check it's performance under this new and unconventional design concept for piled foundations. This paper presents the behavior observed during the first months of foundation monitoring, as well as an evaluation of long term settlement development, and it's effect under concrete piles tips.

Palavras-Chave: fundações flutuantes; capitéis; estacas pré-moldadas

INTRODUÇÃO

A ETE2 Porto Novo foi construída recentemente pela SABESP, em Caraguatatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo. Essa Estação foi projetada inicialmente com fundação sobre radier, ligado a estacas profundas, resistindo por ponta. Durante a construção verificou-se a impossibilidade de se atravessar camada intermediária de areia compacta. As estacas ficaram com ponta assente nessa camada, e sobrejacentes a uma camada de argila mole. Isto levou a uma revisão na concepção das estruturas da ETE, com juntas para flexibilização das mesmas, e na concepção de suas fundações profundas, tendo em vista os recalques decimétricos previstos nesta nova situação.

Foi adotada solução não-convencional de fundação, mediante execução de fundação constituída por radier flexível, assente sobre reaterro, sobrejacente a capitéis de concreto armado, colocados sobre estacas pré-moldadas de concreto. As estacas passam a absorver carga como estacas flutuantes, funcionando como elementos redutores de recalques.

A ETE2 Porto Novo foi instrumentada, visando monitorar o comportamento da Estrutura dos Reservatórios e do Radier de Fundação (sobre Capitéis e Estacas Pré – Moldadas de Concreto), durante o enchimento e operação dos reservatórios. Para análise do comportamento da estrutura, e acompanhamento da sua segurança operacional, foram utilizados os seguintes instrumentos: MRS – Marcos de Recalque Superficial; PIN – Pinos de Recalque na Estrutura; TAS – Tassômetros (medidores de recalques profundos); TRI – Medidores Triortogonais de abertura de juntas

¹ Prof. Dr., Escola Politécnica da USP; Consultor, EPT-Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S. A. & Diretor Técnico da GeoCompany - Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente.

² Gerente de Departamento, SABESP – Gestão de Empreendimentos no Litoral.

³ Gerente de Obras, SABESP – Gestão de Empreendimentos no Litoral

⁴ Coordenador de Obras, Concremat S. A..

⁵ Diretor Técnico, Alphageos Tecnologia Aplicada S.A..

estruturais (em 3 direções diferentes); e PERF – Perfilagem (medição de deslocamentos totais e relativos, verticais, na estrutura) .

O presente trabalho descreve o comportamento observado nos primeiros meses de operação, através das leituras de instrumentação realizadas. É feita uma avaliação preliminar se a obra está se comportando de acordo com o previsto, em termos de recalques, rotações e aberturas de juntas estruturais. Analisa – se também a segurança da operação dos reservatórios durante o período de desenvolvimento dos recalques de longo prazo, devidos à presença de espessas camadas de argila mole no local.

