

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO EXPERIMENTAL
DA RUÍNA DE ESTRUTURAS LAMINARES**

REGIS L. R. LIMA

**DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

PUBL. N.º 188, SÃO CARLOS, NOVEMBRO DE 1974

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO EXPERIMENTAL
DA RUÍNA DE ESTRUTURAS LAMINARES

Regis L. R. Lima

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos
da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos
para obtenção do título de "Doutor em Engenharia Civil".

Orientador: Prof. Dante A. O. Martinelli

Suplentes

Prof. L. Petroni
Prof. F. L. L. B. Carneiro
Prof. J. L. B. A. Castanho
Prof. W. Savassi

Comissão Julgadora

Prof. D. A. O. Martinelli
Prof. F. Schiel
Prof. P. R. Fragoso
Prof. A. F. Margarido
Prof. I. Montanari

São Carlos, novembro de 1974

AGRADECIMENTOS

Como qualquer trabalho experimental somente é possível graças à abnegação e à contribuição inteligente dos técnicos, externo meus sinceros agradecimentos aos elementos da equipe do Laboratório de Estruturas, em particular àqueles que mais diretamente compartilharam desta investigação: Antonio Aparecido Casali, Thomaz de Aquino Kawauche, Guarino Zambon Junior, David Ribeiro da Silva e Jorge Rodrigues Brabo.

Agradeço ainda:

a Dauro Ribeiro da Silva, então quintanista e atualmente colega docente, principalmente pela orientação no emprego do equipamento;

a Rednei Aparecido Botelho, Antonio Raul Lopes e Rui Roberto Casale, na datilografia, e a José Carlos Marra e novamente a Thomaz de Aquino Kawauche, no desenho, pelo empenho na apresentação;

a Toshiaki Takeya, quintanista da E.E.S.C., pela valiosa contribuição no processamento dos dados;

aos colegas pela compreensão e apoio;

ao Laboratório de Estruturas da E.E.S.C. e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelos recursos que tornaram possível este trabalho.

Agradecimento especial dedico ao Prof. Dante A. O. Martinelli pela orientação e estímulo, não apenas durante a elaboração deste trabalho, como também no decorrer de toda minha formação profissional, e, sobretudo, pela construtiva exigência.

SUMÁRIO

Apresenta-se uma técnica de construção de modelos e de execução de ensaios que se procurou estabelecer para o delicado campo da reprodução de cascas, visando principalmente retratar seu comportamento à ruína. Dedicou-se especial atenção à composição do material para reprodução do concreto, à construção de telas com fios de pequeno diâmetro e em testar um dispositivo de carregamento que, adaptando-se à forma deformada da estrutura, permitisse a aplicação da carga de ruptura.

Para o desenvolvimento desta técnica utilizaram-se modelos de uma estrutura tipo "sombrinha", composta de cobertura em forma de pirâmide invertida sustentada por pilar central. Simultaneamente, procurou-se analisar a estrutura, visando definir a interação de seus vários elementos. Construíram-se quinze modelos, compondo cinco séries, em cada uma das quais um dos elementos que compõem a estrutura foi modificado de modo a identificar sua contribuição no comportamento global. Realizaram-se dezoito ensaios, tendo sido determinados: cargas e configurações de ruptura, deslocamentos e, em alguns modelos, deformações.

Do estudo do comportamento da casca piramidal resultou ainda uma nova forma em casca poliédrica, que exibiu comportamento estrutural muito conveniente - em condições de ruína e de serviço - além de se constituir numa interessante solução arquitetônica.

ABSTRACT

A technique is presented for the delicate problem of construction and testing of shell models, mainly intended to portray their behaviour under ultimate loads. Special attention was dedicated to composition of material for the reproduction of concrete, construction of wire fabric of small diameter and testing of a loading system that, adapting itself to the deformed structure, allows for application of ultimate loads.

For the development of this technique, models of an umbrella shell roof composed of an inverted pyramid supported by a central column were built and tested, following a program which aimed also to define the interaction of the various structural elements. Fifteen models were constructed, grouped in five series; in each series, one of the elements of the structure was changed to identify its contribution to the global behaviour. Eighteen tests were made, in which load and failure mechanism, displacements and, in some models, strains, were determined.

From the research on the behaviour of the pyramidal roof it resulted, too, a new polyhedral folded plate, which under both working and ultimate loads showed a very convenient structural behaviour, besides being an interesting architectural solution.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO

1 - A ESTRUTURA ESTUDADA

1.1 - Preliminares.....	1.1
1.2 - Resumo da experimentação anterior, em regime elástico.....	1.4
1.2.1 - CEPEC-I.....	1.4
1.2.2 - CEPEC-IIA.....	1.6
1.2.3 - CEPEC-III.....	1.6
1.2.4 - CEPEC-IV.....	1.8
1.2.5 - Solução definitiva.....	1.8
1.3 - O papel da estrutura nesta pesquisa.....	1.13

2 - MODELOS E DISPOSITIVOS DE ENSAIO

Documentação Fotográfica

2.1 - Introdução.....	2.1
2.2 - Micro-concreto.....	2.5
2.3 - Fôrmas.....	2.14
2.4 - Armadura: fabricação e posicionamento na fôrma..	2.19
2.5 - Moldagem.....	2.26
2.6 - Cura e condições dos modelos antes do início dos ensaios.....	2.39
2.7 - Fixação, cargas e dispositivo de carregamento...	2.43
2.7.1 - Solicitação simétrica.....	2.43
2.7.2 - Solicitação assimétrica.....	2.50
2.8 - Aparelhos de medida.....	2.55
2.9 - Cronograma de construção e ensaio dos modelos...	2.67

3 - ENSAIOS E RESULTADOS

3.1 - Introdução.....	3.1
3.2 - Série 1: painéis com espessura constante.....	3.11
3.2.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M1A, M1B e M1C.....	3.11
3.2.2 - Modelo ensaiado assimetricamente: M1D...	3.32
3.3 - Série 2: painéis com espessura variável.....	3.42
3.3.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M2A e M2B.....	3.42
3.3.2 - Modelo ensaiado assimetricamente: M2C...	3.58

3.4 - Série 3: painéis com espessura variável e vigas centrais altas.....	3.67
3.4.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M3A e M3B.....	3.67
3.5 - Série 4: painéis com espessura variável e vigas de borda protendidas.....	3.83
3.5.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M4A e M4C.....	3.84
3.5.2 - Modelo ensaiado assimetricamente: M4B...	3.104
3.6 - Série 5: casca poliédrica.....	3.116
3.6.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M5A e M5B.....	3.119
3.6.2 - Modelo ensaiado assimetricamente: M5C...	3.134
3.7 - Análise dos resultados dos ensaios.....	3.152
4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	4.1
5 - BIBLIOGRAFIA.....	5.1

INTRODUÇÃO

Nesta introdução surge a tentação de reproduzir, inicialmente, o "Rapport Général" apresentado por Manuel Rocha na quinta sessão do Simpósio sobre Modelos de Estruturas realizado pela RILEM (1959, Madri), no qual, com toda a sua reconhecida propriedade, e indubitavelmente muito melhor do que nos seria possível, coloca a questão da aplicação prática de modelos, de maneira ainda válida, apesar das amplas possibilidades atuais da computação eletrônica. Embora resistindo à tentação, julgamos imprescindível recomendar sua leitura e deter-nos na consideração de algumas de suas proposições, justamente aquelas que evidenciam a necessidade e o interesse de um estudo experimental, o que nos parece muito conveniente diante da pequena difusão do uso de modelos entre nós. De início, nada melhor do que repetirmos a sua muito bem colocada indagação: "Existem, à hora atual, métodos analíticos satisfatórios no que concerne ao dimensionamento das estruturas?"

Para bem responder, é necessário que se analise, com profundidade: se esses métodos reproduzem fielmente as solicitações, as propriedades dos materiais, as condições durante a construção, as condições de apoio e ligações entre os vários elementos constituintes da estrutura, seu comportamento tão completamente e exatamente como seria preciso para um real conhecimento de sua segurança; se às vezes não são extrapolações de conclusões estabelecidas para estruturas bem mais simples, submetidas a cargas conve-

nientes; ou ainda, se não são consequências de uma confiança exagerada, diante da dificuldade de constatação prática, no progresso das aplicações da teoria.

Se isto for suficiente para se concluir que os métodos analíticos se mostram deficientes no domínio elástico, facilmente se pode compreender que eles o serão ainda mais quando se quiser ter em conta relações não lineares entre tensões e deformações, ou ainda, quando se procurar reproduzir o comportamento da estrutura já fissurada, cujo conhecimento é indispensável para a fixação de um coeficiente de segurança realista, principalmente se adotada a orientação probabilística.

Estas limitações dos processos analíticos e o aperfeiçoamento atingido pelas técnicas de medida têm levado a um uso crescente de modelos, quer como elemento de controle de projetos de determinadas estruturas, quer como instrumento de pesquisa de novos processos de cálculo.

Este aperfeiçoamento das técnicas de medida, aliado ao melhor conhecimento dos materiais para modelos e ao aprimoramento dos dispositivos de ensaio, tudo proveniente de uma pesquisa intensa e contínua, tem tido como consequência uma maior confiança nas possibilidades do método experimental, permitindo inclusive reconhecê-lo como um método independente de dimensionamento. Seria necessário que seu uso fosse mais difundido, a ponto de os projetistas o considerarem normalmente como um dos seus instrumentos, o que forçosamente os libertaria da severa dependência das soluções possíveis de serem tratadas pelos métodos de cálculo analítico, com consequências sensíveis para a economia das estruturas. Seu uso generalizado viria ainda a constituir-se, indubitavelmente, numa fonte constante de novos conhecimentos quanto ao comportamento das estruturas.

Após esta apologia da experimentação, devemos complementar lembrando que as duas técnicas, analítica e

experimental, obviamente não se excluem, mas devem estar juntas, prontas para o auxílio ao profissional no estudo do dimensionamento de uma estrutura, fazendo-se uso de uma quando a outra se mostrar insuficiente, analisadas as condições de precisão, economia e tempo disponível.

No sentido de contribuir para maior emprego do método experimental entre nós é que procuramos desenvolver este trabalho. Para isto nos propusemos estabelecer uma técnica de construção de modelos e de execução de ensaios, tão precisa quanto possível, visando o campo delicado da reprodução de cascas, que pudesse ser aplicada principalmente para retratar o comportamento à ruína destas estruturas. É este um dos campos em que os modelos melhor podem contribuir para o dimensionamento das estruturas, ou seja, permitir o estudo de formas não usuais, com análise das suas condições limites.

Ao procurarmos estabelecer essa técnica de ensaio, com a resolução de suas dificuldades próprias, já por si bastante complexas, escolhemos, para elemento de verificação dessa técnica, uma estrutura também relativamente complexa, uma cobertura em forma de tronco de pirâmide invertida - estrutura tipo "sombrinha".

Todavia, embora encarando primordialmente esta estrutura como elemento de verificação da técnica, procuramos também analisá-la, visando definir com suficiente precisão a interação de seus vários elementos estruturais, até à ruptura.

Este trabalho tem, portanto, dupla finalidade: estabelecer uma técnica de ensaio para estruturas em casca com vistas ao seu comportamento à ruína e resolver uma estrutura específica. Acreditamos ter desenvolvido ambas com igual atenção.

Justificamos a escolha desta estrutura por:

- inexistir, pelo menos no momento, um processo analítico que possa retratar convenientemente o seu comportamento, evidenciando ser o experimental um método independente de dimensionamento;

- se tratar de cobertura bastante conveniente do ponto de vista arquitetônico, estrutural e construtivo, e por apresentar, devido às suas possibilidades de associações variadas e de pré-fabricação, um extenso campo de utilização prática;

- já ter sido objeto de um estudo experimental realizado no Laboratório de Estruturas, porém restrito ao comportamento elástico;

- apresentar características geométricas e construtivas próprias de grande parte das estruturas laminares: extensos painéis de pequena espessura, espessuras variáveis, vigas de enrijecimento centrais e de borda, interesse do uso de protensão e concentração de sustentação.

É evidente, entretanto, que a utilização de modelos, dependendo logicamente do que deles se visa extrair, não pode ser feita senão por equipe especializada e com a disponibilidade de um laboratório bem equipado. Somente nestas condições é que uma súbita solicitação pode ser atendida prontamente, desenvolvendo-se em prazo razoável um estudo que, além de econômico, forneça resultados que inspirem confiança. Assim, o desenvolvimento deste nosso trabalho tem ainda como consequência, de importância não menor que as suas finalidades primeiras, contribuir para que, com as possibilidades de equipamento e pessoal técnico apresentados pelo Laboratório de Estruturas, aquelas condições de funcionamento sejam aqui estabelecidas.

No capítulo 1, após a apresentação da estrutura estudada, resumimos seu estudo experimental em regime elástico, realizado há tempos com modelos em escala 1:10, do

qual resultou a estrutura em casca piramidal detalhada nos desenhos D1.4 e D1.5. Salientamos ainda o papel desta estrutura na atual pesquisa, como elemento de verificação da técnica procurada, do que nos valemos para, através de um plano de ensaios, complementar nossos conhecimentos a respeito do seu comportamento, principalmente com relação à ruptura.

No capítulo 2 descrevemos as várias fases construtivas e os dispositivos para realização dos ensaios: a escolha dos materiais, de importância fundamental nos ensaios à ruptura; a elaboração da forma^(*) com suas características de rigidez, reaproveitabilidade e fácil enchimento; a moldagem com minimização do tempo de lançamento e possibilitando seguro controle do enchimento; a verificação do material conseguido e sua identificação com o pré-selecionado; os elementos de fixação e os dispositivos de carregamento que permitem a aplicação da carga de ruptura e o acompanhamento da evolução da formação das fissuras; e a conveniência e as condições de uso dos aparelhos de medida.

A descrição destes elementos, assim como das particularidades dos vários ensaios, que com a apresentação e análise dos resultados constituem o capítulo 3, é feita com grande citação de detalhes, adquirindo muitas vezes características de depoimento pessoal. Apesar de eventualmente cansativa, resolvemos fazê-la assim em vista da dificuldade encontrada ao procurarmos orientação nos estudos de outros experimentadores. De fato a bibliografia, se bem que vasta, se compõe principalmente de comunicações concisas em revistas e congressos onde geralmente toda a atenção é dada aos resultados obtidos, muito pouco se dizendo das particularidades construtivas, do estudo dos materiais e dos dispositivos de ensaio. Em consequência, o que pude-

(*) - Acentuaremos sempre a palavra forma para distingui-la de sua homógrafo forma.

mos observar é que cada experimentação se constitui numa nova experimentação, onde cada um se vale da própria intuição, muito pouco se aproveitando de experiências anteriores, quanto a estes aspectos básicos. Daí se explica talvez a existência de correntes contraditórias quanto ao mais conveniente material para reproduzir o concreto armado em modelos.

O tom narrativo de nossas exposições tem assim a finalidade de procurar retratar o atual estado de uma técnica de construção de modelos e de realização de ensaios. Técnica de que não somos os iniciadores, pois aproveitamos a experiência já desenvolvida pelo Laboratório de Estruturas, à qual procuramos acrescentar a nossa contribuição e que, com esta apresentação, pretendemos tornar mais facilmente absorvível, possibilitando consequentemente o seu desenvolvimento, uma vez que cada utilização se reveste em geral de particularidades próprias, fazendo com que novas contribuições surjam e que, uma vez anexadas, aprimorem e ampliem as possibilidades desta técnica.

Finalmente, no capítulo 4 procuramos sintetizar os princípios construtivos e de execução de ensaios passíveis de generalização. Procuramos ainda indicar quais os aspectos que mereceriam ulterior pesquisa específica.

