

## **TEMA 1 – REFORÇO DE FUNDAÇÕES E CONSOLIDAÇÃO**

# **ESTABILIZAÇÃO DOS RECALQUES DAS ESTRUTURAS DO CANAL DE ÁGUA BRUTA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DO ABV**

### **Autores:**

Eng<sup>o</sup> Araken Silveira - Consultor

Eng<sup>o</sup> Mário Sérgio Azevedo de Oliveira - Diretor da CONTEMAT Engenharia  
e Geotecnia S/A

Eng<sup>o</sup> Humberto Caminha da Silva - Diretor Técnico da TECPONT Engenharia  
de Projetos S/C Ltda

## **SINOPSE**

O presente artigo trata dos serviços de sub-fundações e tratamento do sub-solo, utilizados na consolidação de estruturas da Estação de Tratamento de água, do Alto da Boa Vista, da SABESP, em São Paulo, em situação de emergência, devido à gravidade do problema e dos riscos envolvidos. É analisada a formulação das soluções usadas após breve resumo histórico e apresentadas as fases executivas. Foi utilizada a técnica do Jet-Grouting, considerada sob vários aspectos, decorrentes dos próprios desenvolvimentos, o que demonstrou a grande versatilidade do processo e a sua grande adequação a problemas semelhantes.

O êxito conseguido no enfrentamento do problema deveu-se, em grande parte, à mobilização imediata de pessoal e recursos, que possibilitaram o desenvolvimento de análises estruturais paralelas, interpretação contínua da instrumentação instalada e acompanhamento constante da execução e dos resultados obtidos.

### **1. Introdução**

Em julho de 1999, a Estação de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista, da SABESP, apresentou um sério problema de recalques diferenciais em sua estruturas principais de adução de água bruta, que caminhava rapidamente em direção ao colapso, colocando em risco o abastecimento de mais de 3 milhões de pessoas, fora as consequências materiais e diretas envolvidas. Esse evento provocou uma mobilização geral da SABESP, a fim de contornar o problema, com a urgência necessária e sem interrupção do fornecimento. Além do seu próprio pessoal, a SABESP contou com a participação ativa do seu quadro de consultores, da CONTEMAT e da TECPONT, conseguindo-se dessa forma, e através de um grande esforço, que exigiu o empenho ininterrupto de 24 horas por dia, durante vários dias, a superação do problema, sem qualquer trauma ou prejuízo para a população.