PERFIL GEOLÓGICO LOCAL

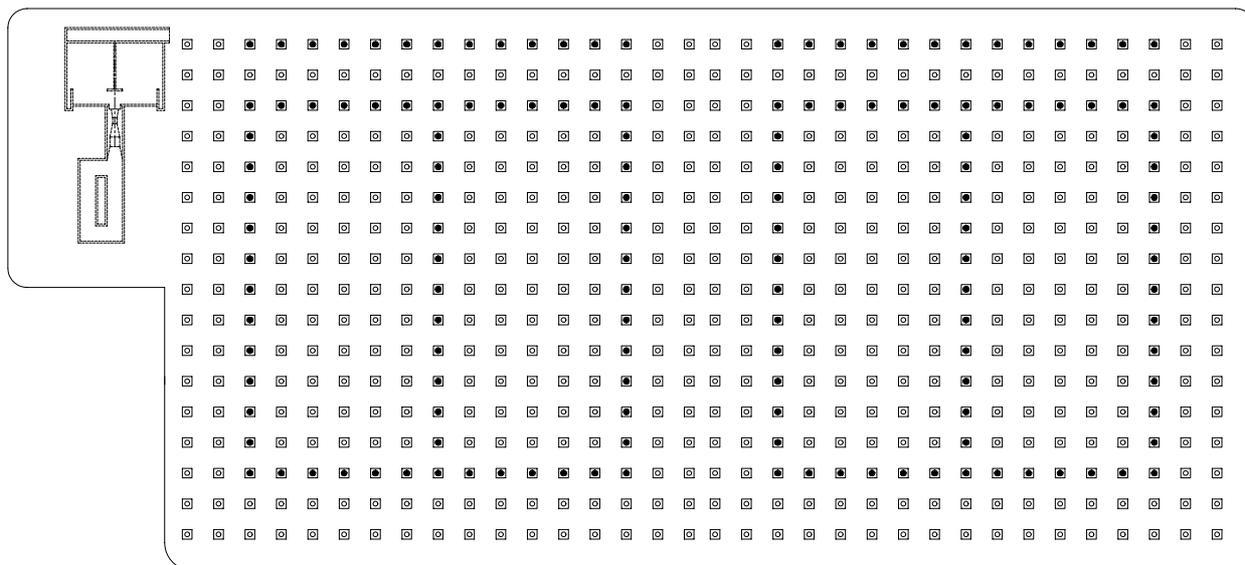
A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE2 Porto Novo) foi implantada em Caraguatatuba, SP; e apoiada em solo geologicamente jovem e inconsolidado, caracterizado por uma grande camada arenosa com intercalações argilosas (argila orgânica mole). Nos primeiros 5 metros predomina areia fofa e na camada intermediária, de 5 a 15 metros de profundidade, areia medianamente compacta a compacta ($10 < SPT < 20$) . Sob essa camada intermediária encontrou-se uma camada de argila mole. A figura 1 apresenta o perfil geológico-geotécnico típico do local.



Figura 1 – Perfil Geológico Geotécnico Típico do Local de Implantação da Obra

ASPECTOS DE PROJETO E CONSTRUÇÃO

A figura 2 mostra um exemplo das lajes dos tanques de decantação, e as estacas previstas no projeto original, como elementos de fundação profunda, Foram previstas estacas pré-moldadas de concreto, para cravação com bate-estacas convencional, de queda livre. O projeto original previu comprimento de 32 m para as estacas. Durante a cravação, face à impossibilidade de avançar às estacas na camada intermediária de areia compacta (para o bate estacas alocado na obra, constituído por um martelo de peso leve para as características das estacas), e estando ocorrendo quebra das mesmas, foi autorizado que as mesmas parassem com cerca de 17 m de comprimento. Os ensaios dinâmicos na época (1998) indicavam que a carga de trabalho atingida era satisfatória. A obra foi então paralisada, por cerca de 2 anos, por razões orçamentárias. Ao se fazerem provas de carga estáticas na retomada da obra (2001), constatou-se insuficiência de carga de trabalho. Foram executadas então novas sondagens, que mostraram a existência de camada de argila mole sob a areia, na região da ponta das estacas, com cerca de 5 metros de espessura.



- CARGA DE TRABALHO = 80 tf (144 ESTACAS)
- CARGA DE TRABALHO = 65 tf (434 ESTACAS)

Figura 2 – Tanques de Decantação - Localização de Estacas (578 Estacas Pré-Moldadas)

Foi executado também ensaio dilatométrico no local, o que levou a uma previsão de recalques elevados no centro da área carregada, e na borda da mesma, devidos à presença da camada profunda de argila mole.

Mesmo com a consideração das estacas como elementos redutores de recalques, os deslocamentos totais seriam da ordem de 55 cm; valor este considerado inaceitável pela SABESP, já que a ETE opera com equipamentos que demandam tubulações, flanges, conexões e ligações rígidas, muito sensíveis a recalques.

Diante do fato das estacas já estarem cravadas, com comprimento insuficiente para aplicação da carga de trabalho projetada (face às condições geológico geotécnicas extremamente desfavoráveis encontradas), foram apresentadas novas alternativas para suas fundações profundas, com mudanças na concepção das estruturas da ETE.

Foi adotado então a solução de laje flexível, com estaqueamento sobre capitéis. Essa solução não-convencional de fundação corresponde à execução de fundação constituída por radier flexível, assente sobre reaterro, sobrejacente a capitéis de concreto armado, colocados sobre estacas pré-moldadas de concreto (Foto 1). As estacas passam a absorver carga como estacas flutuantes, funcionando como elementos redutores de recalques. A estimativa de recalques para essa solução é de 20 cm de recalque total, sendo 15 cm de recalque diferencial entre o centro e a borda do aterro, e recalque diferencial específico de 1:360.