Do estudo do comportamento da casca piramidal, além das conclusões imediatas, resultou uma nova forma em casca poliédrica que, apesar de pouco ensaiada, exibiu comportamento estrutural muito conveniente, não só em condições de ruína como também sob solicitações de serviço, além de se constituir numa interessante solução arquitetônica:

1 - A ESTRUTURA ESTUDADA

1.1 - Preliminares

1.2 - Resumo da experimentação anterior, em regime elástico

1.2.1 - CEPEC - I

1.2.2 - CEPEC - IIA

1.2.3 - CEPEC - III

1.2.4 - CEPEC - IV

1.2.5 - Solução definitiva

1.3 - O papel da estrutura nesta pesquisa

1 - A ESTRUTURA ESTUDADA

1.1 - Preliminares

Em 1963 foi solicitada ao Laboratório de Estruturas da EESC a realização de ensaios, em modelos reduzidos, do elemento típico das coberturas do Centro de Pesquisa do Cacau, em Itabuna, Bahia. Estes ensaios foram realizados para a CEPLAC, Comissão Executiva do Plano de Recuperação da Lavoura Cacaueira, por sugestão do Arquiteto Sergio Bernardes, projetista da obra, e do Dr. Paulo R. Fragoso, consultor estrutural.

A solução inicialmente concebida pelos projetistas consistia numa casca piramidal, de seção quadrada de 8,0 metros de lado na base; o vértice, posto em plano inferior ao das bordas, repousava sobre um pilar pré-fabricado, ao qual a casca se ligava mediante protensão. As faces da pirâmide eram enrijecidas por vigas dispostas segundo as mediatrizes da planta, que se cruzavam portanto no vértice, e adequadas vigas de borda completavam a casca, que constituía assim uma estrutura tipo "sombrinha". O desenho D1.1, com detalhes de um modelo desse projeto inicial, pode ajudar a esclarecer o descrito.

Naquela ocasião, com os ensaios realizados em modelos construídos na escala 1:10 (dois de argamassa, um de gesso e um de plexiglas), em que se mediram deformações, deslocamentos e inclusive se determinou uma configuração

de isostáticas com o uso da técnica de vernizes frágeis, conseguiu-se apreciável economia de volumes em relação ao anteprojeto, com repercussões simplificadoras na construção e montagem.

Foi aventada, na ocasião, a solução de substituir no projeto inicial as quatro faces planas por quatro flhas em parabolóide hiperbólico (eliminando-se a cruz de enrijecimento), estrutura que teria como vantagem poder contar com processo de cálculo já definido, além da existência de um grande número de ensaios em modelos.

Ao se abandonar esta solução, fixando-se no ineditismo do projeto inicial, interessante não apenas arquitetonicamente, mas também quanto às suas facilidades construtivas, possibilidades de pré-fabricação e conveniência para as subdivisões dos ambientes, teve-se que arcar com o fato de não se dispor de processo de cálculo que não contivesse aproximações um tanto grosseiras, diante da dificuldade de se prever a contribuição de seus vários elementos estruturais.

De fato, na dependência da repartição das solicitações entre estes elementos; função de suas próprias dimensões, fica-se sem saber quais os que determinarão o comportamento da estrutura: se as vigas de borda atuando como tirantes, ou as arestas como escoras, ou as faces como chapas, ou as vigas centrais de enrijecimento. Esta dificuldade, que já se faz presente quando da solicitação em regime elástico, se intensifica se desejamos determinar as condições de ruína da estrutura.

Com os ensaios então realizados, pôde-se concluir que a estrutura se comportava muito bem sob a carga de serviço (peso próprio e sobrecarga), e sugerir diversas reduções de dimensões, muito importantes para a economia da obra, pois o elemento se repetiria cerca de 350 vezes, além de, com a diminuição do peso próprio, facilitar-se o

transporte e montagem do elemento, que seria pré-moldado. Resultou a estrutura em casca piramidal cujos detalhes construtivos são apresentados nos desenhos D1.4 e D1.5, com volumes da ordem de 60% dos iniciais. É provavelmente a primeira cobertura em casca de argamassa armada já realizada no Brasil; certamente, é a primeira em que se procurou obter as características essenciais do "ferro-cimento" de Nervi com telas de fios relativamente grossos ($\phi 2,6\text{mm}$) e malhas grandes ($5 \times 5\text{cm}^2$). Mais recentemente, o Dr. Paulo Fragoso extrapolou essa primeira experiência para coberturas da Cidade Universitária do Rio de Janeiro, com cascas análogas mas de $10 \times 10\text{m}^2$, com ligeiros aumentos das espessuras (de 2,5cm para 3cm em geral, e de 5cm para 7cm nas zonas engrossadas dos painéis).

Apesar desses resultados altamente expressivos, obtidos de ensaios em regime elástico, algumas indagações ficaram sem resposta devido à urgência de se implantar o projeto.

Assim é que pouco se pode afirmar de seu comportamento à ruína, cujo conhecimento é exigência cada vez mais frequente dentro dos modernos conceitos de segurança. É este um dos pontos para o qual se tem voltado a atenção de grande número de pesquisadores, instigados pela dificuldade de se estabelecer uma teoria de cálculo para o concreto, baseada no seu comportamento plástico. Podemos repetir, sem receio de erro, que é esta a grande contribuição dos modelos aos projetistas de hoje, apesar de todo o desenvolvimento alcançado na última década pelos mecanismos auxiliares dos processos numéricos.

Surgiu daí, e depois criou corpo, o interesse por um estudo mais detalhado e completo, levando-nos a executar este trabalho experimental que, como dissemos, procura contribuir para o melhor conhecimento do comportamento à ruína das cascas em geral e o desta casca piramidal em particular.

1.2 - Resumo da experimentação anterior, em regime elástico

Para o estudo experimental realizado em 1964, com vistas exclusivamente ao seu comportamento em regime elástico (D.A.Q. MARTINELLI, I. MONTANARI, W. SAVASSI, 1966, B13)* foram construídos quatro modelos, a seguir brevemente comentados.

1.2.1 - CEPEC-I

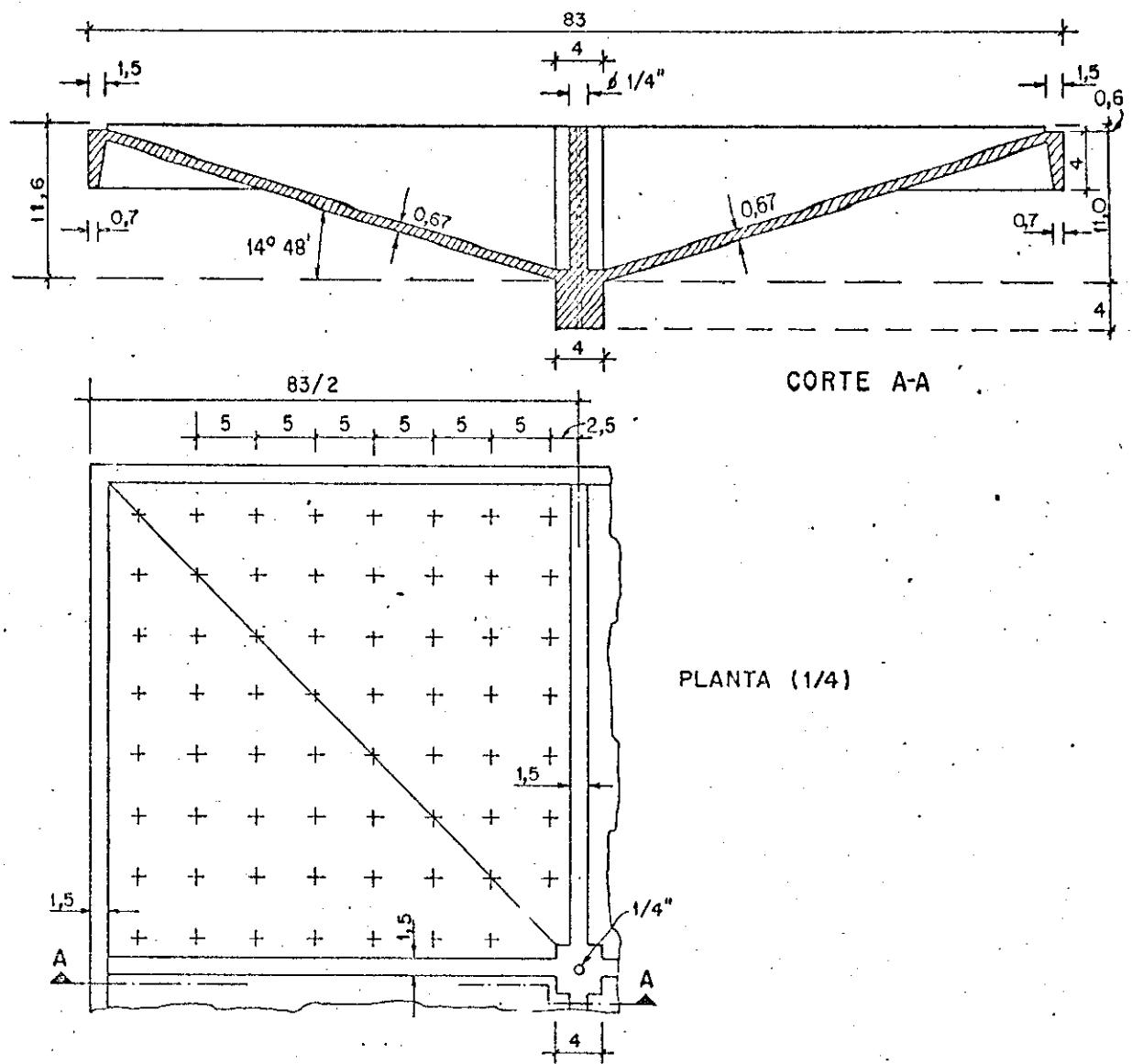
O primeiro modelo, de gesso armado, foi destinado a uma exploração inicial do regime de tensões da solução básica, em casca piramidal com cruz de enrijecimento. Em princípio, reproduzia a casca anteprojetada, já com algumas modificações: as vigas da borda e da cruz foram ligeiramente reduzidas na largura, enquanto que, por razões construtivas, a placa do modelo, de espessura constante de 6,7mm, era superior aos correspondentes 5cm previstos para o protótipo. No caso do CEPEC-I, levou-se em conta o caráter nitidamente exploratório desse primeiro modelo e o fato de se preverem valores não inadmissíveis das tensões, o que ficou completamente confirmado. Os efeitos observados foram de valor suficientemente baixo para sugerirem ulteriores adelgaçamentos da estrutura, o que realmente se fez em seguida.

Os resultados obtidos dos ensaios - deformações e correspondentes tensões - foram causados por carga uniformemente distribuída total de 210 kgf/m^2 , equivalente ao peso próprio da estrutura mais sobrecarga de 50 kgf/m^2 .

Para melhor compreensão das características do CEPEC-I, suas formas estão apresentadas no desenho D1.1 .

(*) - Autor e data identificam as referências bibliográficas, ordenadas alfabeticamente no Cap. 5.

1.5



D1.1 CEPEC-I
FÔRMAS DO MODELO

1.2.2 - CEPEC-IIA

Segundo modelo, construído em argamassa e apresentando as modificações sugeridas pelos ensaios do CEPEC-I, que no protótipo correspondiam a: vigas centrais de enrijecimento mais esbeltas (largura de 13cm e altura máxima de 85cm); vigas de borda de seção $5 \times 40\text{cm}^2$; placas com espessura constante de 5cm. Esta espessura de 5cm correspondia no modelo a 5mm, valor já bastante reduzido para execução de argamassa armada.

No relatório referente a este estudo, os resultados apresentados, deste ensaio, correspondem a uma carga de 180 kgf/m^2 .

O desenho D1.2 representa as fôrmas do CEPEC-IIA.

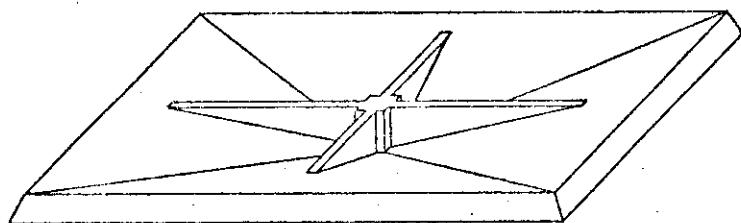
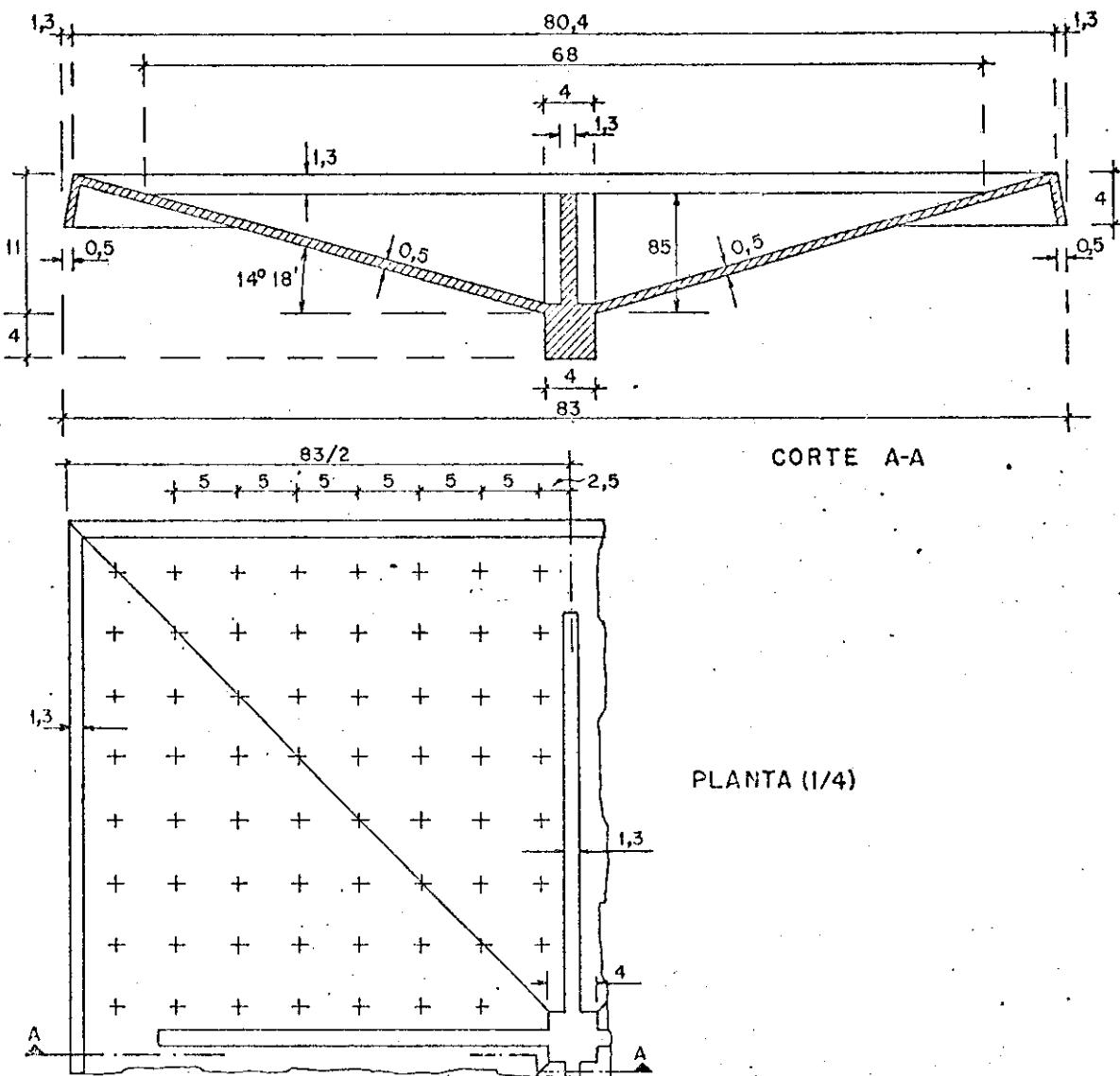
A partir dos resultados dos ensaios do CEPEC-IIA, fizeram-se extrapolações no sentido de se estabelecerem as tensões previsíveis para uma casca piramidal com placa de espessura constante 2,6cm, vigas da cruz com 50cm de altura máxima e 13cm de largura, vigas de borda com seção retangular $7,5 \times 20\text{cm}^2$. A estrutura assim idealizada foi designada CEPEC-IIB.

1.2.3 - CEPEC-III

Simultaneamente aos ensaios do CEPEC-IIA construiu-se outro modelo, agora de plexiglas, reproduzindo a solução com vigas em cruz e vigas de borda de seções reduzidas, e com placa de espessura constante de 2,6mm.