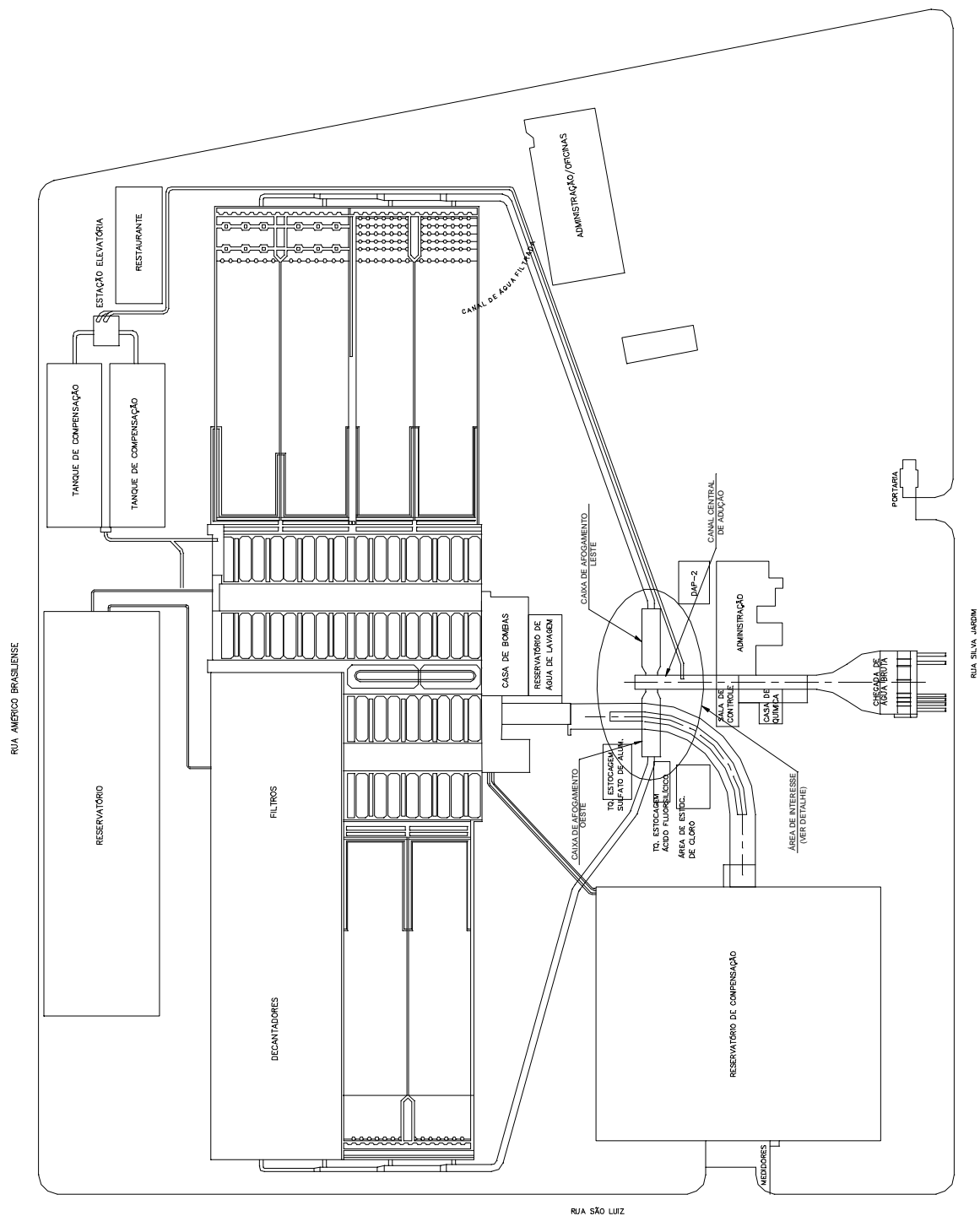
Os aspectos mais relevantes e que puderam ser contidos no espaço disponível encontram-se resumidos nos itens que se seguem.

### **2. Histórico**

Para um bom entendimento do problema há necessidade de um breve apanhado histórico. A Estação de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista, da SABESP, passou por várias fases de recuperação e de ajustes para aumentos de produção. A última mais significativa terminou em fevereiro de 1984, a partir de quando já haviam sido observadas pequenas movimentações em algumas estruturas e notadamente na região de ligação do canal central de adução com as caixas de afogamento leste e oeste (ver fig.1 e 2), o que ocasionou a instalação de instrumentos para o monitoramento dessas movimentações. As leituras, apesar de terem sido feitas de forma sistemática, não foram submetidas a análises interpretativas mais cuidadosas, tendo inclusive indicado comportamentos contraditórios que não permitiriam a formulação de conclusões consistentes a respeito. De qualquer maneira foram detectadas movimentações importantes principalmente ao longo das juntas. Um relatório final de acompanhamento técnico de julho de 1988, apontava a ocorrência de recalques diferenciais entre as estruturas, com indícios de rotações nas juntas. Pela primeira vez foi seriamente considerada a possibilidade de rutura dessas juntas, do tipo Fungenband, tendo sido recomendado e executado um reforço através da incorporação de novas juntas elásticas tipo JEENE. Aparentemente, entretanto, a situação parece ter sido considerada sob controle e com tendência de estabilização. As leituras dos instrumentos passaram a ser mais espaçadas e menos interpretadas, até que no dia 06/07/1999 foram observadas movimentações sensíveis na região de ligação acima mencionada, a ponto de ter havido a rutura de uma das tubulações de produtos de tratamento, fixada nas estruturas.