A existência dos recalques levou também a uma revisão na concepção das estruturas da ETE, com juntas para flexibilização das mesmas. O projeto hidráulico (tubulações e afins) também foi adaptado para conviver com esse comportamento, necessitando de uma manutenção mais amigável nos primeiros anos de operação.

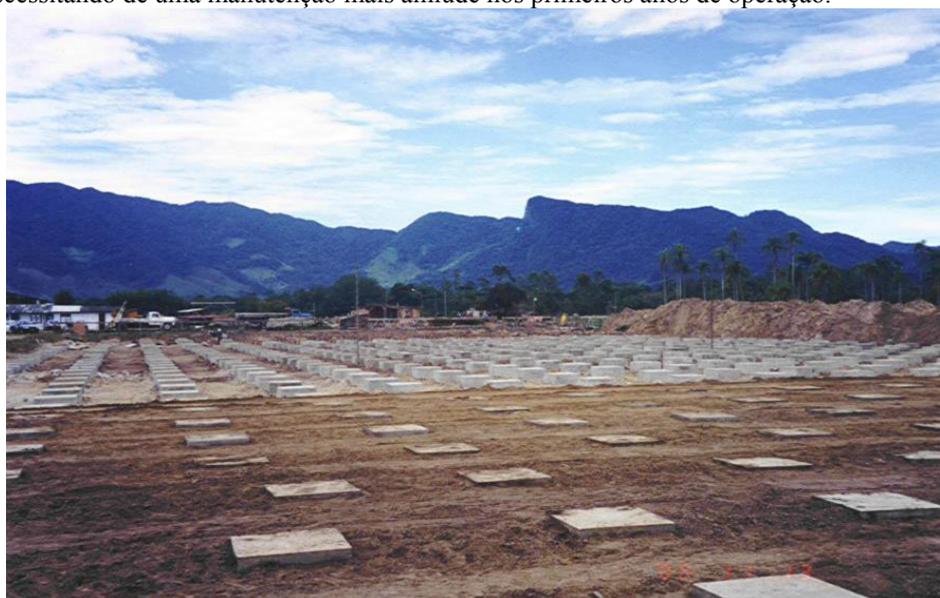


Foto 1 – Vista dos Capitéis sobre Estacas de Concreto Pré-moldadas, com o Reaterro em Execução.

A foto 2 mostra um detalhe do reaterro sobre capitéis, reaterro este que servirá de fundação direta para a laje de fundo dos decantadores. A foto 3 mostra um detalhe da concretagem da laje de fundo, com o concreto magro já colocado, e a armação do engrossamento do radier sobre capitéis.



Foto 2 – Reaterro em execução sobre Capitéis.



Foto 3 – Concretagem de Laje de Fundo, Mostrando engrossamento do Radier sobre os Capitéis.

REVISÃO DO PROJETO ESTRUTURAL

Conforme descrito anteriormente, as estruturas da ETE 2 foram modificadas para atender as novas condições impostas pela sua fundação. A existência dos recalques levou também a uma revisão na concepção das estruturas da ETE, com juntas para flexibilização das mesmas. Para dimensionamento das estruturas foram efetuados modelos matemáticos tridimensionais, para estimativas dos esforços solicitantes. O modelo matemático final considerava todas as condições previstas para a estrutura, como recalques, introdução de juntas e enchimento do reservatório.

A figura 3 apresenta um diagrama obtido na modelagem matemática das estruturas da ETE, correspondente aos momentos fletores na laje de fundo e paredes do reservatório, em uma das direções principais, calculados pelo programa de elementos finitos SAP 2000, para a situação final (reservatórios cheios).