Neste modelo realizaram-se ensaios de determinação global das isostáticas, por meio da técnica de vernizes frágeis STRESS-COAT.

1.7



D1.2 CEPEC - IIA
FÔRMAS DO MODELO

1.2.4 - CEPEC-IV

Também de argamassa, correspondendo à variante cogitada para o elemento típico, constituída por casca composta de quatro folhas de parabolóide hiperbólico, com vigas de borda reduzidas e ligeiros aumentos de espessura segundo as mediatrizes e na região de encontro com o pilar. Suas fôrmas estão apresentadas no desenho D1.3. Como já foi dito, embora tendo apresentado resultados satisfatórios, a esta solução se preferiu a solução em pirâmide invertida.

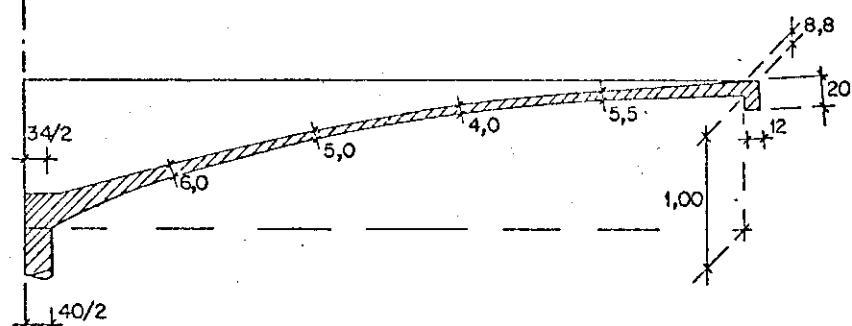
A carga máxima no modelo foi de 500 kgf/m², aplicada em estágios de 100 kgf/m², sendo que os resultados apresentados no relatório se referem à carga total de 170 kgf/m².

1.2.5 - Solução definitiva

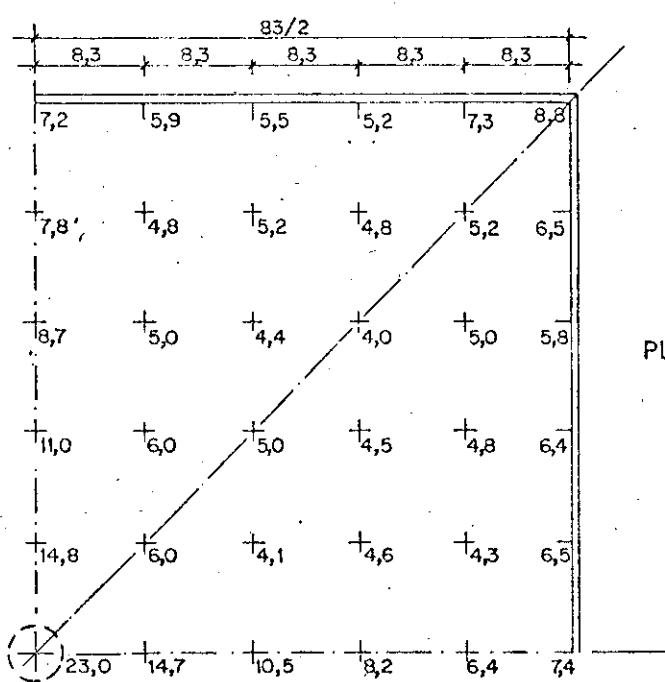
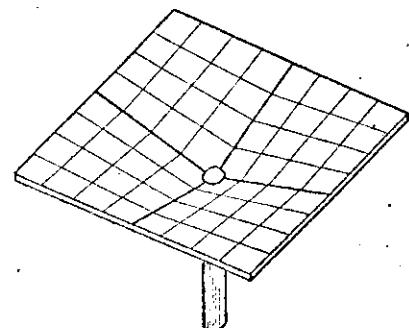
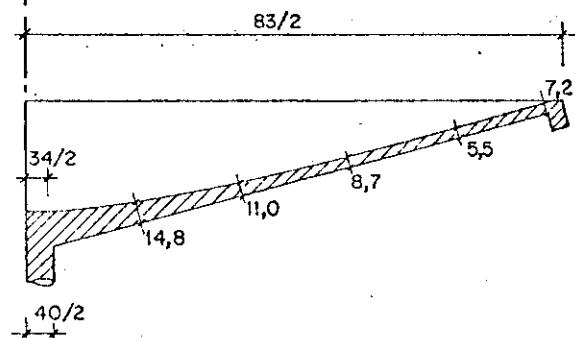
A pequenez dos efeitos - deformações, deslocamentos, tensões - causados pelos carregamentos nos diversos modelos, evidenciou que ambas as soluções - a piramidal com vigas de enrijecimento e a de parabolóides hiperbólicos - seriam perfeitamente viáveis. Como dissemos, a primeira foi a preferida pelos projetistas; embora pudesse sofrer ainda alguma redução, além das já praticadas nos modelos CEPEC-II, a economia resultante seria insignificante, não compensando a consequente redução de rigidez. Os novos ensaios, agora realizados, confirmaram o acerto desta decisão.

Escolhida a solução em casca piramidal e partindo dos resultados obtidos nos ensaios, detalhou-se a estrutura definitiva, próxima aos modelos CEPEC-II, mas com algumas modificações de interesse construtivo. As fôrmas e as armaduras são apresentadas nos desenhos D1.4 e D1.5. As armaduras sugeridas são basicamente constituídas por telas de fios de aço soldados em malhas quadradas e "tendões" de barras finas de aço CA-24.

CORTE PELA DIAGONAL



CORTE PELA MEDIATRIZ



PLANTA (1/4)

D1.3 CEPEC - IV
FORMAS DO MODELO

Os resultados dos vários ensaios não foram reproduzidos nesta apresentação resumida do estudo inicial, não só por serem os modelos ensaiados formas apenas aproximadas da nossa estrutura base, mas ainda, e principalmente, por se referirem esses resultados a cargas da ordem de 200kgf/m^2 , soma do peso próprio da estrutura e sobrecarga de 50 kgf/m^2 , que por serem de pequena magnitude determinam efeitos também pequenos e, consequentemente, leituras imprecisas por parte dos aparelhos de medida.

Nos nossos ensaios, que visam estudar as condições próximas à ruína, esta carga - peso próprio da estrutura mais sobrecarga de 50 kgf/m^2 - corresponde ao segundo estágio de carregamento, que é obtido com os pesos próprios do modelo e do sistema de carregamento, mais uma complementação fornecida pelo macaco. Ao ser iniciado o ensaio, já atuam sobre o modelo o seu próprio peso e o do sistema de carregamento, de modo que as leituras obtidas, após o segundo estágio, só acusam os deslocamentos e as deformações referentes à ação do macaco, que é da ordem de 50% da carga total. Assim estas leituras que, como dissemos, já são imprecisas em consequência de seus pequenos valores, deveriam ser corrigidas em cerca de 100%, donde o pouco ou nenhum interesse de realizarmos um estudo comparativo com os resultados do estudo inicial.

Isto acontece nas estruturas como esta, em que o peso próprio prevalece sobre a sobrecarga prevista, principalmente para as condições de solicitação em serviço. Para estes casos exige-se maior acuidade na consideração destes carregamentos, com a utilização, por exemplo, de técnicas especiais de avaliação do efeito do peso próprio (M. ROCHA, 1965, B22 e J.L. FIALHO, 1969, B8).

No nosso trabalho, cuja finalidade é a consideração da carga de ruína, esta correção não é tão importante, e oportunamente diremos como considerá-la.

1.3 - O papel da estrutura nesta pesquisa

Como já dissemos na Introdução, ao procurarmos estabelecer uma técnica de ensaio para estruturas laminares com vistas ao seu comportamento à ruína, precisávamos contar com uma estrutura cujos modelos pudessem servir de elemento de verificação para as várias tentativas, até a fixação definitiva da técnica. Dentre os vários motivos que nos levaram a escolher esta particular estrutura, e que também já foram apresentados na Introdução, devemos ressaltar as suas variadas possibilidades de utilização e o fato de englobar características geométricas e construtivas próprias de grande parte das estruturas laminares.

Simultaneamente, diante da previsão da necessidade de construirmos vários modelos para aquele fim, resolvemos elaborar um plano de ensaios que também nos permitisse contribuir para um melhor conhecimento do comportamento desta estrutura.

Realmente, apesar dos resultados altamente expressivos dos ensaios em regime elástico, algumas indagações ficaram sem resposta, principalmente com relação à observância de igual coeficiente de segurança à ruptura no dimensionamento dos vários elementos constituintes da estrutura e a uma melhor definição da participação destes vários elementos, que é influenciada pela repartição da solicitação entre eles, função de suas próprias dimensões.

A existência de um elemento mal dimensionado poderia prejudicar a segurança à ruptura da estrutura como um todo e a sua correção permitiria uma majoração desta segurança. Majoração talvez não necessária para as finalidades iniciais desta estrutura de cobertura não muito ampla, em que a sobrecarga dificilmente superará valor bem determinado, mas que poderia ser de interesse por permitir a utilização de material de menor resistência, conve-

niente diante da necessidade do emprego de concreto de grande trabalhabilidade no enchimento de elementos de pequena espessura. De real interesse seria quando da utilização da estrutura com dimensões maiores ou como estrutura suporte de outras.

Foi então estabelecido um plano de ensaio que, além de procurar detectar os elementos eventualmente mais fracos da estrutura, permitisse melhor compreensão da participação dos vários elementos, através da modificação de suas resistências, obtida ou pela variação de suas dimensões ou pelo auxílio de protensão.

2 - MODELOS E DISPOSITIVOS DE ENSAIO

- Documentação Fotográfica

2.1 - Introdução

2.2 - Micro-concreto

2.3 - Fôrmas

2.4 - Armadura: fabricação e posicionamento na fôrma

2.5 - Moldagem

2.6 - Cura e condições dos modelos antes do início
dos ensaios.

2.7 - Fixação, cargas e dispositivo de carregamento

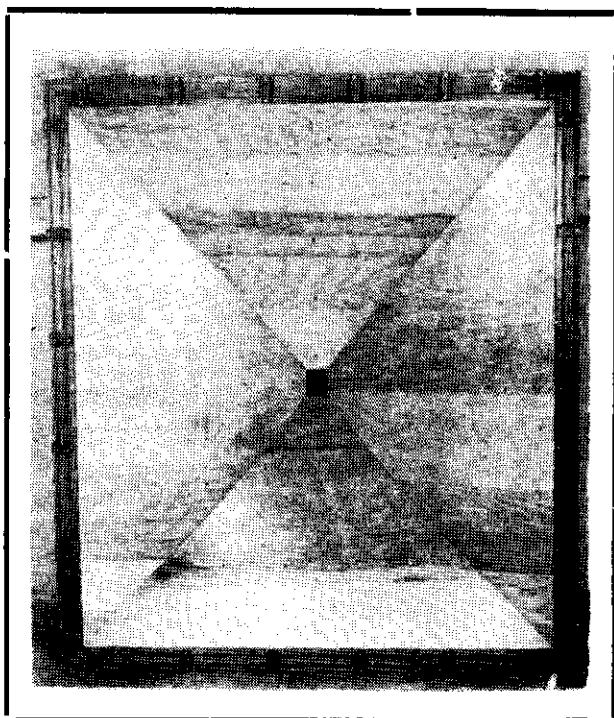
2.7.1 - Solicitação simétrica

2.7.2 - Solicitação assimétrica

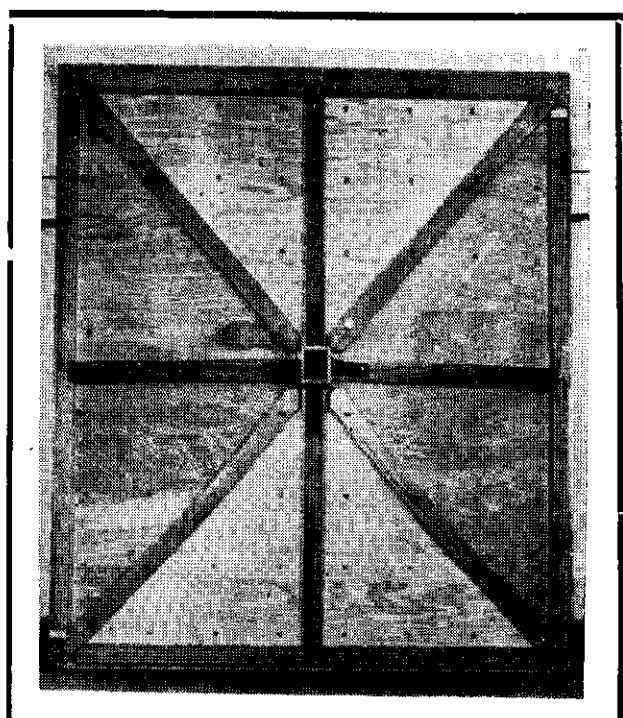
2.8 - Aparelhos de medida

2.9 - Cronograma de construção e ensaio dos modelos

DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



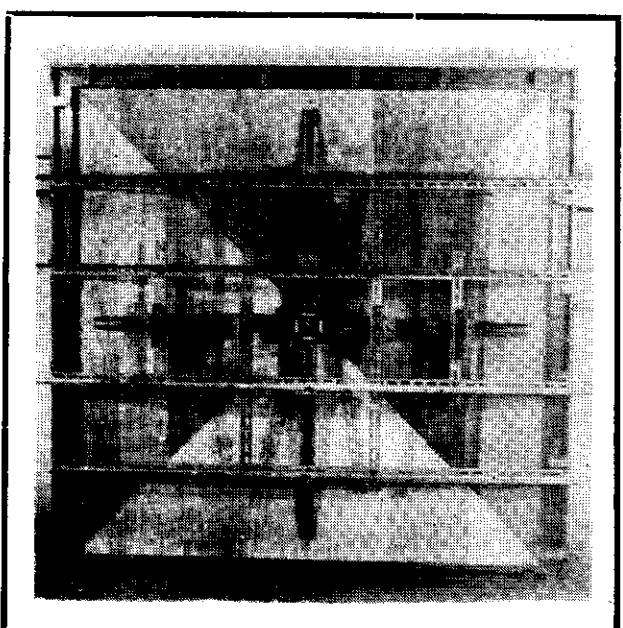
F1 - Vista superior da fôrma.



F2 - Vista inferior da fôrma.

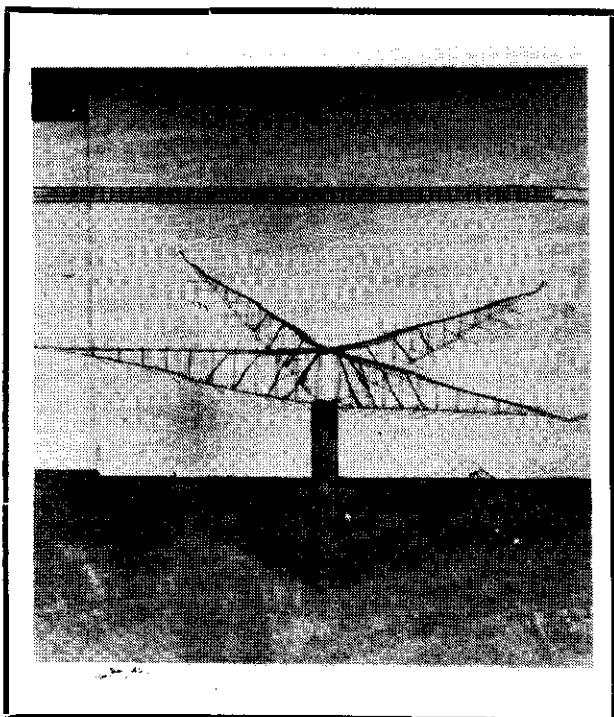


F3 - Fôrma das vigas centrais de enrijecimento e da parte superior do pilar.