### **3. A Emergência de Julho de 1999.**

Os acontecimentos do dia 06/07/1999 desencadearam uma fase emergencial, tendo sido mobilizados todos os setores interessados, da SABESP, que imediatamente perceberam a gravidade da situação. As observações foram intensificadas e passaram a ser feitas de maneira contínua, iniciando-se o contato com empreiteiros e fornecedores, para serem providenciados e disponibilizados, equipamentos e materiais, para o enfrentamento da situação, já caracterizada como de emergência e formalizada como tal em reunião realizada em 09/07/1999. Nessa reunião foi exposta a situação, foram analisados os dados existentes e foram tomadas as providências concretas para a solução do problema.



**Fig. 1 – Arranjo Geral da ETA-ABV.**

#### 4. A caracterização do problema

A região crítica foi rapidamente identificada como a região de ligação entre o canal central e as caixas de afogamento.

Nessa região há uma conjugação de fatores que contribuíram significativamente para o ocorrência do problema, na forma verificada. O canal central é antigo, constitui uma estrutura original e tem fundação direta (laje de fundo apoiada diretamente no solo natural). As caixas de afogamento são estruturas mais recentes, decorrentes da última fase de ajustes, sendo que a caixa leste também é apoiada diretamente no solo, enquanto que a caixa oeste, em função da necessidade de ter que passar por sobre o canal de água tratada, recebeu um tratamento diferenciado, resultando apoiada apenas nas extremidades, sobre estacas. Na realidade, a extremidade do canal é constituída por uma caixa de ligação, dispondo de juntas nas uniões com as caixas laterais. (ver fig. 2).

Nessa região crítica, portanto, existem três situações de apoio, distintas, o que, fatalmente deveria conduzir a comportamentos diferentes, com grandes riscos de ocorrência de recalques diferenciais. Esses recalques diferenciais, acompanhados de pequenas rotações se mantidos dentro de certos limites, absorvíveis pelas juntas, não teriam maiores consequências. Ultrapassados esses limites, entretanto, seriam ocasionadas ruturas localizadas nas juntas, com conseqüentes vazamentos concentrados (ver foto ao lado).



Esses vazamentos, por seu turno provocariam perda de capacidade de suporte dos solos, por efeito de saturação, além de produzirem vazios, por efeitos de erosões internas, principalmente através de percolações preferenciais nos contatos com estruturas e tubulações enterradas. Na realidade, todos os indícios e todas as observações feitas conduziram à indicação da ocorrência de tal fenômeno, como acima descrito. Tal fenômeno, como é sabido, tem caráter nitidamente instável, ou seja, os efeitos visualizados acentuam as movimentações relativas e os recalques diferenciais, que ampliam as ruturas e os vazamentos e assim por diante, até o advento do colapso total, que, além dos prejuízos materiais que seriam causados às estruturas em questão bem como às localizadas a jusante, implicaria na paralisação total da estação, com a conseqüente falta de água a uma população de cerca de 3 milhões de pessoas. Esse colapso, portanto, deveria ser evitado a todo o custo e todos os esforços foram dispendidos na consecução desse objetivo. Como corolário e agravante sério, as soluções deveriam se processar com a estação em operação, permitindo-se apenas pequenas paralisações, devidamente programadas e em horários restritos. A foto ao lado indica a situação a que chegou uma das juntas na sua parte superior, observável diretamente.

A análise dos resultados das sondagens executadas na área e em suas proximidades, ao longo dos anos, em confronto com os resultados de sondagens, executadas atualmente, indicaram algumas diferenças, muitas delas, provavelmente, decorrentes já dos efeitos dos vazamentos ocorridos. É bem provável, também, que esses vazamentos, em níveis muito menores, já estivessem ocorrendo há algum tempo. No momento atual o sub solo local pode ser caracterizado como sendo constituído por camadas superiores de solos argilo-siltosos, de consistência mole à média, com intercalações de lentes de areia e siltes argilosos fofos a pouco compactos. Esses pacote superior atinge cerca de 10m de profundidade. A partir daí, as argilas siltosas que seguem, apresentam consistências médias, passando a rija e dura apenas após os 25m de profundidade. Além dos 25m também surgem lentes de areias compactas á muito compactas, com espessuras variáveis e totalmente ausentes em alguns pontos. Como pode ser visto, o sub solo local é relativamente homogêneo, sobretudo em termos de consistência e compacidade, sendo que, de uma maneira geral, a capacidade de suporte dos solos superficiais é baixa, sendo ainda relativamente compressíveis e com tendência á colapsibilidade.

