

PROVAS DE CARGA ESPECIAIS NAS ESTACAS DE GRANDE DIÂMETRO DO PORTO DO RIO GRANDE

SPECIAL LOAD TESTS ON LARGE DIAMETER PILES OF THE PORT OF RIO GRANDE

Paulo Dantas da Rin, Eng. Civil
Eng., PORTOBRÁS

Luiz Augusto de Barros, Eng. Civil
Eng., Construtora Andrade Gutierrez

Luiz Guilherme F.S. de Mello, M.Sc.
Eng., Victor F.B. de Mello e Associados

Recebido em 25/04/83

SUMÁRIO

O presente trabalho descreve os critérios que norteavam as decisões de projeto, aspectos executivos e observações de comportamento das fundações de um silo de grandes dimensões.

As fundações foram executadas através de estacas escavadas de grande diâmetro, com cerca de 60 m de profundidade, através de terreno sedimentar constituído de camadas de areia e argila orgânica.

Ênfase especial é dada à discussão de provas de carga especiais que foram executadas, bem como a observação do comportamento das fundações durante a construção da superestrutura do silo.

SUMMARY

The scope of this paper is to describe the criteria that guided the design decisions, execution aspects and the observations of the performance of the foundations of a large dimensions silo.

The foundation consists of large diameter bored piles, up to 60 m deep through layers of sand and organic lay.

Special emphasis is given to the discussion of special load tests as well as to the observation of the foundation performance during the construction of the silo superstructure.

1. INTRODUÇÃO

A implantação dos silos do Terminal de Trigo e Soja do Superporto do Rio Grande requereu estudos especiais para a otimização do projeto, da construção e comprovação do comportamento de suas fundações.

O trabalho elaborado por Dias (1979) contém uma rápida apresentação da estrutura, do subsolo e a previsão e comportamento de duas provas de carga realizadas em estacas de fundação.

Através do presente trabalho pretende a proprietária, PORTOBRÁS – Empresa de Portos do Brasil, aprofundar a discussão a partir de no-

vos resultados de ensaios realizados, pretendendo sintetizar parte da experiência adquirida durante o andamento da obra em questão, colocando tal informação à disposição da classe. Tais estudos se fizeram necessários face às características geológicas do local, com substrato sedimentar argiloso, tido como normalmente adensado a grandes profundidades, sendo solicitado pela terraplenagem da área e, assim, gerando carregamento por atrito negativo nas fundações profundas.

2. CARACTERÍSTICAS DO SUBSOLO

A intercalação de horizontes arenosos e argilosos de origem sedimentar até cotas inferiores a 60,0m, características de grande parte da orla marítima brasileira, está sintetizada no perfil geotécnico da Figura 1, através de resultados de sondagens a percussão SPT e ensaios de penetração estática (deep-sounding). Os perfis apresentados podem ser considerados representativos de toda a área.

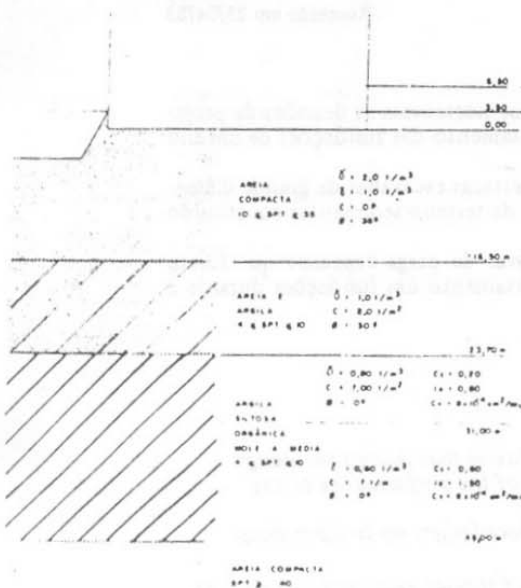


Fig. 1 - Perfil típico do subsolo

Já durante a fase de Projeto Básico os projetistas demonstraram preocupação quanto ao estado de adensamento da camada de material argiloso, face à possibilidade da mesma sofrer recalques quando submetida a carregamento devido ao aterro, de aproximadamente 6 metros, necessário face aos acessos rodoferroviários do complexo.

Assim sendo, amostras tidas como indeformadas (amostrador Shelby) foram coletadas e ensaiadas tanto na referida fase de projeto quanto para o detalhamento do Projeto Executivo.

Ensaio edométrico realizados em amostras coletadas de diversas profundidades forneceram um panorama não conclusivo sobre o estado de adensamento da argila. Supõe-se que dificuldades de amostragem, em sua inexorável tendência a piorar as amostras, assim como o diâmetro das amostras ensaiadas, tenham levado aos resultados obtidos. Concluiu-se, entretanto, que, caso as argilas estivessem sobreadensadas, a razão de sobreadensamento (OCR) seria pequena.

A Projetista optou, como decisão de projeto, por considerar a camada argilosa como normalmente adensada, convergindo portanto para a necessidade da consideração do seu recalque por adensamento no estudo global das fundações.

Considerações apresentadas por consultor especializado (Victor F.B. de Mello e Associados) levaram à possibilidade de interpretação dos dados existentes como sendo de camada argilosa ligeiramente pré-adensada. Tal contribuição não foi diretamente aplicada no estudo das fundações em questão tendo, entretanto, gerado um programa especial de investigação através de provas de carga especiais e instrumentação da estrutura, conforme descrito a seguir, visando coletar dados que permitam otimizações de outras estruturas a se implantar na região.

No perfil simplificado do subsolo (Fig. 1) apresenta-se uma síntese das propriedades dos solos típicos, conforme interpretação dos projetistas para utilização no projeto.

3. ESTUDO DAS FUNDAÇÕES

O estudo das fundações dos silos excluiu desde sua fase inicial a possibilidade de utilização de um apoio superficial, face aos recalques absolutos e diferenciais gerados na camada argilosa pelo silo propriamente dito, que aplicaria uma tensão média na base de cerca de 40t/m², e pelo aterro.

Várias alternativas de fundações profundas foram analisadas, sendo que, no projeto executivo, convergiu-se para a adoção de estacas escavadas com auxílio de lama bentonítica, de grande diâmetro.

Estimativas dos recalques finais de acordo com a teoria de adensamento, geradas na área dos silos somente devido ao aterro, conduziram a valores entre 10 e 20 cm. Tais valores levaram os projetistas a incluir uma parcela adicional de carregamento nas fundações devido ao atrito negativo.

A análise das cargas levou os projetistas a utilizarem os valores, por estaca, de:

peso próprio da estrutura: 260t
carga operacional: 370t
atrito negativo: 290t

tendo sido a parcela de atrito negativo estimada a partir do método proposto por Zeevaert (1973).

Desde o início do seu apoio à Proprietária, o consultor ponderou que:

(a) O recalque das estacas como comportamento unitário e para os carregamentos descritos atingiria valores entre 1,5 e 6,0 cm, conforme estimativas realizadas por métodos elásticos (Pells e Tuner, 1978).

(b) O recalque do grupo de estacas poderia atingir valores entre 5,0 e 10,0 cm.