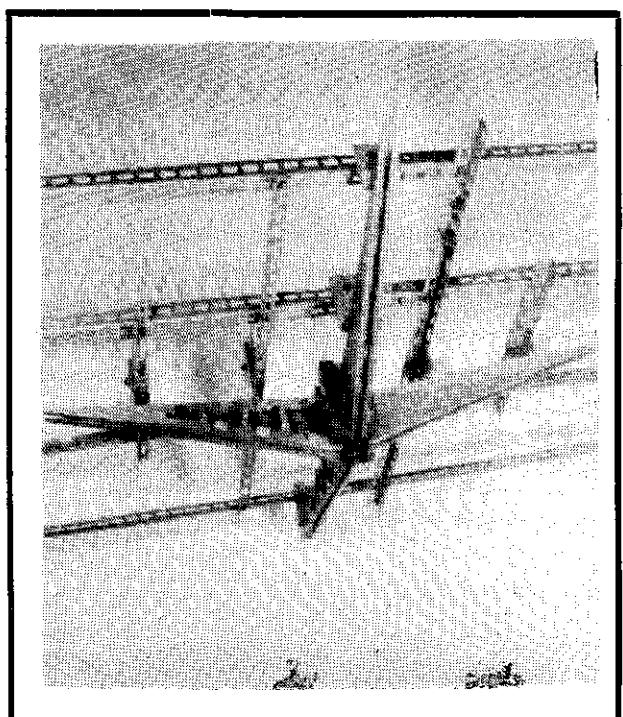


F4 - Vista superior, com a fôrma das vigas centrais já posicionada com auxílio do dispositivo de fixação.

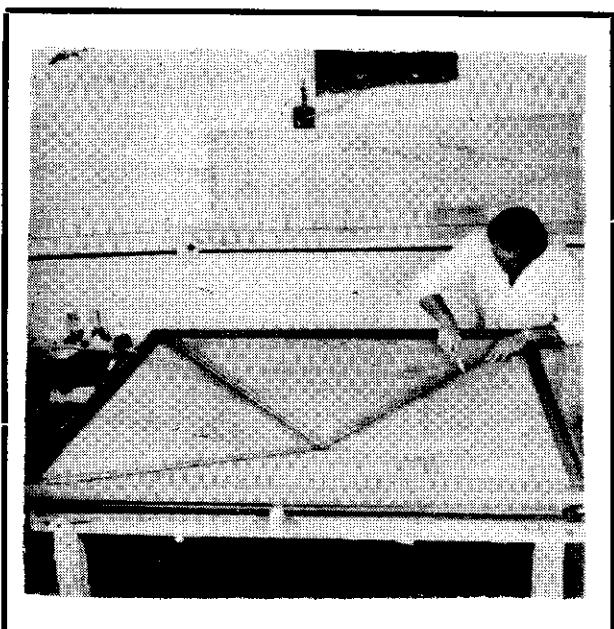
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



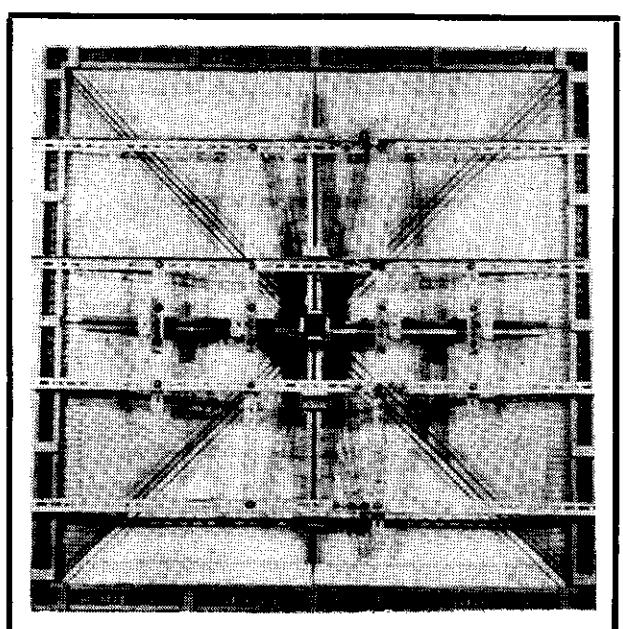
F5 - Armadura das vigas centrais e de uma viga de borda.



F6 - Fôrma das vigas centrais, sustentada pelo dispositivo auxiliar, com a armadura já posicionada.

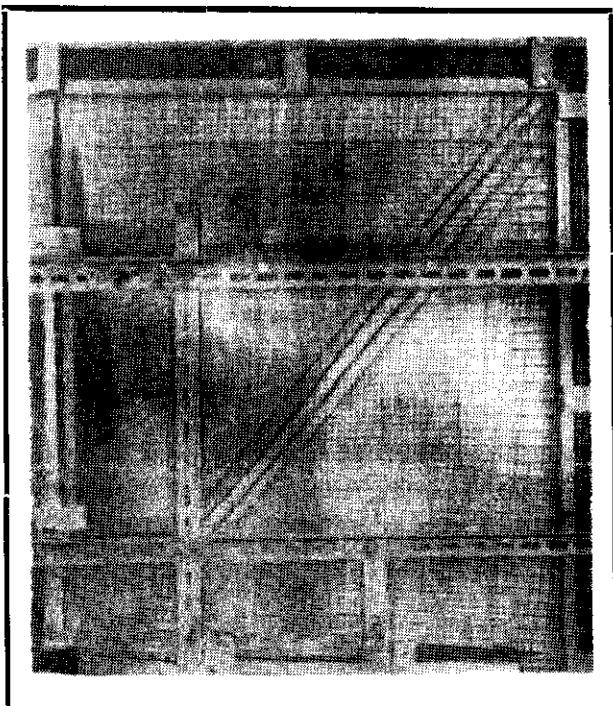


F7 - Posicionamento das armaduras das vigas de borda e dos painéis (telas e tendões).

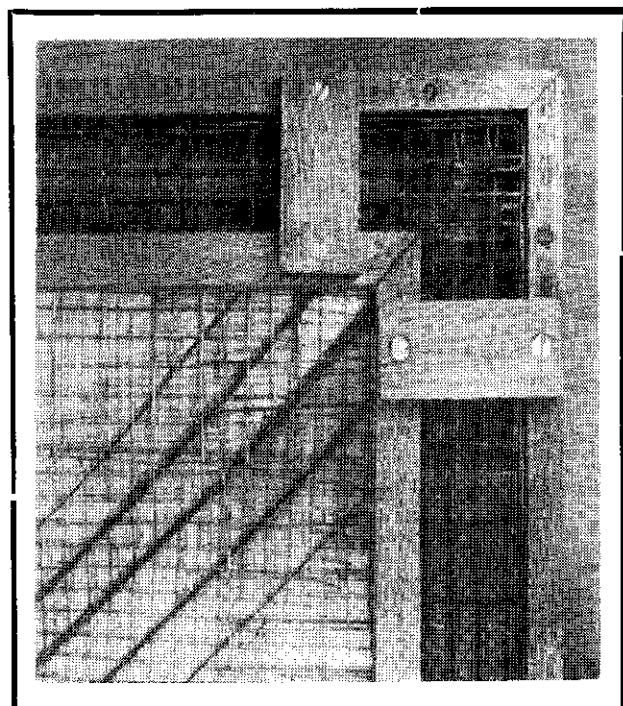


F8 - Vista geral da fôrma com todas as armaduras.

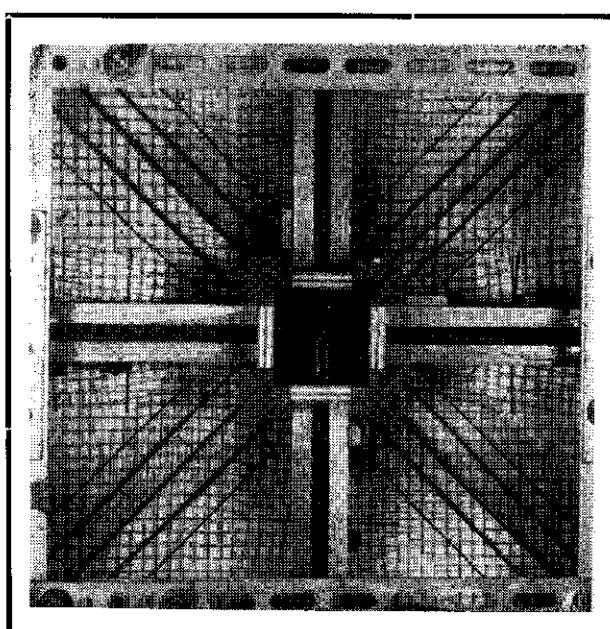
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



F9 - Detalhe das armaduras de um quadrante.

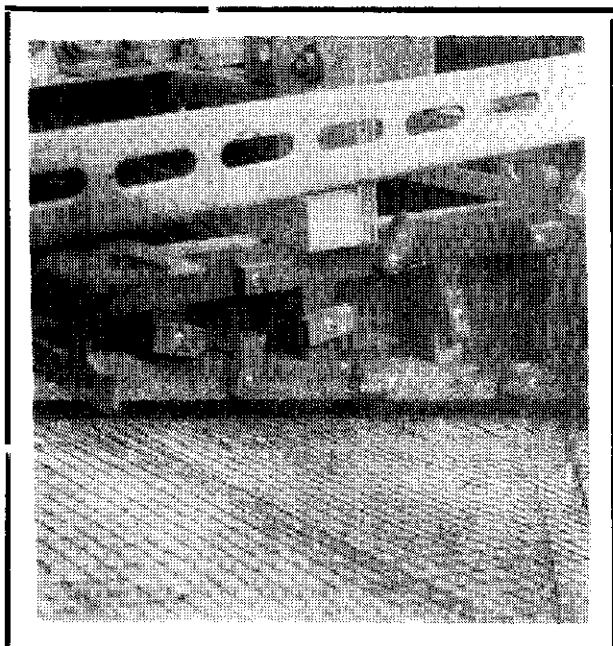


F10 - Detalhe das armaduras de um canto: encontro das armaduras de duas vigas de borda, armaduras em tela e tendões do painel central.

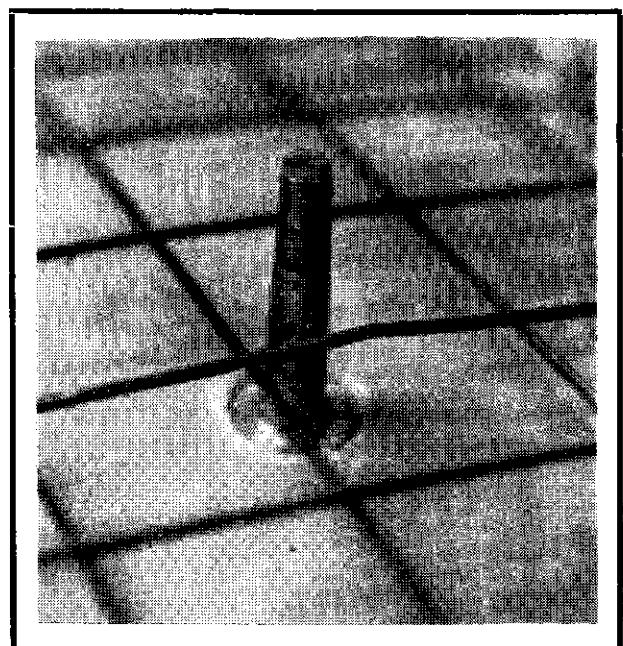


F11 - Detalhe das armaduras da região próxima ao pilar.

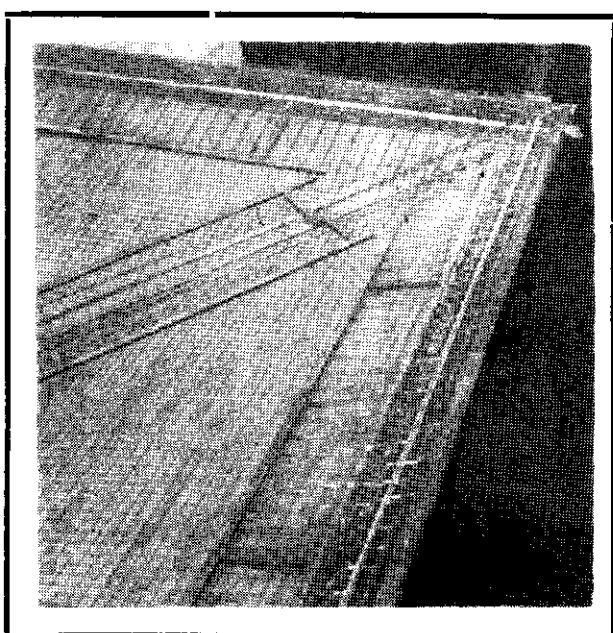
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



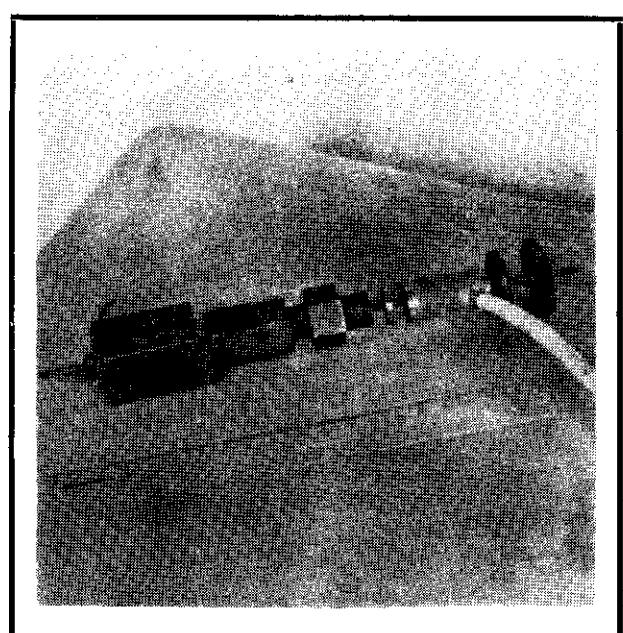
F12 - Detalhe das aberturas das fôrmas das vigas centrais (primeira tentativa para conseguir o perfeito enchimento destas viga).



F13 - Pino metálico utilizado para controle de espessuras (também tentativa inicial).



F14 - Guias metálicas para controle de espessuras (solução final). Nas vigas de borda notam-se os tubos de plástico moldadores dos dutos para a protensão.

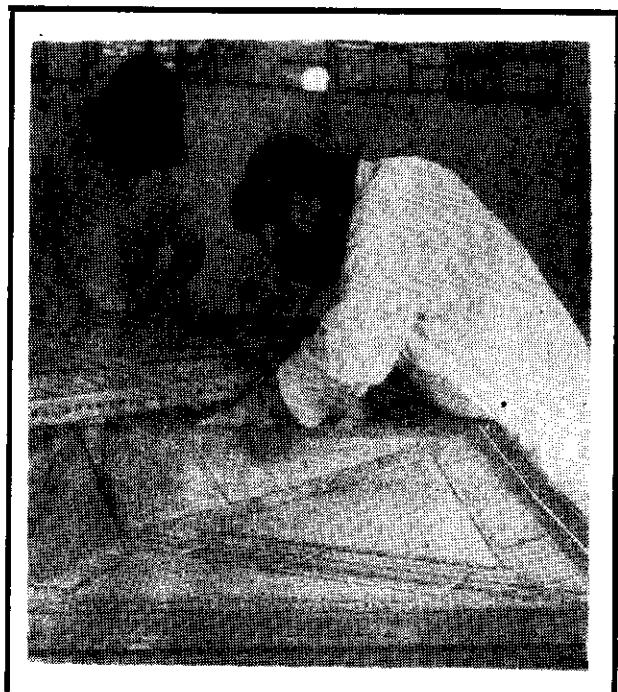


F15 - Dispositivo de protensão utilizado nas vigas de borda e para fixação do modelo: bloco de apoio, macaco (porca-parafuso) e dinamômetro.