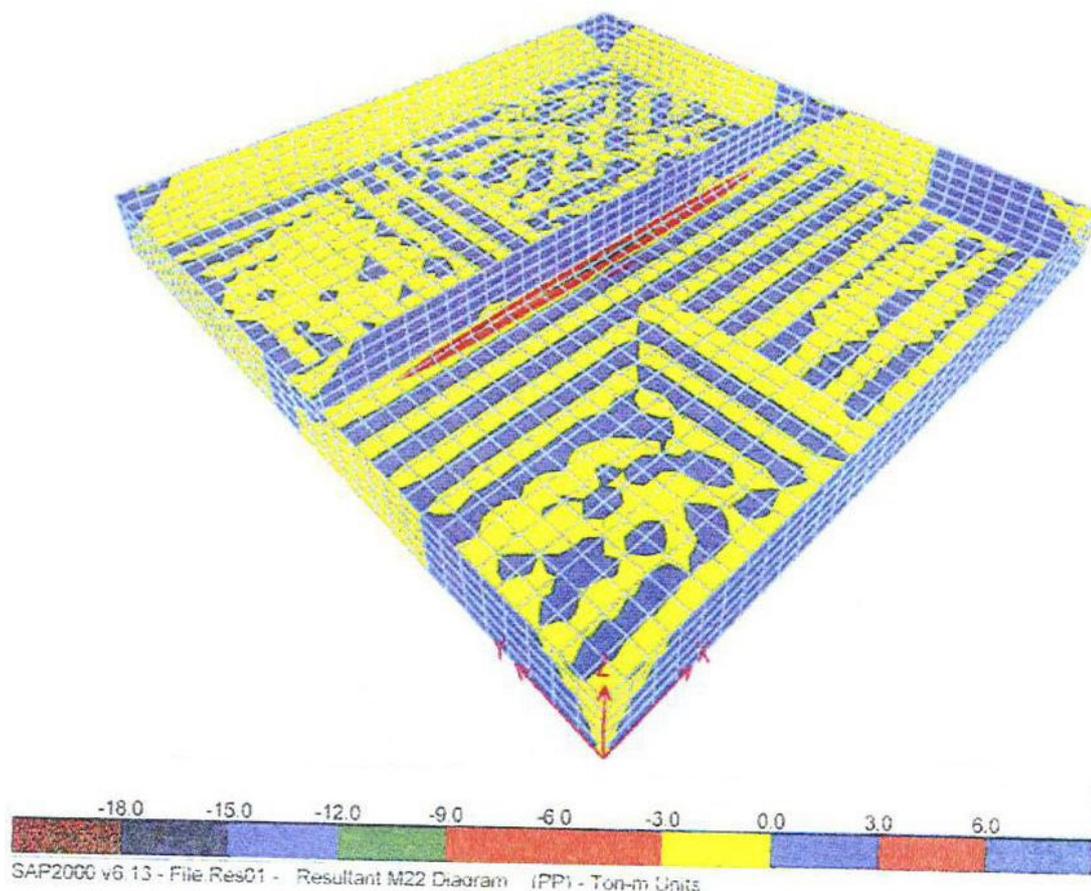


Figura 3 – Diagramas de Esforços Solicitantes (SAP 2000 – Momentos Fletores), considerando os recalques previstos.

INSTRUMENTAÇÃO

Visando monitorar o comportamento da Estrutura dos Reservatórios e do Radier, durante o enchimento e operação dos reservatórios, a ETE2 Porto Novo foi instrumentada. Para análise do comportamento da estrutura, e acompanhamento da sua segurança operacional, foram utilizados os seguintes instrumentos: MRS – Marcos de Recalque Superficial; PIN – Pinos de Recalque na Estrutura; TAS – Tassômetros (medidores de recalques profundos); TRI – Medidores Triortogonais de abertura de juntas estruturais (a perfilagem é feita em 3 direções diferentes); PERF – Perfilagem (medição de deslocamentos totais e relativos, verticais, na estrutura), mediante pinos espaçados de 1 em 1 metro, ancorados nas passarelas e paredes das estruturas de concreto, com amarração topográfica de precisão para os pinos extremos.

Esta instrumentação é essencial para avaliar se a obra está se comportando de acordo com o previsto, em termos de recalques, rotações e aberturas de juntas estruturais, e é essencial para a análise da segurança da operação dos reservatórios durante o período de desenvolvimento dos recalques de longo prazo, devidos à presença da camada de argila mole no local. O acompanhamento da instrumentação está sendo feito de forma sistemática e diária, definindo-se frequências de acompanhamento e leitura em função dos valores lidos no enchimento e início da operação.