## 5. As soluções

Diante da situação descrita nos itens anteriores, o problema foi exaustivamente discutido, tendo-se concluído pela urgente necessidade de:

- a) sustação imediata das movimentações, através da sub-fundação das estruturas;
- b) programação de paradas rápidas do sistema, para esgotamento dos canais de forma a se poder iniciar a vedação e a recuperação das juntas e de eventuais fissuras ou trincas.

As sub-fundações só poderiam ser executadas pelos lados de fora e, assim mesmo, com várias restrições de espaço e acesso.

As paradas deveriam ser rápidas, não devendo ultrapassar, no total, um período de 6 a 7 horas, o que deixaria livre, para trabalho, cerca de 3 a 4 horas.

O exame das peculiaridades envolvidas e que serão vistas mais adiante, indicou como mais adequado o uso de colunas injetadas (Jet-Grouting), para o reforço das fundações.

Em função dessa decisão, a CONTEMAT, firma contratada para a execução dos serviços, colocou em campo, imediatamente, dois equipamentos completos. Esses equipamentos foram escolhidos de forma a garantirem uma grande mobilidade operacional, a fim de se adaptarem as restrições existentes e levando-se em conta a necessidade prevista de operarem com várias inclinações, inclusive na horizontal. Além disso foi mobilizado, em conjunto com a SABESP, pessoal e material para o reparo das juntas.

A idéia básica era a de procurar propiciar suportes imediatos para as paredes dos canais, introduzindo, ao mesmo tempo, e tanto quanto possível, alguma consolidação no solo de apoio.

Essa consolidação se mostrava necessária, em função de vários fatores intervenientes e que ficarão mais claros durante a descrição das fases executivas.

Em termos de solução, como já visto, a primeira intenção era procurar sustar ou diminuir os recalques, apoiando as paredes laterais, seja por facilidade executiva, seja pela rigidez disponível.

Essa providência, entretanto altera as condições de carregamento, principalmente das lajes de fundo. O problema do apoio das lajes de fundo, neste caso se agravam pelo fato da criação e do desenvolvimento de vazios sob elas, por efeito dos vazamentos, distribuídos erráticamente e sem possibilidades de identificação, quanto a posição, formas, dimensões, etc.

Em paralelo e também como a urgência necessária a TECPONT procedeu a uma análise estrutural através do levantamento dos projetos existentes e de sua re-análise em função das reais condições existentes. Chegou-se através desses estudos à conclusão de que, para efeito de suporte, a laje de fundo do canal central não se mostrava crítica. Entretanto, as condições dos carregamentos atuais a que esse canal se encontrava submetido, e que diferia das iniciais, apresentava alguns problemas de deformação, não previstas e que aliado à falta de suporte não se mostrava muito confortável, tendo-se concluído, portanto, pela necessidade de se procurar um apoio também para a laje de fundo e de se aliviar o que fosse possível em termos de solicitação da estrutura.

Com relação à caixa de afogamento leste, a situação estrutural se mostrou mais tranquila, porém, devido à sua maior largura a laje de fundo resultava mais solicitada e já próxima do seu limite de utilização, requerendo, portanto, reforço no seu apoio.

Como será visto no item seguinte, as primeiras colunas injetadas mostraram muita dificuldade para serem completadas, em virtude das grandes fugas de material, observadas, devido às percolações preferenciais já francamente estabelecidas. Esse fato evidenciou de maneira clara, a suspeita de existência de vazios sob as lajes.

Para o canal central foram programadas colunas inclinadas executadas por fora, com a menor inclinação possível, com a horizontal, limitadas pelas disponibilidades de espaço. Essas colunas que, na realidade não constituíam colunas inteiras, propriamente ditas, dependendo dos vazios encontrados, foram previstas para serem cruzadas e tiveram que ser ajustadas na medida em que eram executadas. Assim, por exemplo, quando as perdas se mostravam excessivas a operação era interrompida e programada por fases. Na maioria dos casos foi mantida a rotação normal de ponta, mas foram também intercalados elementos com a ponteira fixa, tipo painel, para preenchimentos intermediários. Veja foto em seqüência.