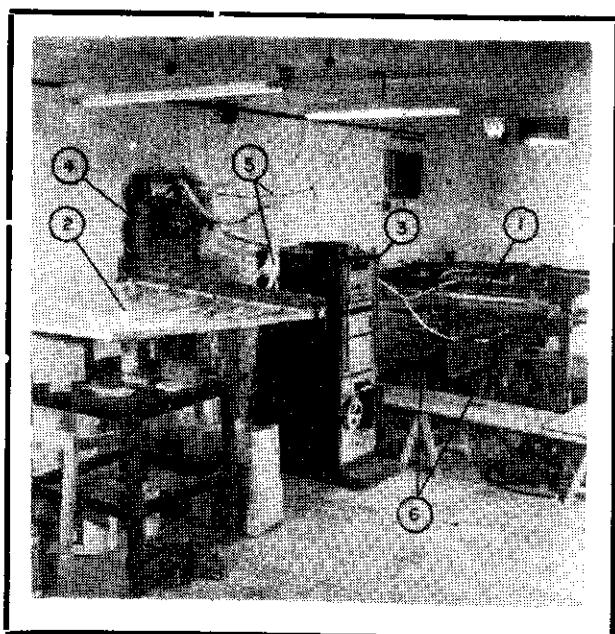
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



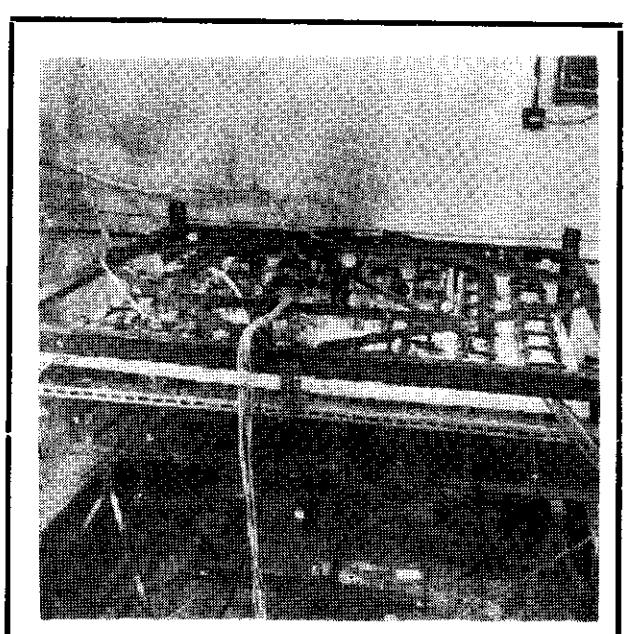
F16 - Fôrma da estrutura em cascas poliédricas, em fase de colocação da armadura.



F17 - Fôrma da estrutura em casca poliédrica com armaduras e guias de espessura já colocadas.

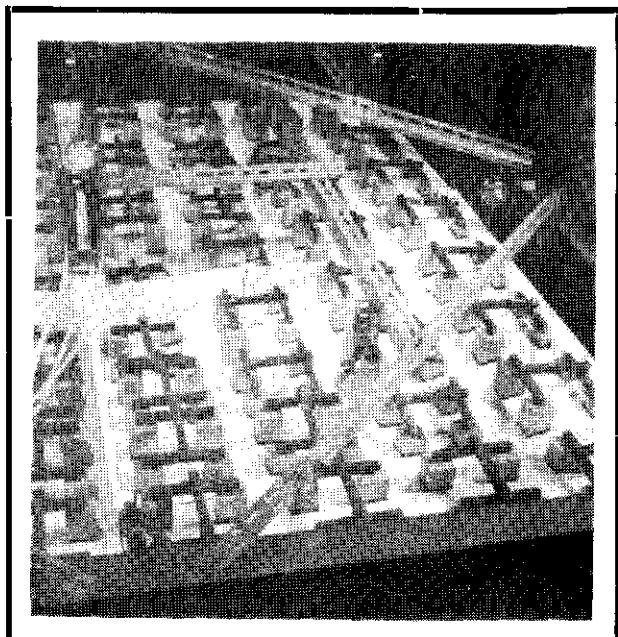


F18 - Conjunto de ensaio: 1- modelo a ser ensaiado; 2- modelo compensador, 3- sistema de aquisição de dados; 4- bloco de complementação; 5- ligações blindadas; 6- dispositivo de carregamento em "árvore".

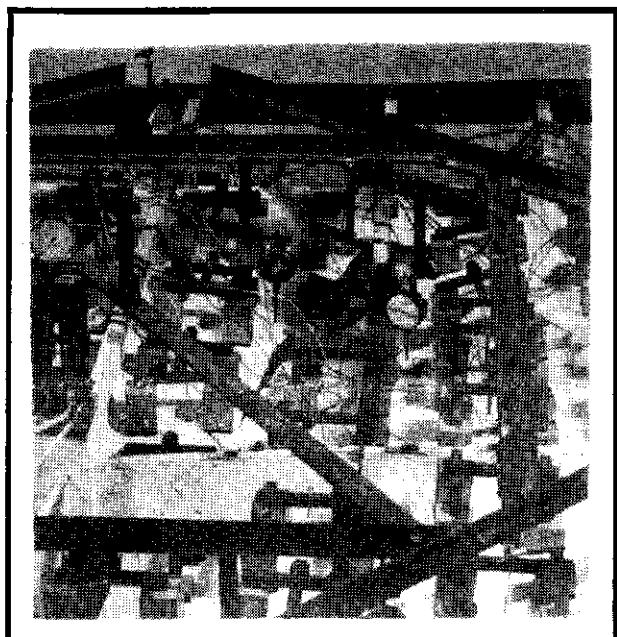


F19 - Dispositivos de repartição de carga por tração e por compressão; defletômetros; ligações blindadas.

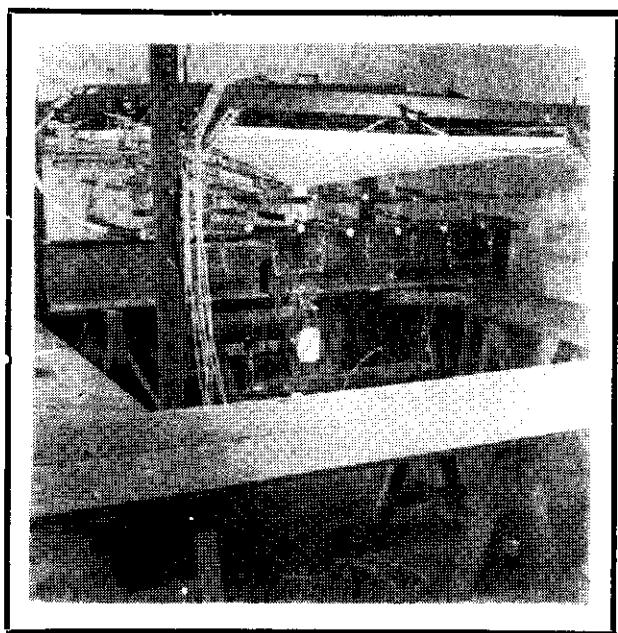
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



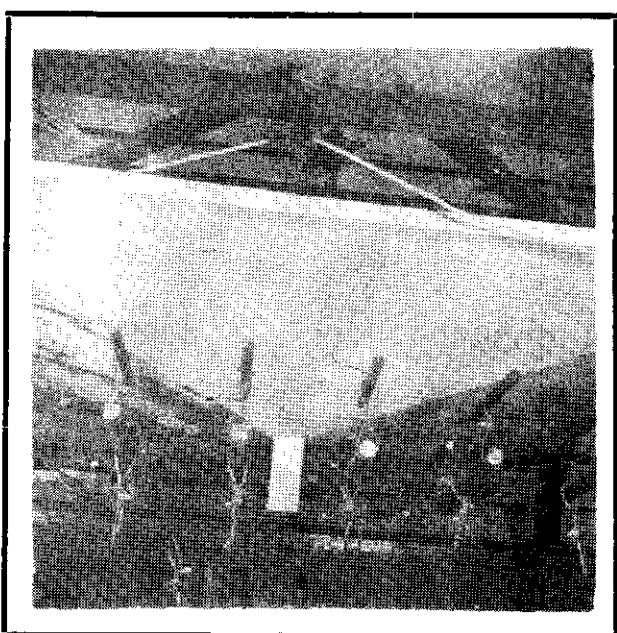
F20 - Dispositivo de repartição de carga por compressão; blocos de distribuição; sistema de fixação. Viga central em ruptura.



F21 - Dispositivo de repartição de carga por compressão. Notar a sua grande capacidade de adaptação às modificações de forma da estrutura, mesmo em condições de ruptura do painel.

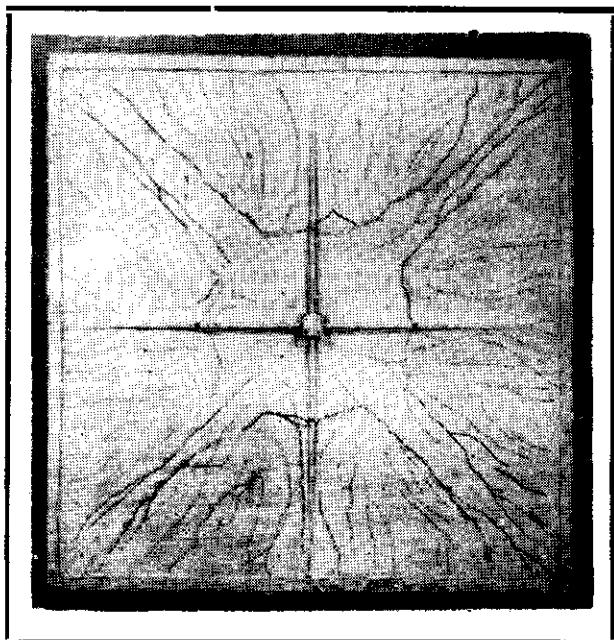


F22 - Vista lateral de um modelo sendo ensaiado. Sistema de carregamento em "árvore".

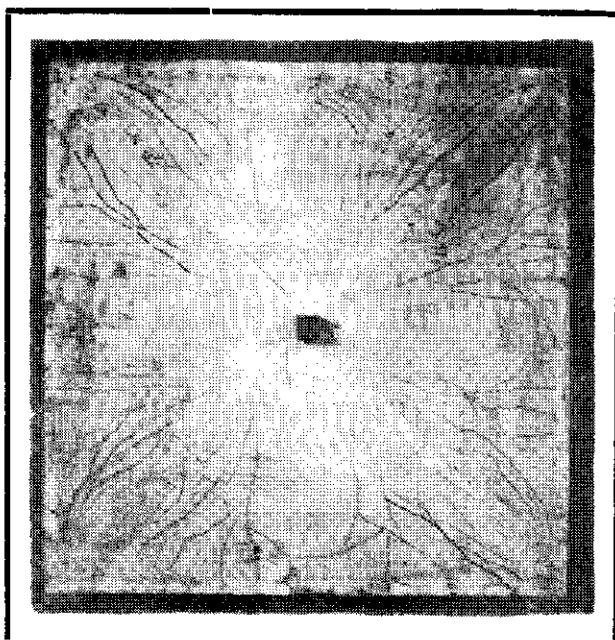


F23 - Vista inferior de um modelo ensaiado. Notar a facilidade de observação das fissuras fornecida pelo dispositivo de carregamento.

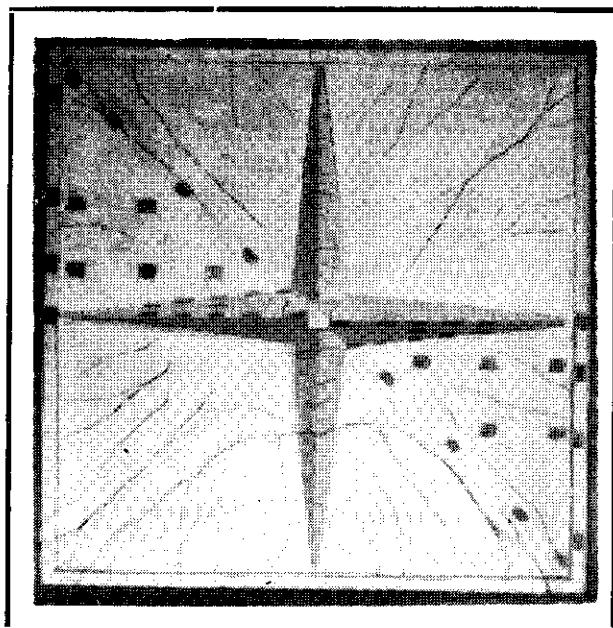
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



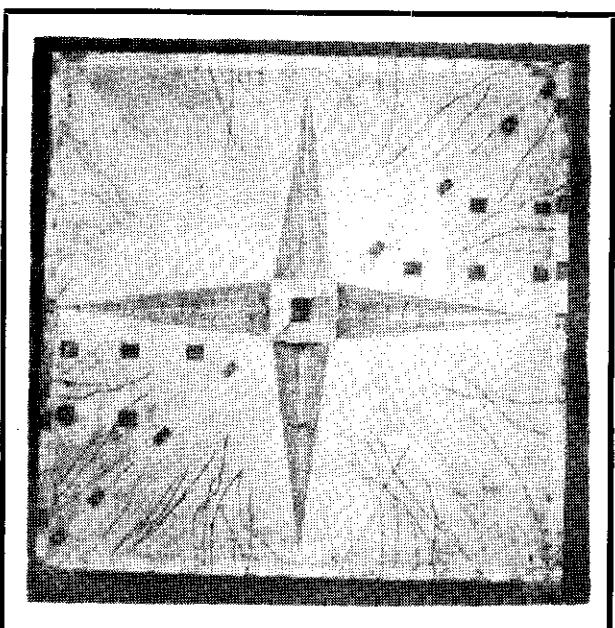
F24 - Vista superior de um modelo com vigas centrais de enrijecimento (M4A).



F25 - Vista inferior do modelo da foto anterior.



F26 - Vista superior de um modelo em casca poliédrica (M5B).



F27 - Vista inferior do modelo da foto anterior.

2 - MODELOS E DISPOSITIVOS DE ENSAIO2.1 - Introdução

Como já observamos, não sabíamos se o comportamento desta casca piramidal seria ditado: pelas vigas de borda atuando como tirantes, ou pelas arestas como escoras, ou pelas faces como chapas, ou pelas vigas centrais de enrijecimento. Para analisar a influência dos diversos elementos adotamos a orientação de variar as suas dimensões, de modo a permitir identificar a repartição das solicitações entre os mesmos.

No desenvolvimento deste estudo, por pretendermos analisar a casca em si, dedicamos maior atenção ao comportamento da estrutura sob carga simétrica, pois se podia antever - e os ensaios o confirmaram - que pela ação de uma possível carga assimétrica o elemento estrutural mais desfavoravelmente solicitado seria o pilar, que, mesmo se protendido, não apresenta maiores dificuldades de dimensionamento. Ainda assim fizemos alguns ensaios com carga assimétrica para obter uma indicação do comportamento da estrutura sob este tipo de solicitação e também para poder avaliar a influência das modificações introduzidas.

Seguindo esta orientação, construímos uma primeira série de 4 modelos, com armadura e dimensões semelhantes (em escala 1:5) às da estrutura detalhada nos desenhos D1.4 e D1.5, somente com a simplificação de considerar as faces

do modelo com espessura constante de 1cm, para facilidade de execução. Essa estrutura, como vimos, é a resultante do estudo em regime elástico e foi considerada como estrutura-base para a definição geométrica das diversas variantes e respectivos comportamentos.

Por isto mesmo e também por uma certa incerteza quanto aos resultados, justificada em parte por então ainda não estar estabelecida a técnica construtiva definitiva, construímos nesta série inicial maior número de modelos, num total de quatro, dos quais três foram ensaiados com carga simétrica e um com carga assimétrica.

Já ao término da construção do quarto modelo, a confiança depositada na técnica, em virtude da superação das diversas dificuldades, permitiu-nos adotar como primeira modificação a espessura variável das faces, tal como tinha sido realmente previsto para o protótipo. Isto significava testar a espessura de 0,5cm no modelo - 2,5cm no protótipo - aproximando-nos mais das características da argamassa armada, além de já nos permitir pensar, por exemplo, num protótipo 10 vezes maior, com 16m de lado e espessura das faces de apenas 5cm.