(c) O comportamento da estacaria seria fundamentalmente condicionado por problemas de recalques. Considerando que a aplicação da carga operacional é cíclica (funcionamento do silo), caberiam sofisticadas considerações quanto ao comportamento tensão-deformação das estacas e do terreno circundante cedendo lentamente. Discutiu-se na oportunidade que tal fator cíclico do carregamento repetidamente provocaria a liberação do atrito negativo, por inversão dos movimentos relativos estacaria/solo adjacente. Assim sendo, o comportamento médio da estacaria, que indiscutivelmente é condicionado por recalques, não sofreria intervenção significativa de atritos, quer positivos quer negativos, qualquer que fosse o estado de adensamento da camada argilosa profunda.

(d) As principais decisões de projeto prender-se-iam a fatores de integridade das estacas por limites de tensões no concreto e defeitos de execução na concretagem delicada que as condições locais impunham.

As ponderações feitas pela consultoria foram apreciadas pela Proprietária, pela Projetista e pela Construtora (Construtora Andrade Gutierrez), tendo sido resolvido, à falta de dados conclusivos sobre as características de argila e tempo hábil para obtê-las, que a estacaria seria executada conforme o projeto original (incluindo o carregamento por atrito negativo) e que um programa especial de investigação da integridade das estacas, assim como de provas de carga especiais em estacas devidamente instrumentadas, seria realizado para comprovação da qualidade de execução e para obter informação quanto ao comportamento do subsolo. Tal informação poderia vir a permitir otimizações em projetos em áreas adjacentes ou de condições geológicas-geotécnicas similares.

4. ESTACARIA E SEU CONTROLE DE EXECUÇÃO

O projeto das fundações dos silos e suas estruturas auxiliares foi executado conforme a Figura 2. As características das estacas e sua execução foram discutidas no trabalho de Dias (1979), sendo a estacaria constituída de estacas escavadas com auxílio de lama bentonítica e concretadas com tremonhas.

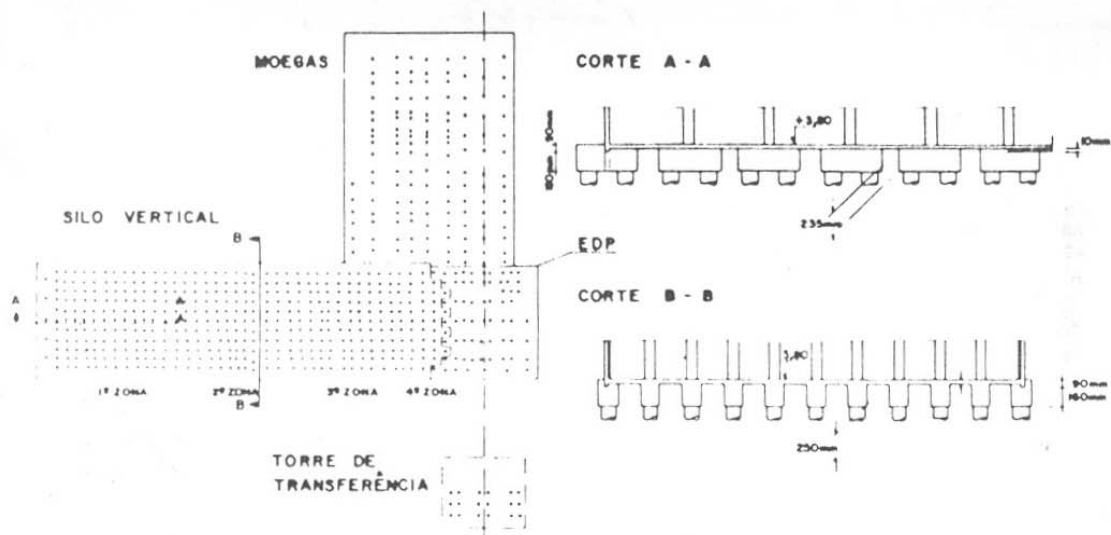


Fig. 2 - Projeto de fundações

Visando documentar a qualidade dos serviços executados, objeto de fiscalização rotineira e controle executivo, a Empreiteira apoiou a idéia de se realizar uma extensa campanha de ensaios não-destrutivos para tal fim. Assim, foram realizados ensaios de ultra-som (sondagens sônicas) em praticamente todas as estacas (76%), sendo que grande parte dos ensaios (71%) foram realizados através de 4 tubos diametralmente opostos, fornecendo, portanto, maior confiabilidade na interpretação dos dados obtidos. A qualidade da concretagem ficou comprovada pelos ensaios; somente 11% das estacas mereceram atenção especial. Nestes casos, perfurações com sondagens rotativas e injeções posteriores sob pressão foram empregadas, sendo importante mencionar que muitas das estacas perfuradas para tratamento não mostraram qualquer problema (conforme demonstrado através do exame dos testemunhos de sondagens).

Adicionalmente 108 estacas foram ensaiadas através de testes dinâmicos a partir da superfície, com tecnologia e apoio do Institute TNO for Building Materials and Building Structures da Holanda. A tecnologia empregada consiste em analisar a resposta a um impacto de curta duração aplicado à estaca; caso a fundação apresente descontinuidades ou mudança de seção geométrica, a análise da onda refletida na ponta da estaca permitirá sua determinação. Esta campanha de ensaios endossou os resultados da campanha de sondagens sônicas, atestando a integridade das estacas.

5. PROVAS DE CARGA ESPECIAIS E INSTRUMENTAÇÃO DA OBRA

Conforme mencionado anteriormente, para garantir o ideal comportamento das fundações seria importante não só inspecionar a execução de cada estaca e auscultá-la por métodos não-destrutivos como também seria indispensável programar um número adequado de provas de carga sobre estacas admitidas como representativas.

Um programa de instrumentação da interação solo/estacaria e estacaria/estrutura foi também considerado como de grande valia para esclarecer problemas de carregamento de atrito negativo e sua distribuição a longo prazo, em caso de carregamentos cíclicos de proporções significativas. Assim, previu-se um programa de instrumentação que fornecesse dados sobre o desenvolvimento de recalques do terreno adjacente aos silos: provas de carga em estacas individuais especialmente instrumentadas e instrumentação de alguns dos pilares da estrutura para que com o conhecimento das tensões e das deformações destes se pudesse tentar analisar o comportamento geral da estrutura.

5.1. Recalques do Terreno

Uma vez que os aterros adjacentes já haviam em parte sido lançados quando da elaboração do programa de instrumentação, o processo de adensamento das argilas de subsolo, admitidas em projeto como normalmente adensadas, já teria iniciado. Como os recalques causados por tal sobrecarga seriam causadores do carregamento por atrito negativo nas fundações do silo, recomendou-se a instalação de conjuntos de medidores de recalques, com medidores profundos e superficiais.

5.2. Provas de Carga em Estacas Instrumentadas

A campanha de provas de carga especialmente instrumentadas teve como objetivo fornecer a distribuição do atrito ao longo do fuste e o comportamento carga vs recalque da ponta, capaz de ser transplantada, por teorização apropriada, para outras obras em condições de subsolo análogas.

As estacas em provas de carga (que são ensaios de curta duração) teriam seu comportamento carga-recalque determinado por contribuição do atrito lateral positivo. Somente durante a vida útil das estacas, com a operação dos silos, o carregamento operacional seria acrescido de uma parcela devido ao atrito negativo gerado pelo aterro.