Com relação à caixa de afogamento leste, a solução com elementos inclinados não se mostrou adequada devido à sua maior largura. Aproveitando-se do fato de um dos lados ser relativamente livre, foi projetada a execução de colunas horizontais, em arco, tipo enfilagem, para se obter o apoio desejado. Para tanto houve necessidade de um ajuste prévio do terreno lateral.

A regularidade de projeto não pôde ser mantida integralmente, devido a outras interferências, que exigiram ajustes localizados. Apesar disso, os resultados obtidos cumpriram a finalidade estabelecida, graças à flexibilidade do procedimento.

No que se refere aos tratamentos das juntas, elas só seriam possíveis com os canais e as caixas já esgotadas o que exigiria a parada do sistema que, como já visto, seria muito limitada.

A previsão era de tratamento com Pó 2 e injeções de poliuretano.

Na medida em que as soluções foram sendo propostas elas foram sendo implantadas imediatamente, sofrendo os ajustes necessários em função dos resultados obtidos e das análises paralelas em desenvolvimento. Todo esse procedimento foi muito ágil, premido pelas circunstâncias, o que não impediu que o problema fosse analisado com a profundidade requerida. Apenas a título de exemplo, o canal central teve seu projeto reanalisado, para confrontá-lo com a situação atual, que difere da original. Assim sendo pôde ser verificado que:

- a) a laje de fundo apresenta um vão teórico de 4,7m, possui armadura numa só direção e é engastada nas paredes;
- b) a baixa capacidade de resistência da laje implica na adoção da hipótese de compensação das pressões atuantes no fundo e do equilíbrio dos empuxos externos de terra, como os internos de água;
- c) a maior densidade de armadura na direção horizontal pressupõe o cálculo dos painéis de parede como laje apoiada nos contrafortes, parcialmente engastados nas lajes de fundo e de cobertura;
- d) os vínculos efetivos resultantes para os contrafortes e sua rigidez real, reduzida pelo fato de não compor um quadro fechado, não fornecem o suporte vertical admitido (ver fig. 4).

Análises de compatibilização realizadas em modelos espaciais indicaram que, para níveis de segurança aceitáveis, a altura máxima da lâmina d'água no canal deveria ser de 5,0m e as alturas dos aterros laterais, de ambos os lados, não deveriam ser superiores a 4,0m. Atualmente o canal se encontra com aterros laterais com alturas de 3,0 e 7,0 m, em cada lado e a lâmina d'água no canal, em média, supera os 5,0m. Além disso o canal estava solicitado com uma sobrecarga de cerca de 0,5m de altura, proveniente de terra colocada sobre a laje de cobertura (retirada durante os serviços). Esses tipos de análise, aliados à interpretação dos resultados das medições, continuamente em processamento, e dos próprios resultados dos tratamentos em execução é que puderam orientar a solução e as suas adaptações ao longo de todo o processo de consolidação. Os principais elementos constantes das soluções propostas encontram-se indicados nas figuras 2 e 3.

## 6. A execução

A execução dos serviços foi desenvolvida, como visto anteriormente, *pari passu* com as indicações das soluções e, naturalmente, se iniciou pela parte mais crítica, correspondente à extremidade do canal central, que apresentava os maiores recalques e as maiores velocidades de recalques, que chegaram a 1,5 cm/dia, com tendência de crescimento. Também como já visto nos primeiros elementos injetados houve uma certa dificuldade para completar as colunas, devido aos fortes vazamentos que ocorriam na área. De qualquer maneira, esses primeiros elementos, mesmo não totalmente operantes já iniciavam o processo de consolidação do solo de fundação.