RESULTADOS DA INSTRUMENTAÇÃO

Para acompanhar o comportamento da estrutura dos reservatórios e da fundação, foi instalado um sistema de instrumentação geotécnica, que proporcionará uma avaliação dos recalques, rotação e aberturas das juntas estruturais. Até o momento, a estrutura não havia sido carregada, mas já se iniciara a leitura.

A análise da instrumentação levou às seguintes constatações:

- Pinos de Recalque: os pinos instalados na face externa das paredes da ETE detectaram recalques de pequena magnitude, de até 1,5 mm.
- Perfilômetro de Pinos: os perfis detectaram apenas recalques ou deformações de pequena magnitude.
- Marcos de Recalque Superficial: foram instalados na superfície do terreno, ao redor da estrutura, tendo detectado recalques de até 4,0 mm no período. Um dos marcos (MRS-2) acusou um recalque maior(5,5mm), porém o fato foi atribuído ao carregamento provocado por caminhão estacionado próximo ao instrumento.
- Tassômetros: os tassômetros foram instalados ao redor da ETE e apresentam profundidade na faixa de 16,3 a 20,5 m, sendo que suas bases ficaram assentadas a 1 m acima da camada de argila subjacente à areia. Até o momento esses instrumentos não haviam detectado recalques significativos.

- Medidores Triortogonais: esses medidores destinam-se ao monitoramento da movimentação ao longo das juntas estruturais. A ETE encontra-se dividida em 2 compartimentos, cada qual dotado de 2 juntas separando 4 blocos. Então, a estrutura da ETE compõe-se de 8 blocos. Até o momento, enquanto os reservatórios ainda não receberam carga qualquer, os deslocamentos detectados pelos medidores podem ser atribuídos às variações térmicas. Os blocos que apresentaram maiores movimentações foram os de nº 7 e 8 (medidores 4 e 7). O primeiro registrou deslocamento de 2,15 mm (longitudinal), enquanto o último registrou 3,9 mm (longitudinal) e 2,25 mm transversal.

As deformações que foram detectadas até a execução desse trabalho, com os reservatórios vazios, aparentemente retratam apenas a acomodação inicial da estrutura, frente as variações térmicas e às vibrações provocadas pelo tráfego local, ainda sem envolvimento significativo de processos de adensamento de camadas profundas do subsolo.

A figura 4 apresenta a planta de locação dos medidores triortogonais. Nas figuras 5 a 7 os gráficos com as leituras efetuadas em um dos medidores triortogonais.