Idealmente, caberia investigar em separado as características carga-recalque do subsolo abaixo do ponto neutro de deformações relativas entre solo/estaca ("null point"), por prova de carga que solicitasse somente o trecho inferior da estaca, bem como seu comportamento a longo prazo. Assim, o projeto das provas de carga foi desenvolvido com o objetivo de se isolar o trecho superior da estaca (acima do "null point") através de um espaço anular que permaneceria preenchido com a lama bentonítica utilizada no processo de escavação. Para tanto, o trecho superior da estaca foi devidamente encamisado com tubo de aço de pequena espessura solidarizado à gaiola de armação.

Com a finalidade principal de se conhecer as contribuições por atrito lateral das diferentes camadas de subsolo, assim como da ponta da estaca, e devido às dificuldades de se obter com precisão dados diretos de pressões em cotas distintas, optou-se por instrumentar as estacas com elementos medidores de deformações para, através destas, calcular as tensões atuantes nas seções desejadas. A escolha dos instrumentos teria que levar em conta sua facilidade de instalação, de leitura e principalmente sua confiabilidade a curto e longo prazo, este último ditado pelo tempo previsto para estabilização dos recalques por

adensamento (admitido) da espessa camada argilosa. As deformações seriam obtidas em diversas seções da estaca através de extensômetros mecânicos ("telltales") e de defôrmetros de resistividade elétrica ("strain gauges"). A opção por "strain gauges" deveu-se à sua maior disponibilidade, além de sua dimensão reduzida, possibilitando, assim, a instrumentação de diversas seções das estacas.

5.3. Medidas em Estacas Instrumentadas a Longo Prazo

Admitida como válida a hipótese de as argilas serem normalmente adensadas no local, o aparecimento de atrito negativo se daria ao longo do tempo e, portanto, caberia manter em operação a instrumentação eletrônica após a prova de carga, e realizar leituras com periodicidade tal que, em função dos carregamentos impostos pela superestrutura, permitisse a análise do desenvolvimento do atrito negativo.

5.4. Instrumentação da Superestrutura

Para melhor analisar o comportamento de uma estrutura como um todo, no caso genérico

de estrutura semi-rígida, é necessário se conhecer os recalques de pilares da estrutura, não só na base dos mesmos como também em níveis diferentes da estrutura. O conhecimento do "amortecimento" dos recalques diferenciais em níveis superiores da superestrutura permitiria avaliar a influência da rigidez desta na "homogeneização" dos recalques, com a redistribuição dos esforços entre pilares e sua fundação.

Para a estrutura em questão julgou-se que coubesse recomendar a instrumentação somente das bases dos pilares uma vez que se trata de estrutura eminentemente rígida com os dados de deformação a serem eventualmente obtidos nas vigas paredes necessitando de técnicas sofisticadas de computação para sua interpretação. A instrumentação proposta constou, então, da instalação de pontos de referência nas bases dos pilares, com seu acompanhamento através de topografia de precisão, e a instalação de "strain gauges" na armadura da base de alguns pilares para análise da distribuição dos carregamentos. Nas Figuras 3 e 4 são apresentados croquis com detalhes da instrumentação das estacas assim como do conjunto de silos como um todo.

A disposição em planta das estacas escolhidas também pretendeu, dentro do possível perante o planejamento da obra, corresponder a interesses específicos com relação ao conjunto

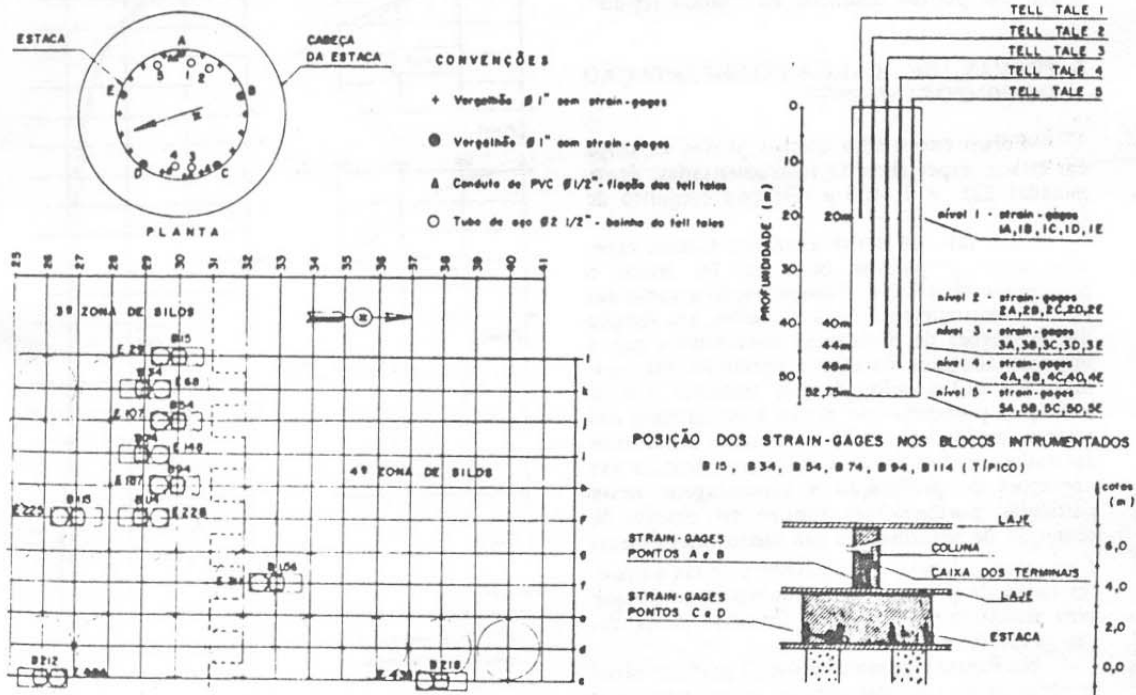


Fig. 3 - Instrumentação das estacas escavadas

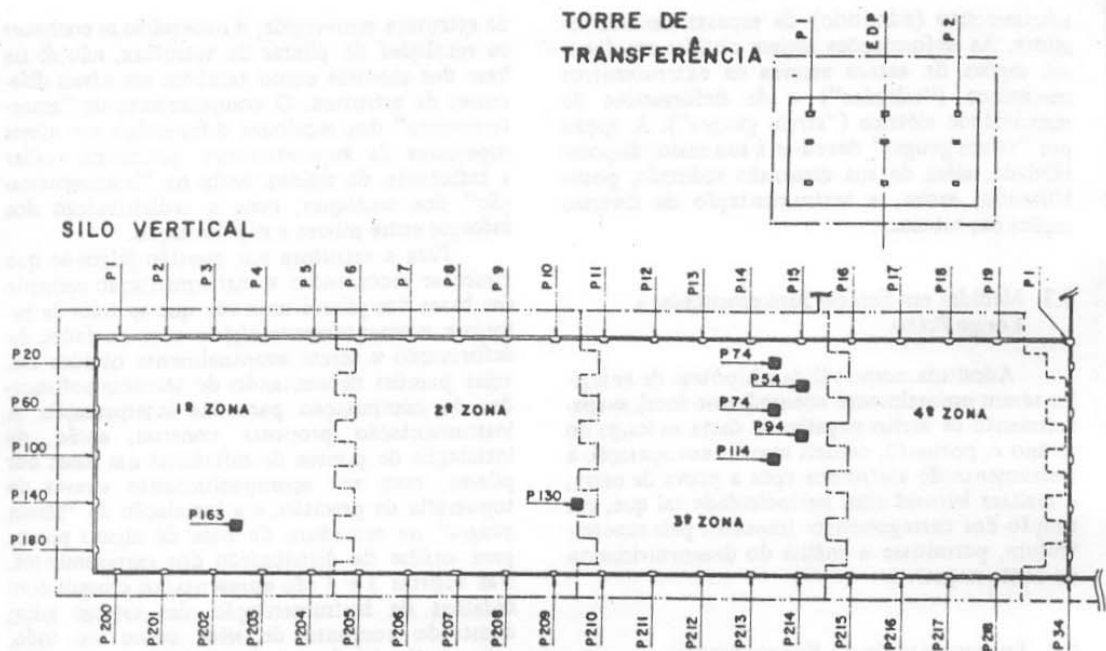


Fig. 4 - Pinos de recalque na estrutura dos silos

geral da fundação, fornecendo informação de distribuição dos carregamentos em fase operacional em pontos distintos do "bloco rígido".