Foi então programada uma primeira parada, que teve dupla finalidade: iniciar o tratamento das juntas, para diminuição ou alívio temporário dos vazamentos e eliminação temporária das percolações, para finalização e consolidação dos primeiros elementos. Com isso se conseguiu a reversão na aceleração dos recalques e a situação começou a ficar sob controle. A parada mostrou ainda a total rutura das juntas, principalmente no nível das lajes, onde os desníveis observados eram de 15cm entre o canal central e a caixa oeste e de 5 cm entre o canal central e a caixa leste. Partindo-se do pressuposto que a caixa oeste deve ter sofrido recalques muito pequenos por se encontrar estaqueada, o recalque do canal central era de 15cm e o da caixa leste de 10cm, confirmando as previsões de comportamento. Depois de estabilizado o recalque do canal central chegou a 19cm. As ações continuaram concentradas na região mais crítica prosseguindo ao longo do canal central para montante. Apesar da diminuição na magnitude das movimentações, elas continuaram existindo, a ponto de provocarem novas ruturas nas juntas, que obrigaram a execução de mais dois reparos e, portanto, mais duas paradas programadas. Atingido um ponto considerado satisfatório, na sustentação das paredes laterais do canal central, foram iniciados os serviços de apoio da laje de fundo e preenchimento dos vazios, através das colunas e dos painéis inclinados. Atingido um nível considerado satisfatório foi iniciado, em paralelo, a sub-fundação das paredes laterais da caixa leste, precedida das respectivas análises estruturais, para exame da situação da sua laje de fundo. Apesar do maior vão, as condições estruturais, no caso, eram melhores, permitindo a convivência, por algum tempo, com apoio parcial e desde que os vazamentos fossem mantidos sob controle.

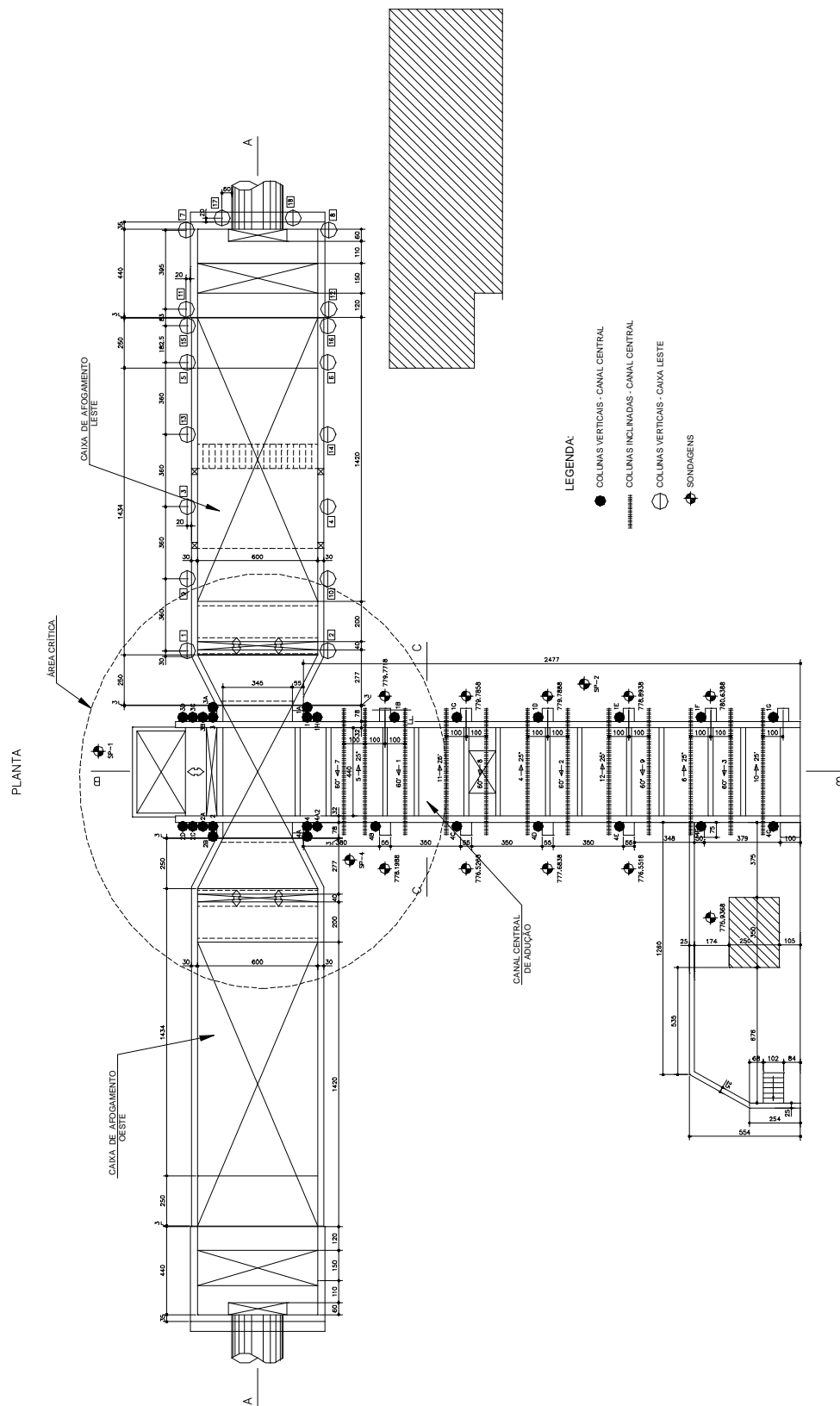
Com a consolidação dos apoios das paredes laterais do canal central e da caixa de afogamento leste e com a maioria do tratamento de preenchimento dos vazios e conseqüentemente de recomposição do suporte da laje de fundo do canal central, as movimentações iniciaram um nítido processo de estabilização, podendo, então, a obra ser considerada totalmente sob controle. Seguiu-se então uma fase de consecução do apoio da laje da caixa leste, através de elemento horizontais, em arco e de reforço na região crítica, com a inserção de novas colunas verticais, executadas, agora, em melhores condições.