Em vista da satisfatória - e até surpreendente - coincidência dos resultados da primeira série, resolvemos construir para a segunda série somente três modelos, dois para serem ensaiados com carga simétrica e um com carga assimétrica. Apesar dos ensaios da primeira série terem indicado que a ruína da estrutura se devia à ruptura das vigas centrais de enrijecimento, mantivemos inalterada a sua armadura, uma vez que já estávamos introduzindo uma modificação com a redução da espessura das faces. Os ensaios da segunda série mais uma vez indicaram as vigas de enrijecimento como o elemento determinante da ruína da estrutura.

Assim, a terceira série constou de apenas dois modelos para ensaio simétrico, em que as vigas de enrijeci-

mento foram reforçadas pelo aumento da altura e modificação da armadura (conforme desenho em 3.4). O ensaio assimétrico mostrou-se desnecessário por terem os ensaios anteriores evidenciado que a estrutura se comportava muito bem sob esta solicitação, sendo que as cargas de ruína acusadas foram de mesma magnitude das verificadas nos ensaios simétricos, muito embora a probabilidade de ocorrência de carga assimétrica deste valor seja bem menor. Como era de se esperar a estrutura apresentou maior resistência à ruptura, além de menor deformabilidade nas suas bordas.

Com relação às vigas de borda, já apresentavam na estrutura-base dimensões mínimas, 15cm de altura e 20cm de largura, e portanto qualquer tentativa de diminuí-las determinaria sua virtual supressão, o que forçosamente iria acarretar flechas inadmissíveis, pelo menos esteticamente. Por outro lado, um aumento de altura das vigas, conveniente do ponto de vista de diminuição da flexibilidade das bordas, prejudicaria a estrutura na sua característica arquitetônica de grande esbeltez, além de não ser necessário à resistência das mesmas, como havia sido verificado nos ensaios precedentes. Assim, em lugar de modificarmos as suas dimensões, resolvemos utilizar vigas com protensão que, com suas particularidades construtivas, viriam enriquecer a procura da técnica de ensaio, além de se mostrarem bastante interessantes, principalmente nas possíveis extrapolações, ou seja, em protótipos de mais de 8m de lado. Foi então construída nova série de três modelos, dois para ensaios simétricos e um para assimétrico.

No decorrer dos ensaios mostrou-se interessante uma nova forma estrutural, em que as vigas centrais de enrijecimento seriam substituídas por dobras das faces, passando a assumir a forma de uma casca poliédrica (cf. desenho em 3.6), estrutura que apresenta um certo interesse arquitetônico e possíveis facilidades construtivas, além de modificar justamente o elemento determinante da ruína da estru-

tura até então estudada. Os ensaios, de dois modelos carregados simetricamente e um assimetricamente, confirmaram o melhor comportamento à ruína, e em serviço, desta nova estrutura que, mesmo sem protensão nas vigas de borda, acusou resultados próximos aos da estrutura inicial com vigas de borda protendidas.

Como não podíamos prever em pormenor as variações de comportamento desta nova estrutura, os modelos foram construídos com armadura semelhante à da estrutura inicial, sendo que a armadura das vigas centrais de enrijecimento ficou disposta nas faces inclinadas que substituiam estas vigas.

Os altos valores atingidos pelas cargas de ruptura levam a considerar a possibilidade de eliminação das barras destas faces inclinadas, deixando-se somente a armadura em telas, o que seria de grande interesse construtivo. Neste caso, talvez surgisse a necessidade de protensão nas vigas de borda.

2.2 - Micro-concreto

E a definição dos materiais, dentre os variados aspectos do estudo sobre modelo, o que reputamos fundamental, e uma concordância generalizada com este nosso ponto de vista é fácil de se antever, mesmo por parte daqueles não ligados diretamente à experimentação. A análise minuciosa das características reológicas dos materiais de modelo, que procuram reproduzir as dos materiais usuais, muitas vezes ainda mal definidas, como são as do concreto armado, é uma preocupação constante entre os diversos pesquisadores, principalmente quando se pretende analisar o comportamento da estrutura além do limite elástico.

Entretanto, a complexidade do assunto, e o seu distanciamento das atividades profissionais usuais, talvez expliquem a inexistência de maior número de trabalhos neste sentido, como também o fato de os materiais usados na confecção de modelos serem os mais variados possíveis, muitas vezes seguindo pontos de vista que chegam a ser contraditórios quanto à sua conveniência.

Ao iniciarmos este trabalho, em fase de busca do material conveniente, deparamos com o "General Report" de F. LEVI, apresentado na sessão sobre Problemas Estruturais de Cascas de Concreto Armado (PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON NON-CLASSICAL SHELL PROBLEMS - IASS, 1964, B18), em que é enfatizado o caráter antagônico de dois trabalhos apresentados. No primeiro (G. BROCK, "Predicting the Plasticity of reinforced concrete shell structures by model experiment"), o autor realça a necessidade do material do modelo reproduzir fielmente as propriedades do concreto armado sob quaisquer condições de carregamento. Salienta ainda que a ruptura e a desagregação de um material são determinadas pela sua expansão lateral associada à solicitação de compressão, sendo portanto de fundamental importância a sua lei de variação de volume em função da deformação longitu-

dinal, principalmente nas condições próximas à ruptura. Segundo ensaios realizados por BRANDTZAEG, citados nesse trabalho, a diminuição inicial de volume apresentada pelo concreto é substituída parcialmente, para tensões altas, por um aumento de volume, tendo papel preponderante neste comportamento a presença de partículas grandes. Daí a justificativa para as diferentes leis de variação volumétrica em relação a solicitações de compressão apresentadas pelas argamassas e pelo concreto armado, e a conclusão de que as argamassas não seriam o material conveniente para procurar reproduzir o concreto armado, principalmente em estudos à ruptura. O autor conclui pela indicação do gesso ou, ainda melhor, misturas de gesso e areia, como o material mais interessante para substituir o concreto, tendo por base a maior concordância das suas leis de variação volumétrica.

Já o segundo trabalho, de I. UNGUREANU, M. TANNENBAUM, G. DESCALU et F. DAMIAN, "Recherches sur modèles en mortier de ciment pour l'étude des états limites des voiles en béton armé et en béton précontraint", é francamente favorável ao uso de argamassa para substituir o concreto, seguindo a orientação mais generalizada de utilizar os mesmos materiais em estudos além do regime elástico, em particular na ruptura.

O mais curioso do fato é que, apesar do realce dado por F. Levi ao antagonismo das duas opiniões, inclusive salientando o interesse de um confronto dos dois pontos de vista por ocasião da apresentação dos trabalhos, nenhuma referência foi feita a respeito nas discussões que se seguiram.

O emprego do gesso em substituição ao concreto apresenta pelo menos dois graves inconvenientes: a impossibilidade de reprodução das condições de aderência com os fios de aço, pois o gesso expande ao secar, destruindo a aderência que possa existir, e a dificuldade de obter, para simular o aço, material tal que entre seu módulo de elasti-

cidade e o do aço se mantenha a mesma proporção que entre o do gesso e o do concreto. Com relação à aderência, a solução mais comumente empregada, somente aplicável em alguns casos, é o uso de telas soldadas em que a solidariedade é garantida pela perfeita ancoragem dos nós. Mesmo assim a distribuição das fissuras fica deturpada, ocorrendo um agrupamento na região próxima aos nós. O emprego do gesso seria mais indicado para estruturas não armadas e para estudos de definição de formas, em que a rapidez e economia dos ensaios seriam as suas justificativas principais.

Afiançados na maioria das opiniões até então encontradas, resolvemos adotar o micro-concreto como o material de nossos modelos e acreditamos ter sido uma boa resolução, pois que na continuação de nossos estudos pudemos constatar que é esta a tendência que se nota nos trabalhos mais recentes (C.P. da COSTA, Comportamento até à ruptura de materiais para modelos sob a ação de solicitações triaxiais, 1972, B6; J.L. FIALHO, Análise experimental de tensões, 1969, B8; F. GORISSE, Étude des micro-bétons pour modèles de structures, 1972, B9; R.P. JOHNSON, Strength tests on scaled-down concretes suitable for models, with a note on mix design, 1962, B10; B.W. PREECE, J.D. DAVIES, Models for structural concrete, 1964, B16; F. ROLL, Materials for structural models, 1968, B24; J. TUSSET, J. PERA, J.C. CUBAUD, Étude de modèles réduits de structures en micro-béton armé, 1973, B28).

Insistimos na expressão micro-concreto, e não argamassa, por significarem materiais bem diversos na sua composição e, consequentemente, nas suas propriedades. Embora as duas expressões traduzam material para modelo constituído por cimento, areia e água, guardamos a de micro-concreto para aquele em que o elemento inerte não é constituído por areia comum, mas por mistura de partículas das diversas classes granulares sucessivas, sendo que as maiores participam em proporção mais importante, como no concerto comum.

Ainda assim, não diríamos que este material seja a miniatura perfeita do concreto. Se os componentes grandes podem ser reduzidos em escala, o mesmo não acontece com os miúdos, pela dificuldade de obtenção e por provocarem modificações das propriedades mecânicas do próprio material, motivadas pela alteração das qualidades do cimento e pela exigência de maior quantidade de água para uma mesma trabalhabilidade, com o consequente aumento do volume de vazios.

Por isso mesmo, a procura de um material conveniente para simular o comportamento do concreto, apesar de ser uma constante entre os investigadores, tem tido soluções as mais variadas, notando-se entretanto um denominador comum entre as mesmas, que é o de se manter uma maior proporção dos elementos de maior diâmetro, que seriam então os responsáveis pelas propriedades mecânicas características do micro-concreto. Isto atende em parte às críticas anteriormente apresentadas de G. Brock, quanto ao uso das argamassas.

White, Sabnis e Hanis, por exemplo, recomendam uma quantidade de agregado passando pela peneira nº100 (U.S. Standard) menor do que 10% da areia usada. Na Inglaterra, o Cement and Concrete Association Laboratory usa um agregado constituído de 50% de areia passando pela peneira nº 7 (British Standard) e retida pela nº14, e 50% passando pela peneira nº52 e retida pela nº100. O material entre as peneiras nº14 e nº50 é descartado, utilizando-se assim uma granulometria descontínua, com o propósito de aumentar a trabalhabilidade sem usar excesso de água ou aditivo. Todas estas citações estão em F. ROLL, 1968, B24.

Um estudo interessante e minucioso está em F. GORISSE, 1972, B9, em que o método proposto para a composição de micro-concreto é o mesmo utilizado para os concretos comuns ("Método Dreux-Gorissee"), com necessárias adaptações de alguns coeficientes.

Com relação ao fator águas-cimento a ser utilizado, uma recomendação é de que a água seja suficiente para transformar todo o cimento em gel, condição normalmente encontrada nos concretos comuns. Segundo CZERNIN (H.S. SOBRAL, 1963, B27) isto se dará para fatores da ordem de 0,4.

Diversas outras orientações poderiam ainda ser citadas, entretanto é também opinião geral que pouco adiantaria uma tentativa de estabelecimento de um método geral de composição de micro-concreto, recomendando-se que, para cada local, com os seus materiais disponíveis, e para cada laboratório, com suas possibilidades, seja desenvolvida uma pesquisa para a determinação das convenientes relações águas-cimento e cimento-areia, do máximo tamanho e da graduação do agregado, para que se consiga uma determinada resistência e certa trabalhabilidade.

No nosso caso, desenvolvemos um trabalho inicial de testes de traços, sendo que a seleção do micro-concreto utilizado teve como fatores determinantes uma resistência mínima da ordem de 250 kgf/cm² e uma trabalhabilidade que permitisse moldar as vigas centrais de enrijecimento, altas e esbeltas, com perfeição, além de possibilitar emprego de vibração sem um deslizamento inconveniente do material nas faces inclinadas. São condições construtivas que devem ocorrer no protótipo e são vividas no trabalho experimental. O traço escolhido foi de 1:3 em peso, com fator águas-cimento 0,42.

A areia utilizada, apesar de ter sido sempre de mesma origem, foi pré-composta. Com isto procuramos fornecer ao material a característica de micro-concreto, ou seja, ser constituído de um agregado com composição granulométrica conveniente, além de, simultaneamente, estarmos evitando possíveis variações de suas propriedades, por modificação de um de seus componentes.

A areia foi peneirada em uma série normal de peneiras e depois os grãos retidos nas peneiras com aberturas

ras (em milímetros) de 1,2 - 0,6 - 0,3 e 0,15, foram juntados numa proporção análoga à estabelecida pela EB-4 para a com posição da areia de granulometria ótima.

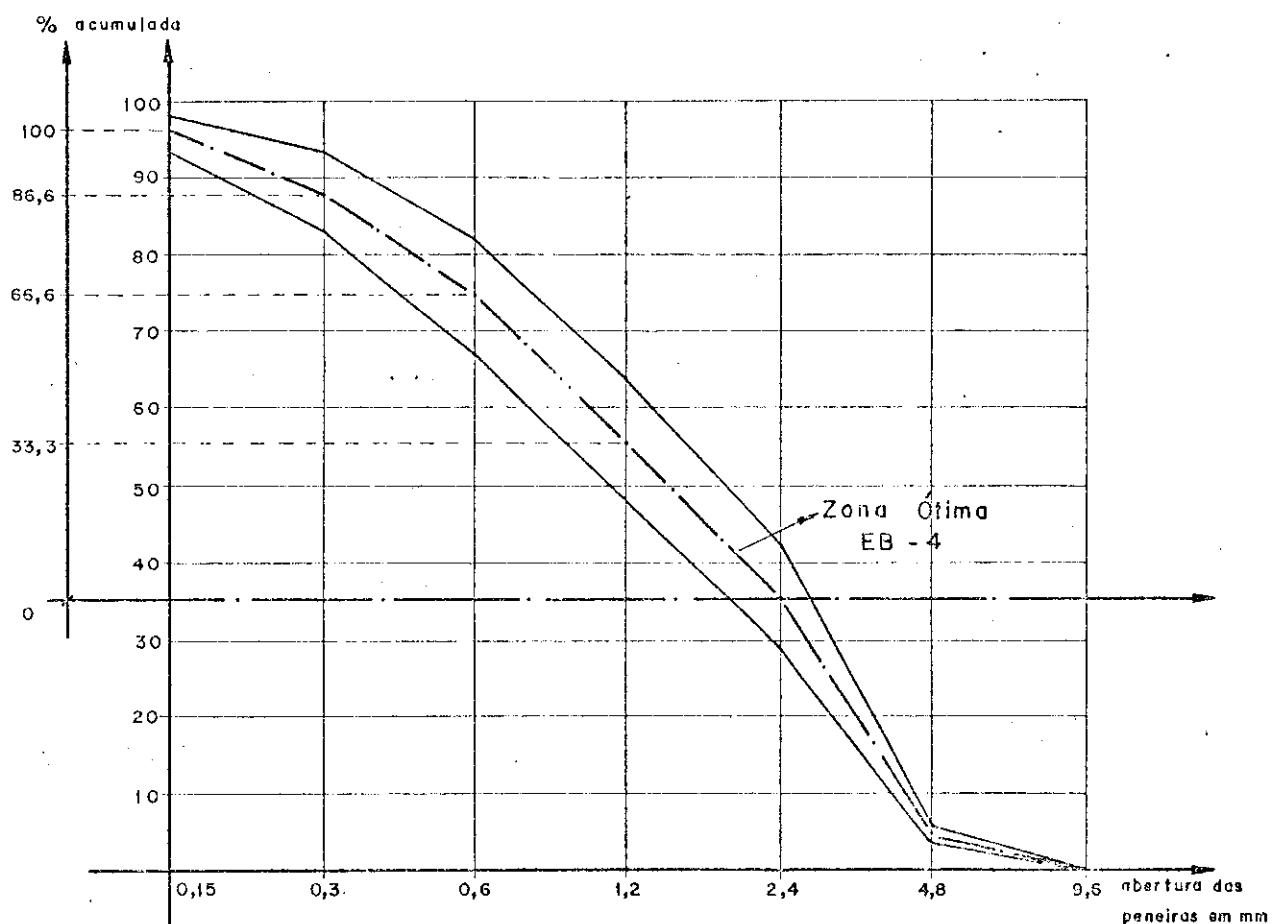
Obtivemos assim um micro-concreto de agregado com granulometria contínua, em que os grãos de tamanho entre 2,4 e 1,2mm participam em 33,3%, os entre 1,2 e 0,6mm em 33,3%, os entre 0,6 e 0,3mm em 20% e os entre 0,3 e 0,15mm em 13,4%. A tabela e o gráfico apresentados ao lado ilustram o que descrevemos.