6. PROVAS DE CARGA-INTERPRETAÇÃO DO COMPORTAMENTO

Foram executadas quatro provas de carga em estacas especialmente instrumentadas, denominadas 225, 311, 424 e 435 (do conjunto de silos).

Pelo fato de ter-se ensaiado estacas especificamente preparadas para tal, foi ferido o princípio estatístico de comprovação a esmo das estacas eventualmente mais suspeitas, em função das indicações de problemas construtivos que a inspeção anotasse durante a execução das mesmas. Por outro lado, deve-se salientar que os principais problemas de danos à integridade das estacas moldadas in loco seriam seriamente agravadas em função de uma maior demora nas operações de perfuração e concretagem; neste particular, portanto, em função do desejo de obtenção de informações um tanto mais específicas, estas estacas teriam estado sujeitas a maiores riscos de prejuízo de sua integridade do que seria realístico em um ritmo rotineiro de execução da estacaria.

Na Figura 5 apresentam-se os gráficos carga vs. recalque do topo das estacas, antes de se adentrar pela interpretação mais criteriosa da instrumentação especial instalada nas estacas.

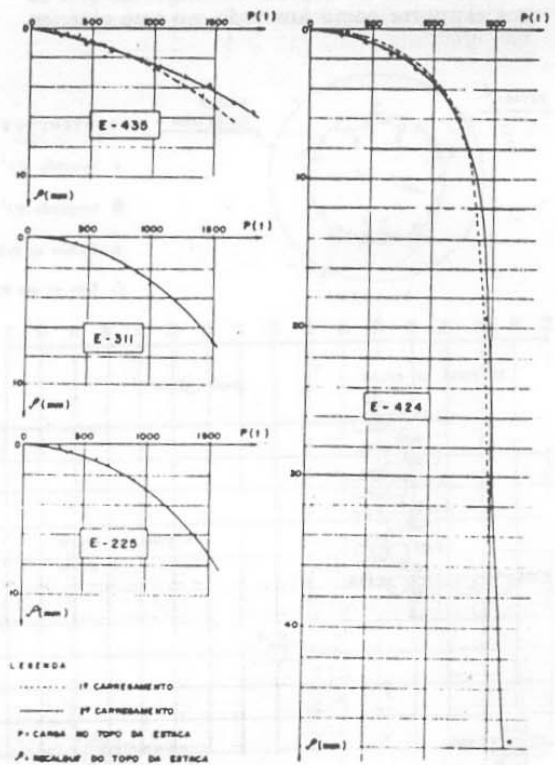


Fig. 5 - Gráficos carga x recalque no topo das estacas instrumentadas

6.1. Medições de Deformações Específicas ("strain gauges")

A interpretação das provas de carga foi iniciada por uma análise das leituras fornecidas pelos strain gauges, procedendo-se a uma primeira seleção entre estes sensores, abandonando-se aqueles que apresentassem um comportamento demasiadamente errático.

A seguir, a partir dos dados de campo procurou-se construir os gráficos carga no topo da estaca vs. leitura do deformômetro, em cada um dos eixos: A, B, C, D e E, para cada um dos cinco níveis (SG1: TT1 a SG5: TT5) das estacas ensaiadas.

Na Figura 6 apresentam-se, a título de ilustração, as curvas correspondentes aos SG B e E instalados no nível SG2, 2º nível de auscultação (aproximadamente a 40m de profundidade) da estaca 435. Dois aspectos devem ser assinalados da observação do comportamento destas curvas:

(a) Observa-se nítida tendência, pelas curvas resultantes, de um comportamento tipo "histerese" semelhante ao da prova da carga de placa em terreno, apresentando alguma curvatura no gráfico carga-deformação e com menores deformabilidades para baixos níveis de carregamento. No entanto, para a presente análise, mesmo no primeiro carregamento, o maior interesse reside

em níveis de carga acima da região pouco deformável, tendo permitido a aproximação de um trecho da curva mais deformável por uma reta (conforme indicado na Figura 6) a interpretação linear-elástica segundo tal inclinação estará do lado prudente no tocante ao comportamento real atribuível à estaca.

(b) Observa-se ainda, para as estacas sujeitas a um ciclo descarga-recarga subsequente, que a erraticidade das leituras é nitidamente reduzida após tal "histerese" do primeiro carregamento, o que provavelmente estaria associado quer as condições iniciais de instalação da instrumentação (aderência SG-armadura), quer a algum comportamento intrínseco inicial da estaca.

6.2. Medições de Deslocamentos ("telltales")

Visando analisar os recalques com a profundidade, construíram-se gráficos de profundidade vs. recalque das hastes dos "telltales" em cada um dos cinco níveis, para determinados estágios de carregamento das provas de carga.

Tal análise permitiu avaliar a tendência de ocorrência dos recalques que servia como base para interpretação do comportamento carga vs. recalques em profundidade das estacas. Na Figura 7 apresenta-se, também em caráter ilustrativo,

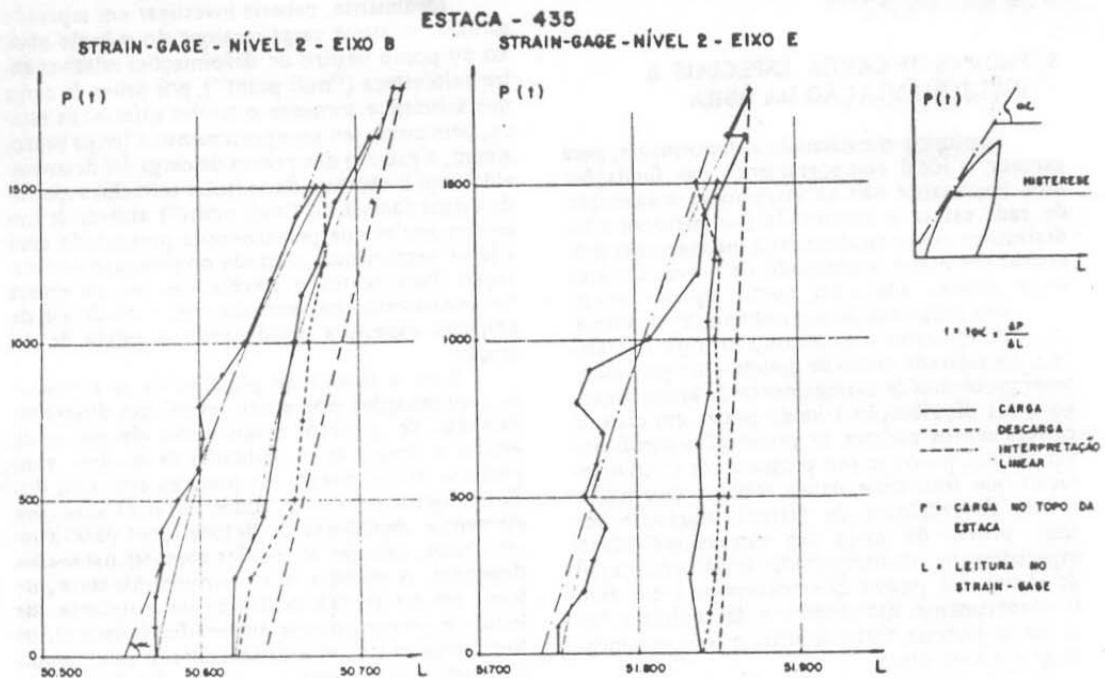


Fig. 6 - Exemplos de gráficos carga no topo x leitura no Strain - Gage para as estacas instrumentadas.