Os arcos acima referidos foram programados para se apoiarem parcialmente em estacas verticais, mais no sentido de se combater deslocamentos horizontais. Conforme já mencionado esses arcos tiveram que sofrer alguns reajustes localizados, devido à interferências, mas o resultado final se mostrou perfeitamente adequado.

A fase crítica demandou cerca de 15 dias, quando os serviços se desenvolveram de forma contínua, sem interrupções, tanto a nível de execução como de análises e interpretação.

A situação se mostrou totalmente sob controle após 1 mês, demandando mais 1 mês para a finalização dos serviços. A emergência pôde então ser levantada, passando a Estação a ser operada normalmente.

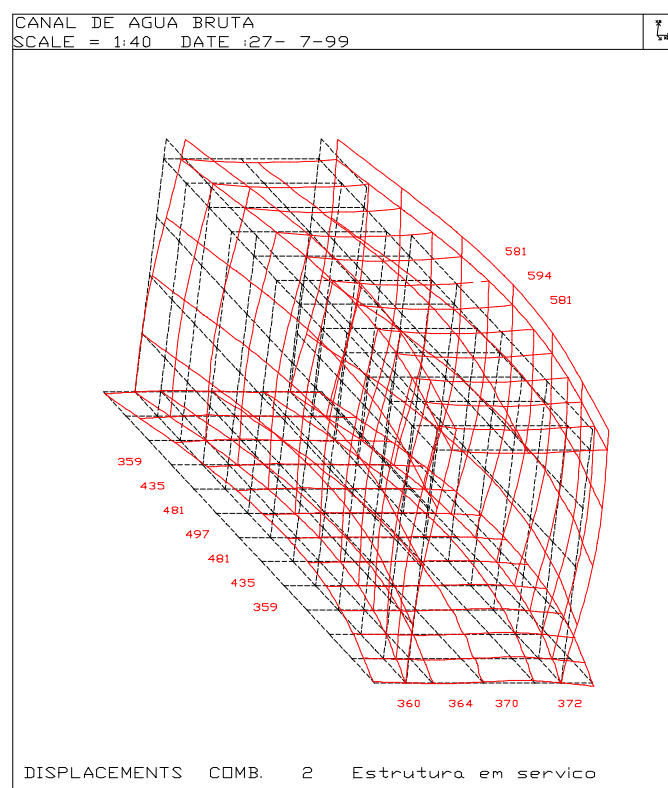
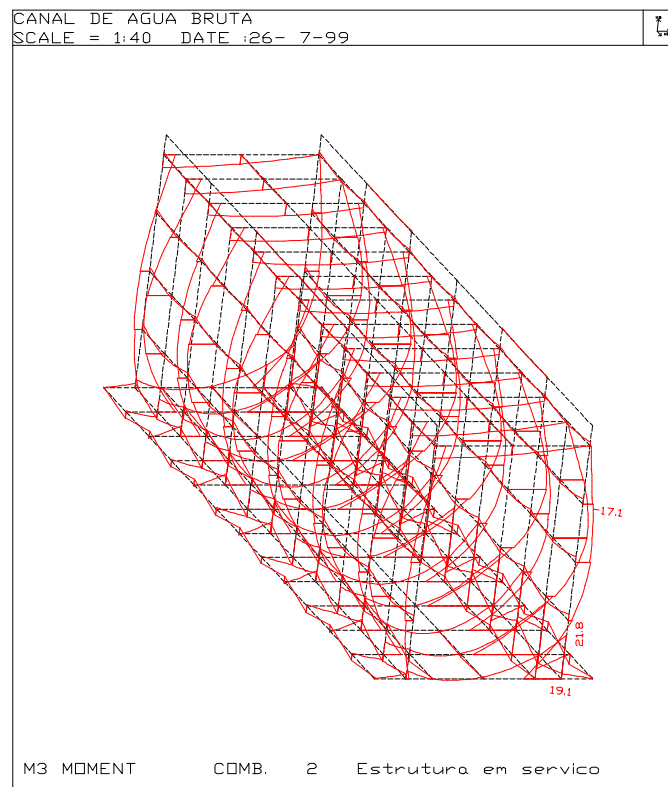
Tendo-se em conta, entretanto as condições em que as reparações nas juntas foram feitas, elas devem ser mantidas sob observação, tendo resultado a recomendação de verificações periódicas, diretas, de seus estados. Além disso, foi recomendada a instalação de drenos ao longo dessas juntas, com saídas facilmente observáveis e que possam servir para detectar qualquer vazamento, em seu início.



**Fig. 2 – Detalhe da Área Crítica – Planta  
Indicação do Reforço**







**Fig. 4 - Diagrama de esforços e deformações da estrutura espacial.**

## **7. Considerações finais**

Os serviços de recuperação e consolidação de algumas estruturas da ETA-ABV, da SABESP, em condições especiais e em regime crítico, oferecem uma oportunidade para reflexões em torno do uso e da eficiência do Jet-Grouting, como tratamento mais generalizado, no campo das fundações, que é o objeto do presente seminário.