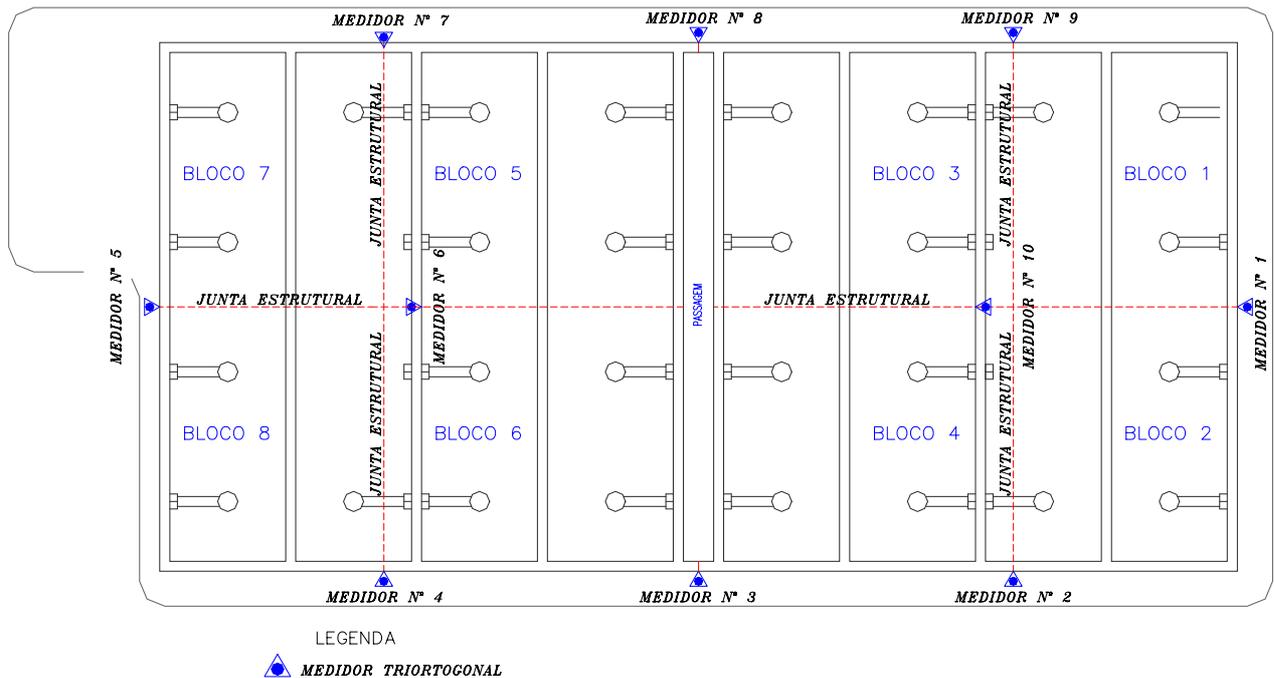


Figura 4 – Planta de Locação dos Medidores Triortogonais

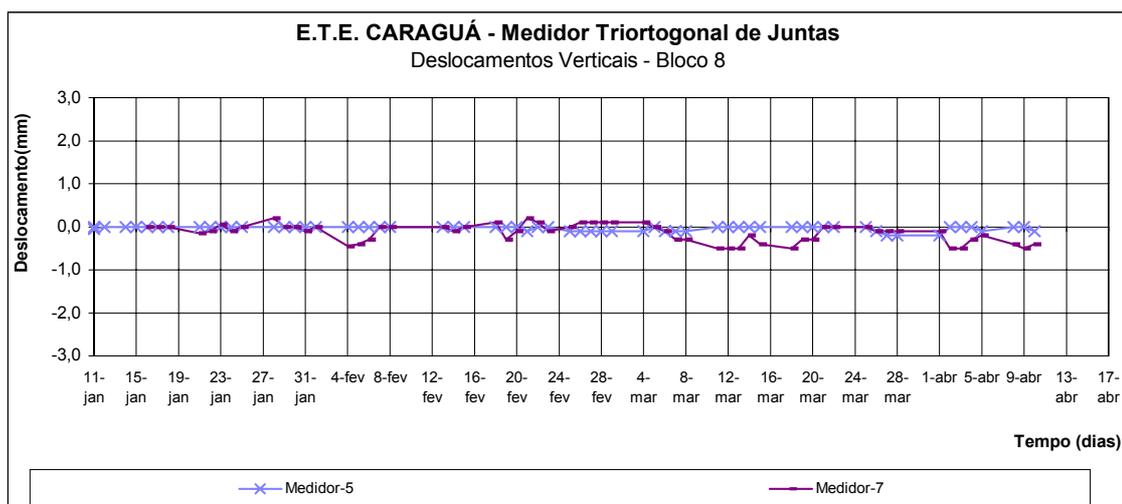


Figura 5 – Gráficos com Leituras do Medidores Triortogonais (Deslocamentos Verticais - Bloco 8)

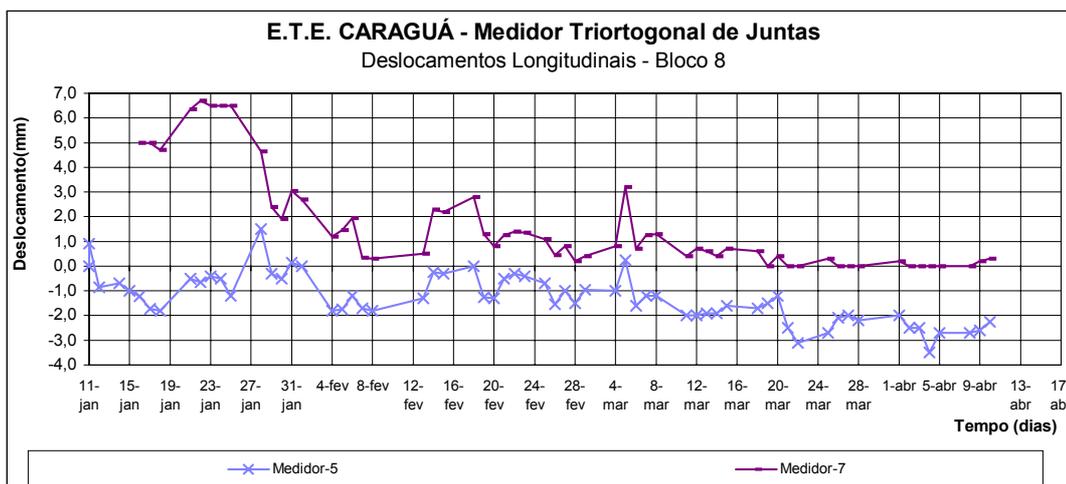


Figura 6 – Gráficos com Leituras do Medidores Triortogonais (Deslocamentos Longitudinais - Bloco 8)