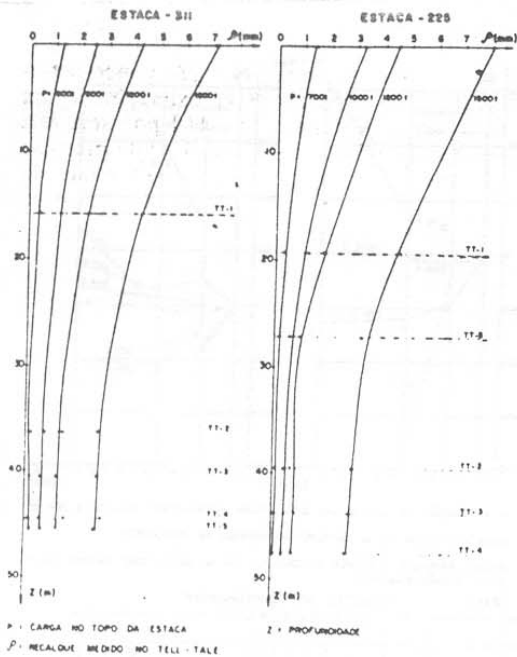


Fig. 7 - Exemplos de gráficos recalque x profundidade para valores constantes de carga no topo da estaca.

o gráfico com tais curvas para as estacas 225 e 311. Conforme se pode observar, algumas leituras se afastam um pouco da tendência geral racional atribuível e observada. Tais diferenças ocorrem com maior frequência a partir do 2º nível instrumentado, conforme pode-se observar

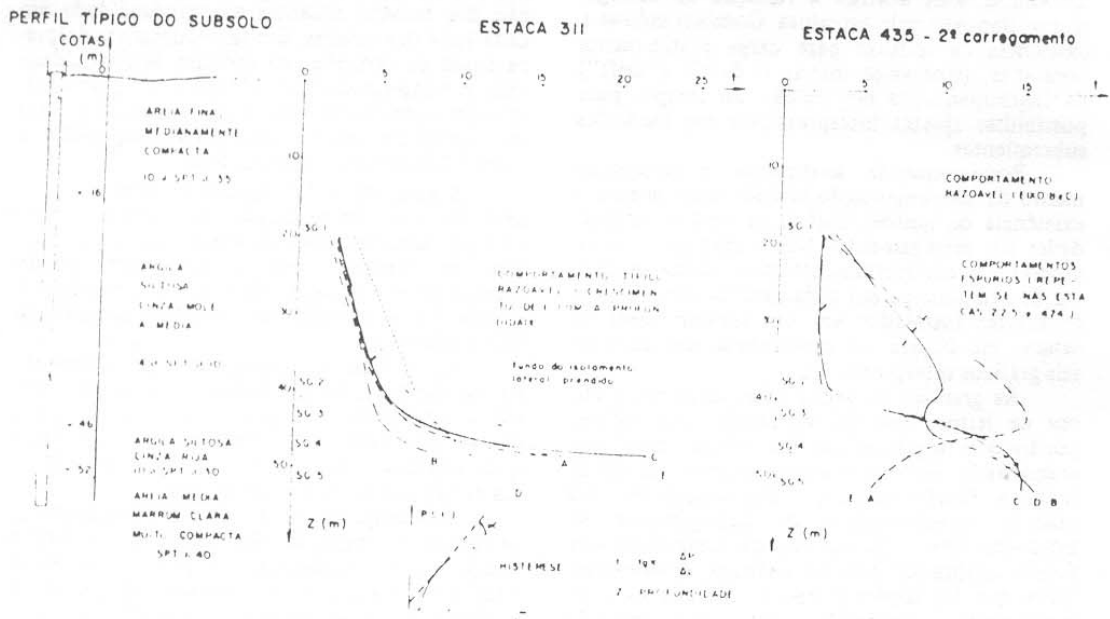


Fig. 8 - Exemplos de gráficos $tg \alpha$ x profundidade, estacas 311 e 435

pela Figura 7; admite-se que isto se deva a eventual efeito de atrito entre a haste e o tubo guia.

6.3. Estudo do Comportamento das Estacas

A seguir efetua-se uma análise do comportamento de cada estaca, procurando inferir tendências e eventuais comportamentos anômalos. Evidentemente, face ao grande diâmetro da estaca, heterogeneidades de concretagem que podem ocorrer inclusive ao longo de uma mesma seção (devido a uma inércia em se movimentar lateralmente o tubo tremonha para percorrer continuamente toda a seção plana da estaca durante concretagem).

Inicialmente foram retomados os gráficos carga (P) no topo da estaca vs. leitura (L) no strain gauges, citados no item anterior, substituindo as leituras do SG por trechos de reta com declividade α em relação ao eixo L (ver Figura 6). Dessa forma, cada gráfico P x L passa a ser

representado por um valor $t = tg \alpha = \Delta P / \Delta L$

Tal parametrização se fez necessária um vez que o principal interesse reside em investigar-se a distribuição de carga para um determinado carregamento na estaca em profundidade. Provisoriamente o parâmetro nominal não leva em conta distribuição de carga ao longo da estaca, pois o intuito é justamente verificar apenas uma continuidade de comportamento que a seguir se interpretará. Na Figura 8 apresentam-se, ainda a título de ilustração, os gráficos $t \times z$ para as estacas 311 e 435. A tendência esperada para estes gráficos seria a apresentada pela estaca 311 e pelos

eixos B e C da estaca 435, ou seja, o aumento t com a profundidade, correspondendo a uma redução de carga ao longo da estaca.

Para os eixos que apresentaram a tendência esperada, admitiu-se que a estaca não apresentasse problemas executivos naqueles pontos, e as cargas resultantes foram calculadas em cada nível adotando-se como módulo de elasticidade do concreto e área da seção transversal os valores teóricos: $E_o = 2,75 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ e $A_o = 2,01 \text{ m}^2$.

Para os demais eixos, uma vez que já se excluam as anomalias das próprias leituras, considerou-se que teria havido problemas de execução da estaca (variação do módulo E ou da seção Transversal A) ou de comportamento do solo ao seu redor.

Para estes eixos, foram admitidos como corretos os valores de carga em cada nível obtidos anteriormente para os eixos que seguiram a tendência esperada, e, admitindo que os problemas fossem da execução da estaca, calculados de forma inversa os valores do produto $EA \neq E_oA_o$ para cada strain gauge.