Apesar de, inicialmente neste caso, ter sido a solução básica encaminhada em torno do uso da técnica do Jet-Grouting, para a obtenção de colunas injetadas, como é normalmente utilizada, esse processo se mostrou muito útil, no desenvolvimento dos serviços, para atendimento de outras fundações, que se mostraram igualmente importantes.

Como pode ser visto, pelo exposto, a técnica do Jet-Grouting foi usada fundamentalmente, em sua forma tradicional, como coluna, com função de estaca como elemento de sub-fundação. Além disso, foi utilizada como elemento de consolidação do sub-solo, não mais como totalmente em coluna, como preenchedor de vazios irregulares, como interceptador e compartimentador de vazios, sob a forma de painéis e como enfilagem permanente, para uniformização do suporte da laje.

O sucesso obtido no enfrentamento dessa situação de emergência, demonstrou não só o certo das providências tomadas pela SABESP, como atestou a grande flexibilidade da técnica do Jet-Grouting e a sua grande utilidade na superação de situações difíceis onde se exige grande poder de adaptação, em função de ações e decisões que têm que ser tomadas no ato.

Para isso se exige o uso adequado dos procedimentos, o bom entendimento do processo e o domínio da técnica envolvida, atributos que deveriam sempre pautar a Engenharia de Fundações.