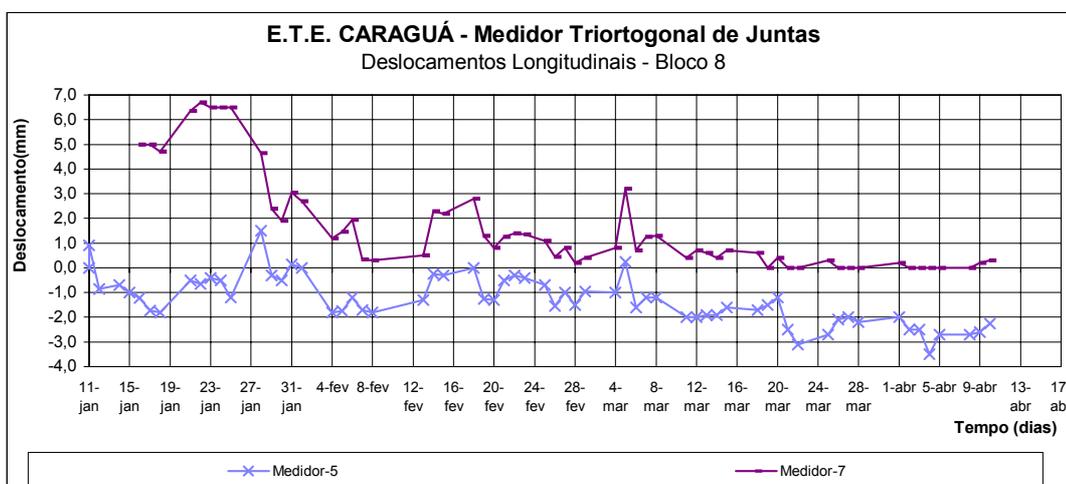


Figura 7 – Gráficos com Leituras do Medidores Triortogonais (Deslocamentos Transversais - Bloco 8)

RESUMO E CONCLUSÕES

A ETE2 Porto Novo representa um desafio à Engenharia Geotécnica Nacional, pela complexidade da geologia local. A mudança da solução de fundação (de estacas de ponta para radier flexível sobre estacas flutuantes, assente sobre capitéis) permitiu realizar a obra sem grandes alterações em relação ao projeto original, com exceção da concepção estrutural dos reservatórios, que mudou de estrutura rígida para flexível.

O comportamento observado até o momento é favorável, permitindo antecipar um comportamento adequado para a estrutura e seus equipamentos, durante a sua vida útil.

AGRADECIMENTOS

À SABESP, pelo apoio na elaboração deste trabalho, e autorização para sua publicação.

ENTIDADES PARTICIPANTES

Proprietário: SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Construção: Construtora Augusto Velloso S. A.

Consultor de Fundações da Construtora: Prof. Araken Silveira.

Projeto Estrutural: Eng. José Márcio Genobre.

Ensaio de Campo na Retomada da Obra: Alphageos Tecnologia Aplicada S. A.

Instrumentação Geotécnica: Alphageos Tecnologia Aplicada S. A.

Consultoria Geotécnica na Retomada da Obra: EPT- Engenharia e Pesquisas tecnológicas S.A.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Relatório de Ensaio de Prova de Carga Estática, relatório AGR/0102-03, 2000– Alphageos Tecnologia Aplicada S.A.
2. Relatório de Acompanhamento da Obra com Instrumentação Geotécnica, relatório AGR/0671, 2002 – Alphageos Tecnologia Aplicada S.A.
3. Relatório Concremat: Metodologia de Cálculo e Critérios Adotados no Dimensionamento das Estruturas em Concreto Armado da ETE2 Porto Novo, Abril de 2001.