Tais problemas seriam decorrentes, conforme já ressaltado, de demora na instalação da gaiola de armação quando instrumentada, comparada com a gaiola comum, bem como dos impedimentos adicionais à concretagem por motivo de cabos, tubos, etc.

Os produtos EA obtidos foram plotados, em forma adimensional (EA/E_oA_o), contra a profundidade, dando origem aos gráficos analisados adiante.

Cabe lembrar que nestes cálculos não foram levados em conta as variações da seção de aço ao longo da estaca devida à existência da camisa e nem as variações da seção de concreto devidas aos tubos dos telhais. Tal hipótese simplificadora foi assumida uma vez que a utilização de correções mais realistas não alterariam o resultado da interpretação, conforme se verificou por cálculos preliminares.

A título de ilustração, apresentam-se na Figura 9 os gráficos (EA/E_oA_o) para as estacas 311 e 435. Através destes gráficos foi possível analisar em conjunto os pontos com possíveis problemas de execução ($EA/E_oA_o < 1$). Acrescentando a esta informação os resultados das diagrfias, foi possível definir, com maior certeza alguns pontos em que seria mais provável a existência destes problemas. Para estes pontos a carga resultante foi adotada igual à dos demais pontos, no mesmo nível, que apresentaram a tendência esperada no gráfico $t \times z$, ou seja, admitiu-se que o produto EA naqueles pontos seria realmente inferior do teórico E_oA_o .

Alguns pontos porém apresentaram $EA/E_oA_o < 1$, mas não tiveram confirmação de problemas executivos pelas diagrfias. Para estes pontos abandonaram-se os produtos EA calculados e considerou-se que a execução teria sido perfeita ($EA = E_oA_o$), obtendo-se valores diferentes de carga para cada eixo num mesmo nível. A carga representativa do nível foi adotada como sendo a média dos valores obtidos, desprezando-se os mais discrepantes.

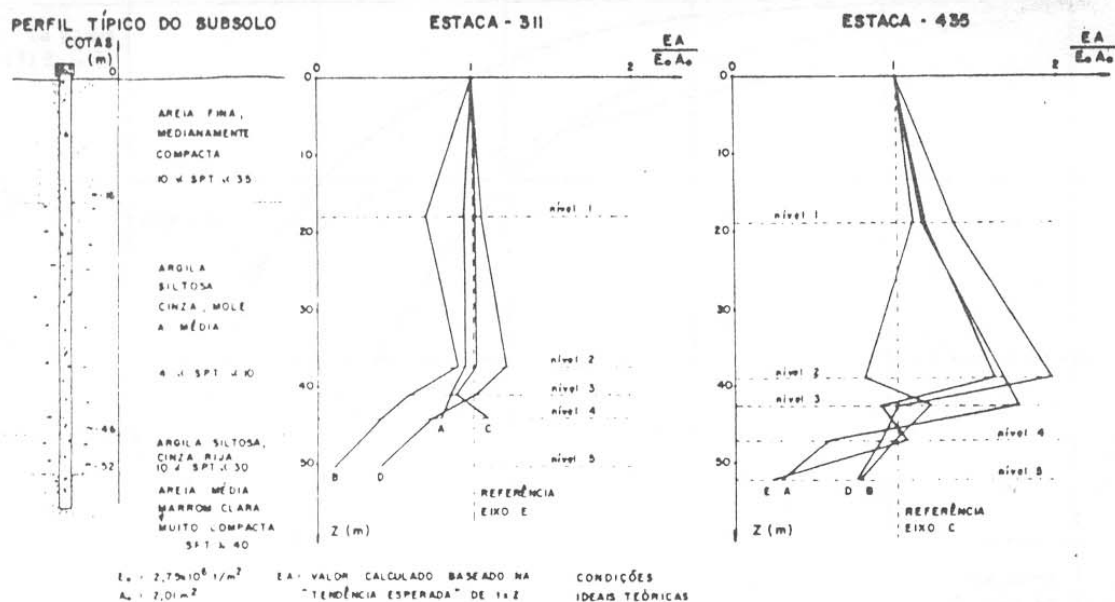
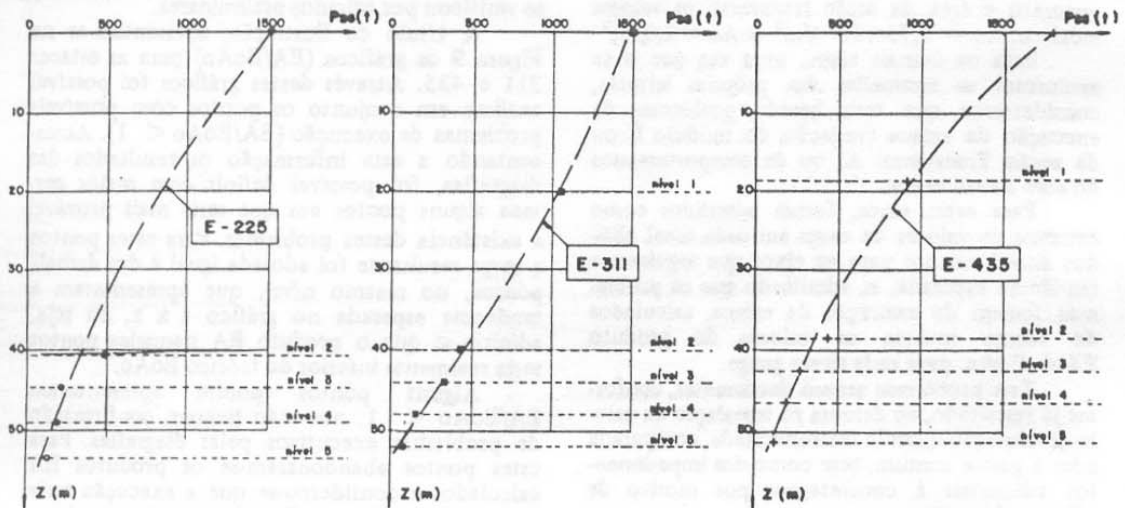


Fig. 9 - Análise de possíveis problemas executivos nas estacas instrumentadas refletidos no produto EA

Nos casos em que se obtivesse através deste critério um acréscimo de carga com a profundidade, ficaria caracterizado o comportamento anômalo do solo (atuação de atrito negativo). Dessa forma foi possível obter a distribuição de carga em cada estaca em profundidade, dando origem aos gráficos apresentados na Figura 10.

Na Figura 11, apresentam-se gráficos carga vs. recalque no topo do trecho resistente da estaca, obtidos a partir dos estudos mencionados.