A utilização de grãos somente de dimensões inferiores a 2,4mm se deve à orientação de termos adotado, como limite, 1/4 da menor dimensão entre os vários elementos a serem moldados (no caso dos primeiros modelos, a espessura das lajes com 1cm).

O micro-concreto, assim obtido, mostrou-se muito conveniente com relação aos aspectos de moldagem, permitindo a obtenção de modelos que podemos considerar perfeitos, além de fornecer uma superfície final acabada bastante regular, importante para a aplicação de extensômetros elétricos.

A sua resistência à compressão e à tração simples foram obtidas por ensaio de corpos de prova cilíndricos de 5cm de diâmetro e 10cm de altura, moldados e curados segundo o Método Brasileiro-2 (MB-2) e ensaiados, conforme prescrições dos MB-3 (Ensaio à compressão) e MB-212 (Ensaio à Tração Simples por Compressão Diametral). Orientações complementares às da ABNT, para a execução desses ensaios, foram obtidas em vários trabalhos, em particular nos de R.P. JOHNSON, 1962, B10 e H.S. SOBRAL, 1963, B27. Os valores de $\sigma_c = 322,9 \text{ kgf/cm}^2$ e $\sigma_{ts} = 30,3 \text{ kgf/cm}^2$, representam, respectivamente, a média dos resultados de 84 corpos de prova com idades entre 28 e 31 dias ensaiados à compressão simples e de 84 corpos de prova com idades entre 28 e 32 dias ensaiados à compressão diamétral.

Peneiras		Composição granulométrica segundo a EB - 4			Composição granulométrica proporcional à zona ótima, desprezados os grãos maiores que 2,4 mm	
ABNT Nº	aberturas nominais (mm)	% acumulada	valor médio da % acumulada	% retida	% retida	% acumulada
	9,5	0	0	0		
4	4,8	3 - 5	4	4		
8	2,4	29 - 43	36	32	0	0
16	1,2	49 - 64	56	20	33,3	33,3
30	0,6	68 - 83	76	20	33,3	66,6
50	0,3	83 - 94	88	12	20,0	86,6
100	0,15	93 - 98	96	8	13,4	100



G 2.1 - Ilustração do procedimento para composição do agregado do micro-concreto .

Apesar de, em geral, terem sido moldados 30 corpos de prova para cada modelo, sendo 12 ensaiados à compressão, 14 à tração e 3 para a determinação do módulo de elasticidade, muitos não foram utilizados para a determinação do valor médio de σ_c e σ_{ts} por terem sido ensaiados com idade muito superior a 28 dias, por ocasião do ensaio do próprio modelo, que, por motivos vários, teve que ser postergado algumas vezes.

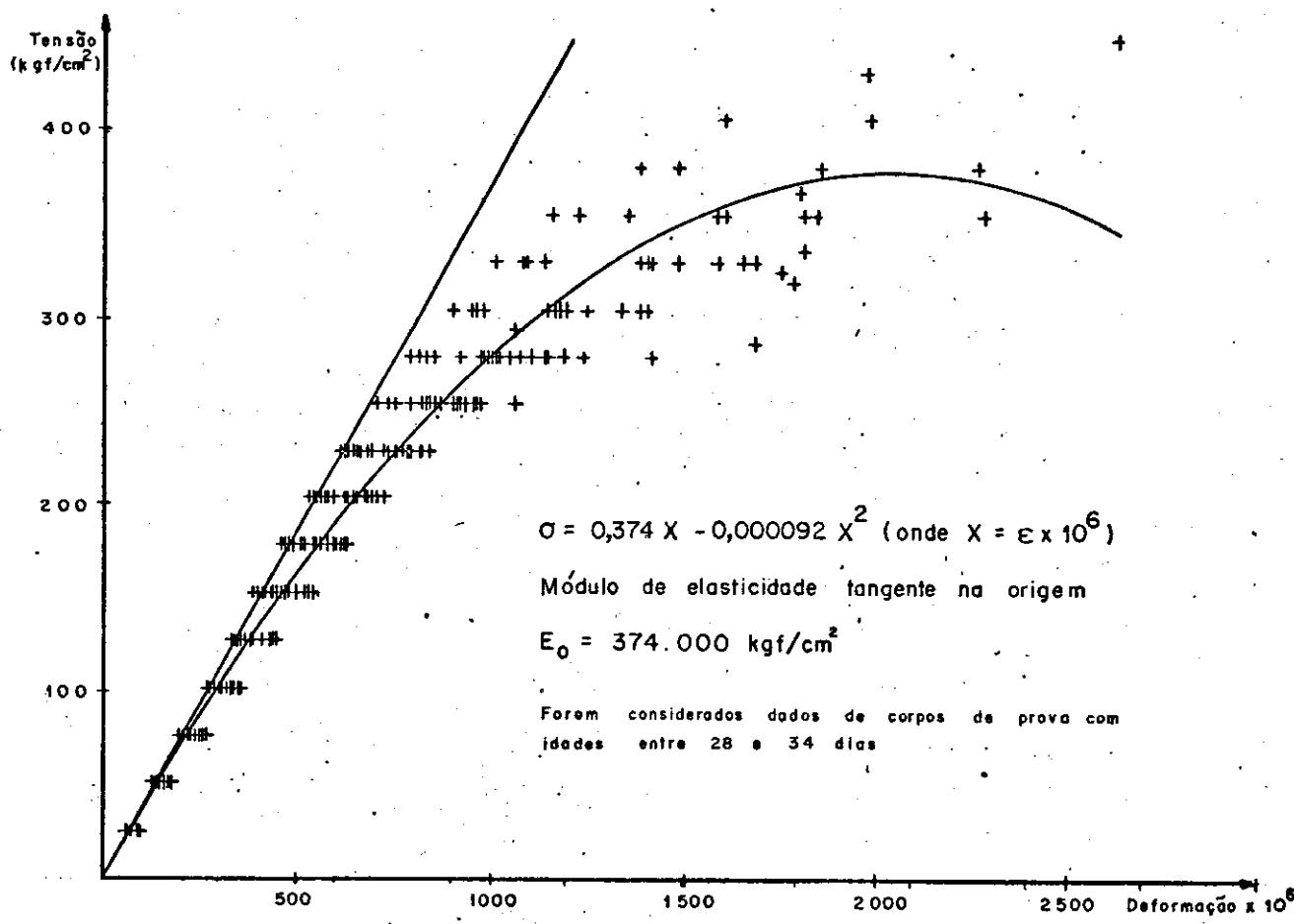
Para a fixação do número de corpos de prova por modelo seguimos a orientação de H.S. SOBRAL, 1963, B27. Admitimos ainda que, no nosso laboratório, tivéssemos coeficientes de variação semelhantes aos por ele determinados, ou seja, de 10% no ensaio de resistência à compressão e 15% no de tração. Com estes valores SOBRAL conclui ser maior que 7 para a compressão, e maior que 12 para a tração, o número de corpos de prova para cada ensaio, a fim de se ter 95% de probabilidade de que sua média difira de menos de 10% da média que se obteria com um número infinito de corpos de prova.

Uma vez ensaiados os nossos corpos de prova constatamos que os coeficientes de variação conseguidos, respectivamente para a compressão e para a tração, foram de 13,2% e 16,4% (valores correspondentes às resistências médias já apresentadas), mostrando que os números de corpos de prova utilizados, 12 para a compressão e 14 para a tração, estão compatíveis com as condições do nosso laboratório. Com esses coeficientes de variação o número de corpos de prova para cada um dos ensaios deveria ser maior que 9 para a compressão, e maior que 13 para a tração, para que os resultados tivessem a confiança previamente estabelecida.

Os ensaios para a determinação do módulo de elasticidade foram realizados seguindo a mesma orientação do ensaio de compressão, sendo as deformações medidas com extensômetros elétricos de resistência. Com os resultados

dos ensaios de corpos de prova com idades entre 28 e 34 dias, obtivemos a curva tensão-deformação representada no gráfico abaixo, que na origem apresenta um módulo de elasticidade tangente de 374.000 kgf/cm^2 .

Este mesmo micro-concreto foi utilizado na moldagem das demais séries, apesar dos painéis centrais terem espessuras de apenas 0,5cm, orientação seguida principalmente por não querermos modificar o material entre os diferentes modelos, cujos resultados de ensaios deveriam ser comparados entre si. Observamos que a conservação do limite de 0,24cm para os grãos de areia não causou nenhuma dificuldade para a obtenção daquelas espessuras.



G 2.2 – Curva tensão – deformação do micro-concreto.

2.3 - Fórmas

Uma vez definido o material conveniente, são o projeto e a confecção da fôrma que respondem pela possibilidade de se obter um bom modelo. De fato, de um projeto bem elaborado e de uma confecção aprimorada dependem as facilidades de enchimento e desforma, a exatidão das medidas e a suficiente rigidez para garantir a manutenção da forma estabelecida. Lembremos que imprecisões geralmente admitidas em trabalhos usuais representam distorções inaceitáveis quando transpostas para as dimensões do protótipo. Quanto maior o fator de redução, tanto mais delicado e preciso se torna o trabalho de confecção da fôrma, muitas vezes aumentando, em lugar de diminuir, o tempo gasto nesta atividade, principalmente quando o modelo deve retratar o comportamento da estrutura até à ruptura, quando então reproduções de particularidades da mesma se fazem necessárias.

No caso de modelos em micro-concreto estes cuidados, na construção da fôrma, devem ser intensificados, por ser o micro-concreto material de tempo de lançamento limitado, não muito fluido, que exige vibração, que não permite correções de forma posteriores ao seu endurecimento e cujos eventuais vazios, provenientes de falhas de enchimento, não são perfeitamente preenchidos.

Na estrutura em estudo, embora possa parecer à primeira vista que a construção da fôrma tenha sido simples, pela predominância dos grandes painéis planos, fotos F1 e F2, ao contrário, exigiu trabalho paciente e por demais demorado. A própria inclinação destes painéis obrigou a um ajuste de suas bordas em ângulos muito especiais, de difícil execução, mas de grande importância para o perfeito acoplamento dos vários elementos.

Por pretendermos, com poucas fôrmas, construir um grande número de modelos, as mesmas tiveram que ser pro-

jetadas de modo a permitir desformas e montagens as mais fáceis possíveis, para que não ficassem prejudicadas com os sucessivos reaproveitamentos. Esta facilidade de desforma foi também uma exigência para garantir a integridade do modelo que, neste caso de estruturas laminares, se compõe de elementos muito delgados e portanto de fácil danificação.

Devido à sua própria esbeltez, estas estruturas tendem a apresentar efeitos de retração bastante pronunciados, o que, além de exigir uma cura bem cuidadosa, determinou que prevíssemos, na confecção da fôrma, a possibilidade de remover, logo após a moldagem, os elementos que impedissem a livre movimentação da estrutura. Esta remoção mostrou-nos, posteriormente, constituir uma grande vantagem para a execução do acabamento e, por isso mesmo, uma necessidade nos modelos em micro-concreto, o que ainda comentaremos oportunamente. Em fôrmulas nas quais não há possibilidade de retirar estes elementos, uma solução usualmente adotada é a de revestir suas superfícies internas ou com madeiras tipo balsa, guapuruvu, paineira, ou com isopor ou outro material que possa ser esmagado na movimentação da estrutura. E, entretanto, um requinte construtivo que necessita ser refeito em cada reutilização.

Por todos estes motivos a fôrma resulta, geralmente, constituída de um grande número de elementos, sendo necessário, para sua rigidez e estabilidade, prever reforços (F2) e uma conveniente estrutura auxiliar de sustentação, que garantam a forma e as dimensões de projeto, mesmo com a movimentação provocada pela vibração quando do lançamento do concreto. Cumpre notar que o nosso primeiro modelo sofreu um empenamento de alguns centímetros em sua borda, o que, nos demais, foi evitado com a colocação da fôrma em sua forma exata por meio de encunhamento e ajustes da estrutura de sustentação, operação esta orientada por um nível topográfico.

Dentre os vários materiais utilizáveis para a confecção da fôrma, os escolhidos foram a madeira compensada à prova de água para as peças superficiais e cedro para as demais. A preferência por estes tipos de madeira se deve às suas características: boa trabalhabilidade, exigência imposta pelas formas especiais das peças; firmeza, possibilizando reutilizações com um mínimo de reparos; relativa resistência ao ataque de umidade e de cimento, inevitáveis mesmo com a proteção prevista; baixo inchamento e retração por variação de umidade em relação ao apresentado por outras madeiras.

A fôrma projetada pode ser considerada como constituída de dois conjuntos distintos: o que define a parte inferior do modelo - pilar de sustentação, faces planas e vigas de borda - (F1 e F2), e o que molda as vigas centrais de enrijecimento e o topo do pilar (F3), fixado ao conjunto inferior por uma estrutura auxiliar, (F4, F6).

A fôrma destas vigas centrais, devido às dificuldades encontradas no seu enchimento, sofreu uma série de modificações. Do recurso inicialmente utilizado, de orifícios para introdução do micro-concreto (F3, F6 e F12), evoluímos, após várias tentativas, para a solução final de remoção total das fôrmas laterais, após um enchimento parcial destas vigas, quando então eram preenchidos os inevitáveis vazios. A remoção desta parte da fôrma, e portanto da estrutura de fixação, completada com a das faces internas das vigas de borda, facilitou o trabalho de acabamento e permitiu um perfeito controle do enchimento, o que será melhor descrito e comentado no ítem 2.5, referente à moldagem.

Como é necessário em trabalhos de madeira, principalmente quando em contato com agentes como água e cimento, a fôrma sofreu um criterioso processo de proteção, que tinha ainda a finalidade de facilitar a desforma. Neste sentido todos os seus elementos foram revestidos com uma

camada de verniz resistente àqueles agentes e as faces que estariam em contato com o concreto, após terem sido regularizadas pela ação de lixa d'água, foram reenvernizadas. Em seguida, sobre o verniz já seco, foram aplicadas duas camadas de cera vegetal.

Apesar da existência desta camada protetora impermeabilizante houve penetração de nata de cimento nas juntas entre os elementos, o que nos obrigou, em cada reutilização, a desmontar totalmente a fôrma para perfeita limpeza destas juntas, sem o que foram observadas variações de dimensões e, principalmente, de inclinações entre os elementos. Assim, a camada de proteção tinha que ser removida e então refeita. Aliás foi notado que, na desforma, parte desta proteção já saía aderida às faces do modelo, tornando obrigatória a sua reparação.

Esta aderência mostra que alguma reação deve ter se processado entre verniz, cera e cimento, mas não foi possível verificar se a mesma chegou a afetar as qualidades das camadas superficiais do micro-concreto.

É possível que esta camada protetora, assim construída, tenha complementado a ação das medidas preventivas - remoção de alguns elementos da fôrma e cura cuidadosa - no sentido de evitar que ocorresse qualquer impedimento de movimentação do modelo, em relação à fôrma, em sua retração.

A dúvida constante, se peças como o pilar e vigas altas tinham ficado perfeitamente cheias, mostrou-nos a conveniência de construir uma ou mais faces da fôrma destes elementos em plexiglas ou outro material transparente.

Diante da intenção de construirmos vários modelos, foi necessário dispormos de três fôrmulas para que o trabalho não sofresse interrupções. Assim, num cronograma bastante rápido do uso das formas, teríamos: uma sendo ocu-

pada por modelo já fundido; outra, proveniente de uma des-forma, sendo recuperada; e a terceira sendo utilizada para o posicionamento da armadura de uma próxima moldagem.

Isto nos possibilitou, num ritmo que consideramos superior ao normal e conveniente para um trabalho dessa natureza, moldar, instrumentar e ensaiar 15 modelos em 10 meses. Neste período ainda foram processadas várias modificações da forma, além de o trabalho ter sofrido algumas paralisações.

2.4 - Armadura: fabricação e posicionamento na forma

Vimos no estudo do material para reprodução do concreto a conveniência, ou mesmo exigência, de se usar no modelo o mesmo material do protótipo, quando pretendemos reproduzir o comportamento da estrutura além do regime elástico, ou nos estados limites últimos.