A extrapolação destes resultados para as demais unidades de estacaria foi efetuada após a análise comparativa criteriosa dos aspectos construtivos que envolvem a execução de cada estaca,



P_{se} = CARGA NO NÍVEL INSTRUMENTADO OBTIDA ATRAVÉS DA ANÁLISE DOS STRAIN - GAGES

Z = PROFUNDIDADE

Fig. 10 - Distribuição de carga em profundidade a partir da interpretação dos Strain - Gages

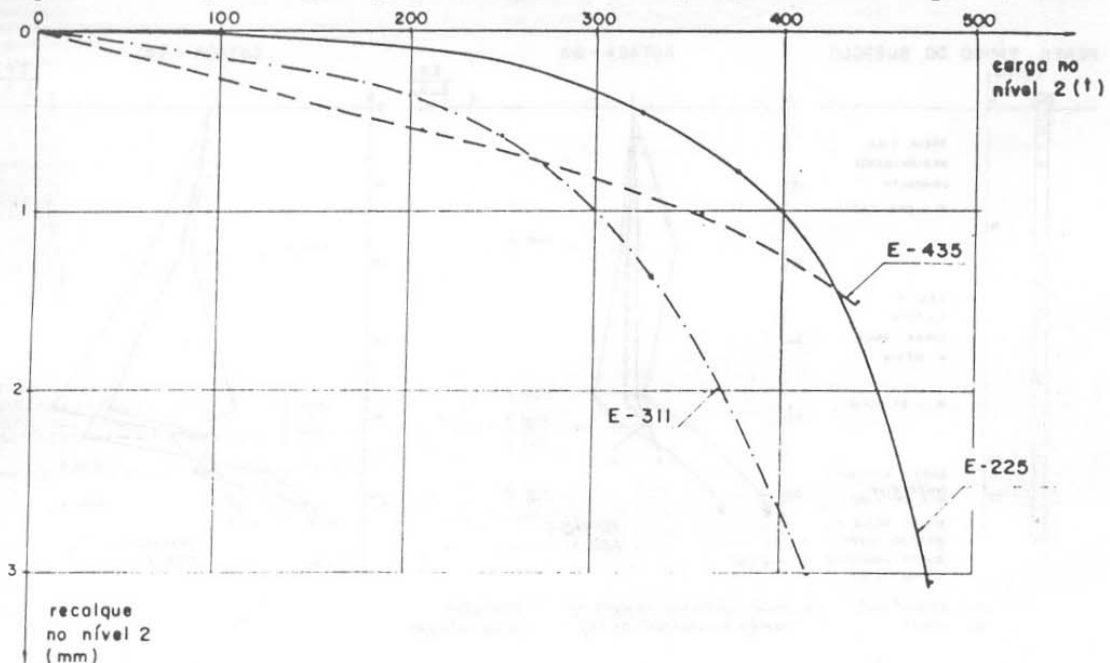


Fig. 11 - Comportamento carga x recalque do trecho resistente nas estacas

tais como: profundidade, tempo e volume de concretagem.

A extrapolação do comportamento unitário das estacas para a previsão dos recalques da estacaria como um todo situou-os dentro dos antevistos em projetos.

7. ACOMPANHAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO DURANTE CONSTRUÇÃO DOS SILOS E SOB CARGA MORTA CONSTANTE.

Concluída a fase de provas de carga nas estacas testes, programou-se a leitura da instrumentação instalada durante a fase de concretagem das células dos silos, em data equivalente a 50% do peso da estrutura e logo após concluída a estrutura.

Enquanto se aguardava os testes de ensilagem, a obra foi auscultada com periodicidade tal que permitisse analisar o comportamento das fundações no tempo sob carga constante para detectar uma possível atuação do atrito negativo.

7.1. Análise da Instrumentação Eletrônica

A interpretação das leituras dos strain gauges visou primordialmente quantificar os carregamentos impostos às estacas e sua dissipação com a profundidade.

Para tanto iniciou-se por uma análise gráfica do comportamento das leituras em função do tempo, sem abstrair a variação do carregamento imposto pela estrutura. Considerando-se a existência de leituras para carga praticamente constante, pensava-se inferir o desvio ("drift") da instrumentação em função do tempo, para possibilitar ajustes interpretativos nas medições subsequentes.

Posteriormente analisou-se o comportamento da instrumentação considerando apenas a existência de tensões uniformes, sem excentricidades no carregamento. Neste caso seria de se esperar um comportamento com nítida tendência de semelhança em cada data de leitura, para medidores instalados em um mesmo nível da estaca. Na Figura 12 apresenta-se um caso de tais gráficos interpretativos.

As grandes variações observadas nos gráficos de leitura nos SG vs. tempo com valores positivos e negativos em um mesmo nível instrumentado poderiam eventualmente ser creditados à flexão composta decorrente de uma possível excentricidade de carregamento da infra-estrutura. Os valores da instrumentação foram analisados sob tal enfoque demonstrando-se que tal hipótese não justificaria os comportamentos anômalos da instrumentação por strain gauges.

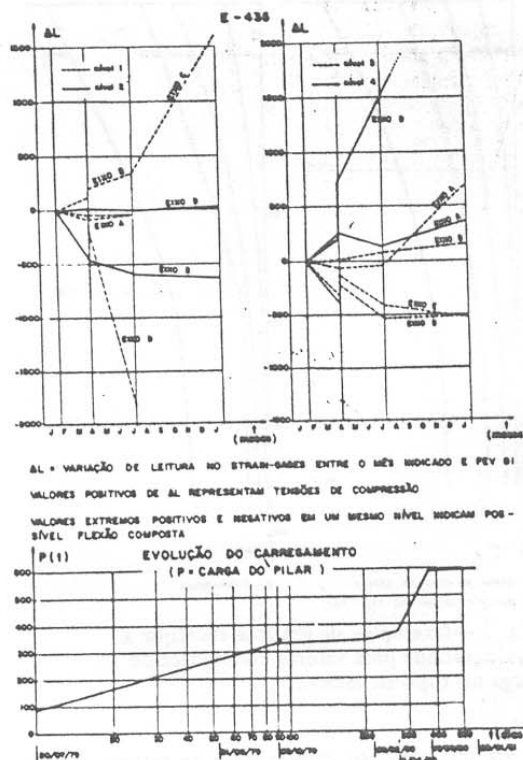


Fig. 12 - Comportamento da instrumentação eletrônica em função do tempo

Todos os medidores considerados de comportamento suspeito após esta tiragem preliminar foram excluídos e passou-se a uma avaliação das tensões atuantes em profundidade em cada uma das estacas. Em tais estimativas desprezaram-se as variações de módulo de elasticidade com o tempo, eventuais variações não quantificáveis de seção transversal, etc., utilizando o fator de conversão entre deformação específica e tensão fornecido pela Executora.

A estimativa das tensões atuantes em cada nível da estaca foi analisada em função do tempo e da profundidade de cada estaca, tanto em hipótese de tensões normais uniformes quanto admitindo-se a atuação de flexões compostas. A Figura 13 apresenta um caso de tais gráficos interpretativos.

Após todas as análises de comportamento da instrumentação eletrônica instalada nas estacas e nas bases dos pilares concluiu-se que a mesma não vinha se comportando a contento e que, portanto, não cabia prosseguir com leituras adicionais desta instrumentação.

O acompanhamento do comportamento da estrutura no aguardo dos testes de ensilagem (carga morta constante), nos próprios testes de ensilagem e em período operacional, passaria a se basear somente nas leituras dos pinos de recalques existentes na estrutura.

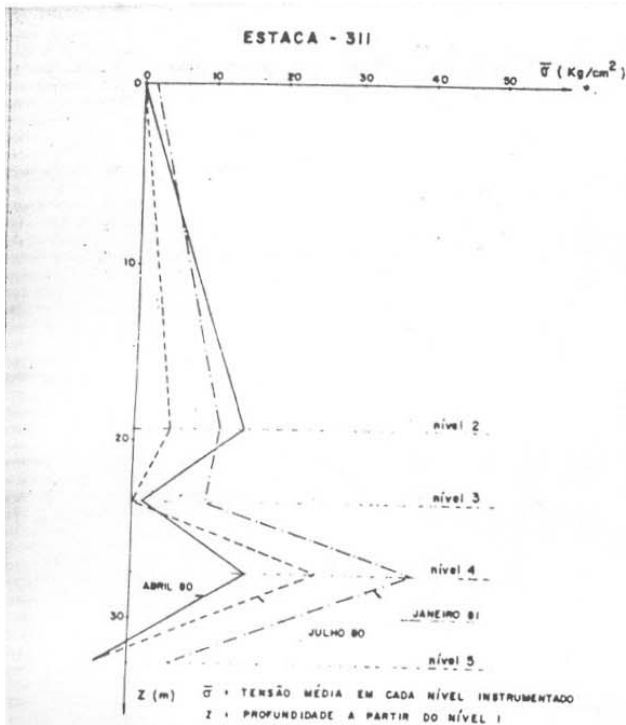
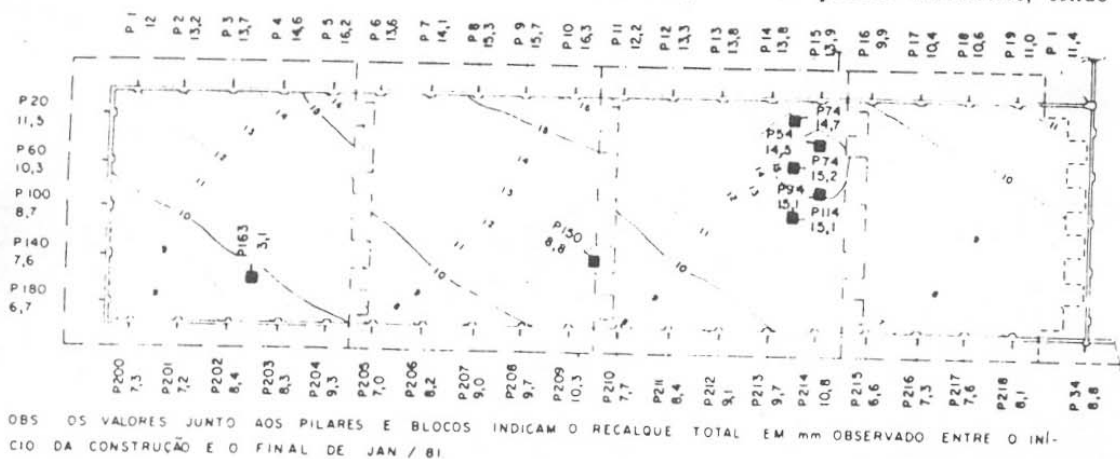


Fig.13 - Análise das tensões em função do tempo e da profundidade

7.2. Análise do Comportamento da Fundação sob Carga Morta Constante

Nas Figuras 14 e 15 apresentam-se as curvas de igual recalque para os silos na última leitura efetuada da malha de pinos de recalque instalados (Jan/81) e a faixa de variação do comportamento observado no tempo.

Pode-se observar a baixa velocidade de recalque da estrutura e a conseqüente tendência a



OBS OS VALORES JUNTO AOS PILARES E BLOCOS INDICAM O RECALQUE TOTAL EM mm OBSERVADO ENTRE O INÍCIO DA CONSTRUÇÃO E O FINAL DE JAN / 81

Fig. 14 - Curvas de igual recalque para a leitura de jan/81

estabilização sob carregamento constante. Quanto à magnitude dos recalques, nota-se que são compatíveis com as estimativas da época de projeto, situando-se aquém dos valores preocupantes (o valor máximo observado até o presente e em condição de carregamento morto constante é de 2,1 cm).

8. PROSSEGUIMENTO DAS OBSERVAÇÕES

O prosseguimento das observações do comportamento da estrutura através do nivelamento de precisão da rede de pinos de recalque instalados é parte de um programa de acompanhamento elaborado conjuntamente com a Proprietária.

Em específico, o teste de ensilagem será planejado de maneira a que o acompanhamento dos medidores de recalque possa ser melhor interpretado.

Oportunamente tais dados são publicados.

9. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta um caso histórico de execução e provas de carga em estacas de grande diâmetro.

Um projeto de instrumentação das estacas e da estrutura com medidores eletrônicos de deformação (strain gauges) foi implantado, tendo relativo sucesso durante as provas de carga mas não transmitindo confiança para sua utilização e interpretação durante a fase inicial de utilização dos silos. Especula-se que as dificuldades de instalação e de concretagem tenham prejudicado os medidores.

A estrutura vem se comportando conforme o previsto em projeto.

Carregamentos por atrito, seja negativo seja positivo, dependem de movimentos relativos solo/estaca de poucos milímetros, sendo

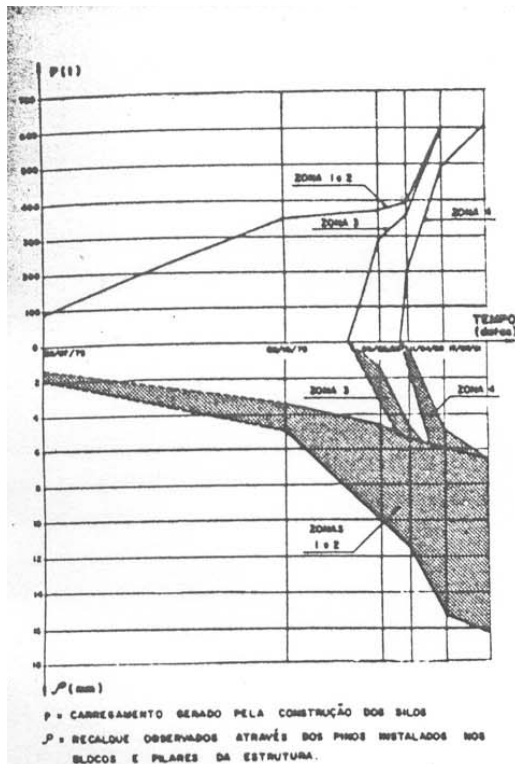


Fig. 15 - Faixa de variação de recalque com o tempo

geralmente admitido que os valores máximos ocorrem com deformações cisalhantes da ordem de 8 a 12 mm. Até o momento, não se dispõe de informações suficientes, quer sobre os recalques adicionais devido às cargas vivas de operação dos silos, quer sobre o comportamento dos aterros no tempo.

Assim sendo, uma definição do estado de adensamento das argilas será trazida a público quando da obtenção dos dados pertinentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer todo o apoio, colaboração e esforço de coordenação da equipe da Proprietária PORTOBRÁS, e da Empresa, Construtora Andrade Gutierrez.

O apoio sempre presente do Prof. Victor F. B. de Mello permitiu que a obra usufruísse de sua grande experiência em obras e fundações especiais. A equipe técnica do escritório Victor F.B. de Mello e Associados principalmente nas pessoas dos engenheiros Mário Cepollina, Francisco J.P. de Oliveira e Marco Mariutti colaborou intensamente no desenvolvimento de todos os serviços realizados.

REFERÊNCIAS

- Dias, C.R.R., 1979, Comportamento das Estacas de Fundação dos Silos do Terminal de Trigo e Soja do Superporto do Rio Grande, Solos e Rochas, vol. 2, nº 2 (Dez., 1979).
- Zeevaert, 1973, Foundation Engineering For Difficult Subsoil Conditions, New York, Van Nostrand Reinhold.
- Pells, P.J.N. & Turner, R.M., 1978, Elastic Solutions for the Design and Analysis of Rock Socketed Piles, Research Report nº R. 325, School of Civil Engineering, University of Sidney, Australia.