A escolha do material para simular a armadura, usual ou de protensão, deve seguir a mesma orientação, pois que os fatores de escala de tensões e de deformações devem ser os mesmos para ambos os materiais: concreto e aço. A fixação de um dos materiais condiciona a do outro.

A tentativa de uso de material diferente para a reprodução do concreto, com consequente relação entre módulos de elasticidade diferente da unidade, obrigaria à utilização de material também diferente para reproduzir o aço, de modo que aqui se repetisse aquela relação, o que seria muito complexo de se obter, quando não impossível, principalmente por serem bem poucos os materiais que apresentam propriedades características semelhantes às do aço. Exceto o próprio aço, que pode ter suas propriedades modificadas dentro de certos limites, algumas experiências têm sido realizadas utilizando liga de fósforo e bronze, quando do emprego de modelos de gesso (B.W. PREECE e J.D. DAVIES, 1964, B16; F. ROLL, 1968, B24; R.E. SHEWMAKER, M. XANTHAKIS, M. A. SOZEN, 1963, B26).

Mesmo quando fixada a orientação de se utilizar no modelo o mesmo material do protótipo, ou seja, o aço, as dificuldades não são poucas. Primeiro, não são fornecidos pelo comércio fios de aço em todos os diâmetros que se possa desejar, permitindo-nos inclusive afirmar que a relação de semelhança de dimensões a ser adotada entre protótipo e modelo fica na dependência do diâmetro do fio de aço disponível. Depois, o que é mais grave, não são oferecidos fios nas diferentes categorias. Normalmente os fios mais

finos, devido à sua maior trefilação, apresentam características diferentes das dos fios de diâmetros maiores. Para se evitar este inconveniente, uma sugestão (H.J. COWAN, et al., 1968, B7), é substituir, no modelo, várias barras do protótipo por uma única que seria de diâmetro maior e portanto, às vezes, permitindo conservar as características das barras do protótipo. É evidente que tem sua aplicação restrita aos casos em que as modificações da disposição da armadura e das condições de aderência não afetam o fenômeno a ser observado.

Têm sido também feitas algumas tentativas no sentido de corrigir as propriedades apresentadas por alguns fios, procurando aproximá-las às da armadura do protótipo, quando do uso de mesmos materiais, ou estabelecendo a condição de semelhança imposta no caso de materiais diferentes. São entretanto pouco numerosas, em vista das limitadas possibilidades apresentadas pelos fios finos, valendo-se em geral dos recursos usuais de recozimento, torção, compressão transversal, estiramento, relaminação e trefilação, os quais, salvo o recozimento, que pode ser realizado com certa facilidade, só podem ser tentados quando do uso de pequena quantidade de armadura.

Quando do início dos nossos trabalhos, diante desta mesma dificuldade - a não disponibilidade de fios de aço com diâmetros e especificações desejados - e ainda não contando com condições de laboratório para tentar qualquer das medidas corretivas citadas, além da realização de um recozimento, tentamos a solução junto à indústria produtora das telas previstas no projeto. Após aproximadamente seis meses de contínuos contatos pudemos considerar termos sido atendidos no que diz respeito aos diâmetros - para solicitações de 0,5; 0,7; 0,96; 1,3; 1,9 e 2,54mm, recebemos fios de 0,49; 0,70; 1,02; 1,33; 2,00 e 2,42mm - mas não quanto às especificações - os fios de 0,5mm que deveriam reproduzir a tela, apresentaram uma resistência à ruptura

de aproximadamente 8.000 kgf/cm^2 , portanto bem superior aos 6.600 kgf/cm^2 das telas.

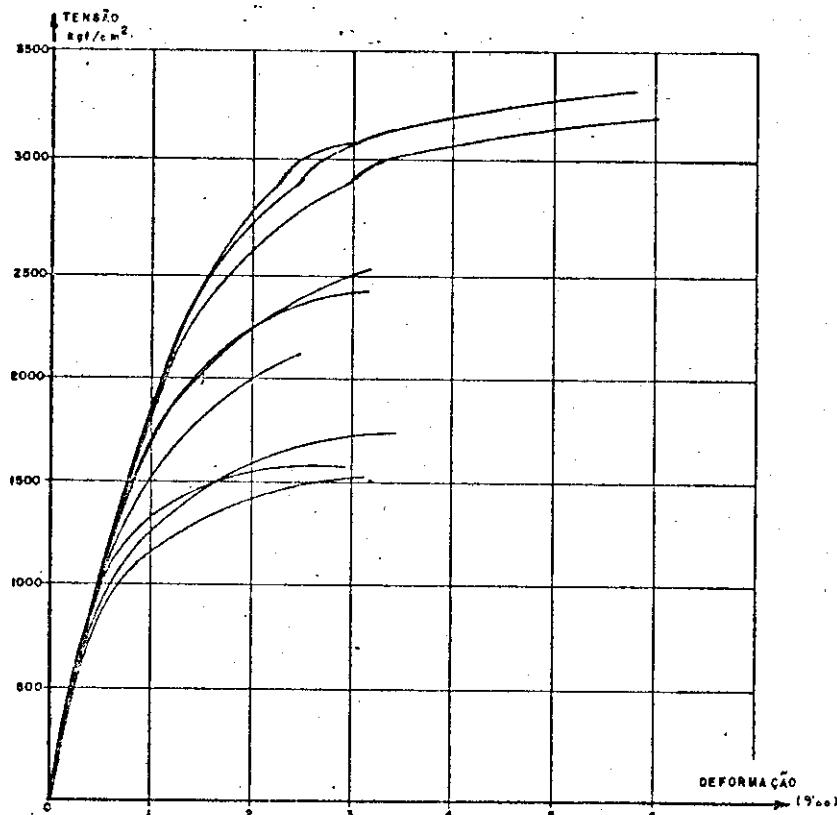
Citamos o fato não como crítica, pois compreendemos a dificuldade, ou mesmo impossibilidade, da produção de um material fora das especificações normais de fabricação, mas como um alerta no sentido de que esta não deve ser a solução esperada, ou pelo menos deve-se tentar, simultaneamente, uma solução própria.

Essa diferença de especificação passou a ter significado menor, após a informação dos fabricantes destas telas de que a tensão de ruptura de 6.600 kgf/cm^2 representa um mínimo por eles garantido, sendo que normalmente a armadura acusa resistência bem superior. Por outro lado, os ensaios mostraram que a ruptura da estrutura não é ditada pela das peças armadas preponderantemente por telas, mas sim pela das vigas de enrijecimento armadas com barra de aço CA-24, as quais tiveram suas especificações melhor respeitadas.

Como vimos, a armadura do projeto da estrutura-base era constituída fundamentalmente de tendões de aço CA-24 e telas soldadas, de malha quadrada ($5 \times 5 \text{ cm}^2$), de fios de aço CAT-60 de 2,6mm de diâmetro.

A reprodução dos tendões pareceu-nos inicialmente relativamente simples por se tratar de aço CA-24. Em geral os fios finos, por sua maior trefilação, como dissemos, apresentam características diferentes das do aço CA-24, mas por recozimento esperávamos facilmente restabelecê-las, o que, de certo modo, já era prática corrente no Laboratório. Entretanto, os aços recozidos em épocas diferentes apresentaram uma grande e inesperada variação de características, como se pode observar no gráfico apresentado a seguir, apesar de todo o cuidado tomado em manter sempre as mesmas condições do recozimento. Isto veio reforçar a evidência da necessidade do desenvolvimento de uma pesquisa que esta

beleça os tratamentos de aço mais convenientes para a correção das propriedades dos aços de fios, assemelhando-as às dos aços de que normalmente se dispõe nas barras.



G2.3 - Curvas tensão - deformação de fios recozidos

Para o recozimento, como somente dispúnhamos de pequenos fornos, os fios tiveram que ser dispostos em pequenos rolos, de modo que ao serem novamente retificados apresentaram uma série de ondulações que precisaram ser corrigidas. Apesar de se constituir numa operação delicada e demorada, pode ser enfrentada por serem os tendões de comprimentos pequenos, os maiores com 1,70m, e num total também relativamente pequeno de aproximadamente 2.500m. Inicialmente esta retificação era conseguida com pancadas leves, executadas com uma marreta de madeira, sobre os fios apoiados numa base também de madeira. Posteriormente esta operação foi simplificada, tomando-se um feixe destes fios e trabalhando-o com uma tábua, num movimento de vai e vem, com

o que conseguimos resultado bem melhor e mais rápido.

O tratamento térmico destes fios provoca ainda a formação de uma camada superficial de óxido de ferro, que precisa ser removida. Para isto devem ser colocados em uma solução de ácido clorídrico, em seguida lavados com água e posteriormente secados.

Esta armadura recozida reproduzia as barras de aço CA-24 que, de acordo com o projeto (D1.4 e D1.5), eram dispostas nos contornos das faces e também compunham a armadura das vigas centrais e de borda. Nas faces, estes tendões, além de contribuirem para a resistência da peça, auxiliavam o posicionamento das telas (F7, F8, F10). Nas vigas, todos os pontos de cruzamento dos tendões com os estribos eram soldados, formando um conjunto rígido (F5), única forma de mantermos em posição a armadura, que depois era facilmente colocado na fôrma (F7 e F17).

A utilização de solda por estanho requer o uso de solução ácida para limpeza das superfícies a serem soldadas, o que provoca a oxidação da armadura, sendo portanto necessária a remoção da solução logo após o término da operação de soldagem. Para evitar esta oxidação, a armadura era lavada em água, secada e mantida imersa em areia seca até o momento de sua colocação na fôrma.

Com relação aos fios de aço para a confecção das telas, apesar da diferença de especificação já comentada, não foi tentada nenhuma correção no laboratório, não só por faltarem condições, mas também pelo total a ser utilizado, de aproximadamente 20.000m.

Na confecção das telas tivemos uma solução bastante particular, consequência, digamos, da obstinação de construir um modelo que fosse a reprodução mais fiel possível do protótipo. Neste propósito não quisemos adotar simplificações como a de agrupar várias barras em uma única,

o que poderia prejudicar as características de argamassa armada das faces, nem a de soldar somente parte dos nós, o que deturparia as condições de solidariedade, que nas telas é muito influenciada pelos seus cruzamentos, perturbações que poderiam modificar a formação das charneiras e a resistência do material.

Ao pretendermos construir a tela com todos os seus nós soldados não poderíamos utilizar a solda com estanho por ser processo muito demorado, por determinar engrossamentos dos nós e portanto maior rigidez da própria tela, por causar um ataque da armadura pela solução ácida empregada, que neste caso não poderia ser removida logo após seu uso e, principalmente, porque o aquecimento necessário forçosamente provocaria modificação nas qualidades do aço de alta resistência a ser empregado.

A solução encontrada foi a utilização de solda a ponto, mas para isto tivemos que construir uma miniatura de máquina de soldar, em que o controle da soldagem não era feito pelo tempo de passagem de corrente elétrica, como é usual, porque com este sistema não se conseguiria impedir o rompimento dos fios de 0,5mm a serem utilizados, mas pela dosagem da intensidade de descarga eletrolítica armazenada em condensadores. Esta descarga foi limitada de modo a manter uma outra característica das telas, a dos fios não se romperem nos nós quando ensaiados à tração, o que mostra que a solda não prejudica a resistência dos mesmos.

Este sistema, em face do pequeno aquecimento causado pela descarga instantânea, mantém as características do aço de alta resistência e ainda, pela rapidez de execução permitida, tornou viável a confecção de aproximadamente 52.000 pontos de solda por modelo, conservando, portanto, a importante propriedade de perfeita ancoragem das telas, garantida pelos seus cruzamentos.

A ligação conseguida com este dispositivo de solda mostrou razoável resistência para solicitações nas dire-

ções dos fios, que é, aliás, como trabalham quando dentro do concreto. Durante o manuseio da tela, porém, aparecem solicitações que tendem a modificar a perpendicularidade entre fios, e para estas a resistência da solda é bem menor, com o que muitos pontos tinham suas ligações desfeitas. Para evitar o aparecimento destas indesejáveis solicitações a tela foi imprensada entre dois moldes de madeira, com o formato final da tela dobrada, o que tornou muito mais simples o trabalho de corte, dobramento e mesmo de reparo de pontos de solda que inevitavelmente se soltavam.

As telas, com as dobras já executadas, foram facilmente colocadas na fôrma, sendo sua fixação e perfeito posicionamento conseguidos com o auxílio da armadura em tendões e de cavaletes (F7, F10, F11). Os cavaletes utilizados foram simplesmente grampos de papel, fixados à fôrma com o próprio grampeador (Fig. 2.1). Para que a tela ficas se a uma distância precisa da superfície da fôrma - em geral a meia espessura do concreto - os cavaletes, ou seja, os grampos, tiveram sua altura, e portanto a sua penetração na fôrma, calibrada por um calço colocado na superfície de apoio do grampeador. Assim, este controle do posicionamento da tela, muito importante devido à pequena espessura das faces, pôde ser executado de maneira cômoda e rápida.

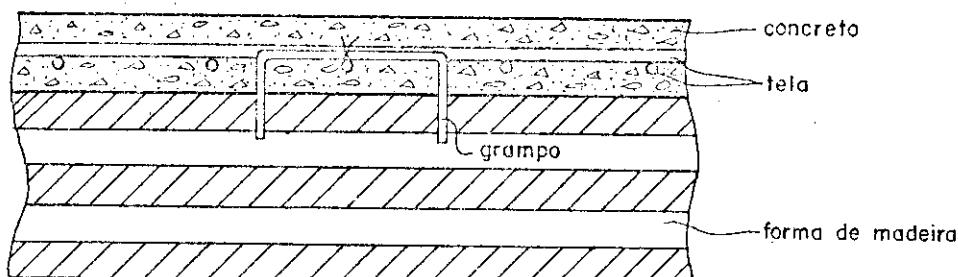


Fig. 2.1 - Detalhe da fixação da armadura em tela

Nos modelos com vigas de borda protendidas, a armadura de protensão foi colocada após o endurecimento do concreto, introduzindo-a em dutos deixados no interior destas vigas. A protensão foi dada no início dos ensaios, por pretendermos estudar os seus efeitos sobre a estrutura, não tendo portanto sido utilizada injeção de argamassa.

2.5 - Moldagem

Como fase inicial da moldagem tem-se o amassamento da mistura, para o que nos trabalhos de laboratório - pequena quantidade de massa a ser preparada - se recomenda a não utilização de betoneira e sim, quando possível, a execução manual. Isto quando não se dispõe, logicamente, de betoneira pequena especial (F. GORISSE, 1972, B9) já devidamente testada, pois que as normalmente oferecidas pelo comércio não apresentam a eficiência exigida pelo trabalho de laboratório. Na falta de uma norma para medir eficiência de uma betoneira para uso de laboratório, devemos utilizar aquelas estabelecidas para betoneiras comuns (L.A.F. BAUER - B2).

Como, para cada modelo e seus corpos de prova, o volume total da mistura a ser produzida era de aproximadamente 50 litros, utilizamos sempre mistura manual.

Tínhamos ainda uma atividade preliminar de juntar as várias partes da areia nas proporções descritas em 2.2. Como afi foi visto, a areia era peneirada, separada nos vários intervalos de granulometria, lavada, secada e armazenada em sacos plásticos. Assim, ao iniciar o amassamento, tínhamos quemisturar as suas várias partes até atingir um aspecto homogêneo, o que muitas vezes foi conseguido com repetidas passagens através de um quarteador.

Após a mistura da areia era juntado o cimento e nova mistura era processada para só então ser acrescentada a água, aos poucos. O cimento usado foi sempre o portland comum (Itaú), não tendo sido empregado nenhum aditivo, por não querermos introduzir fatores possíveis de causarem variações, embora, como veremos, talvez fosse conveniente ter utilizado um retardador de pega.

O traço utilizado fornece um micro-concreto bastante seco, sendo necessária uma ação mais intensa no fi-

nal do amassamento para se ter uma massa de maior plasticidade (F. GORISSE, 1972, B9). Especial atenção deve ser dada ao uso, para o amassamento, de recipiente bem impermeável ou já umedecido, para que o traço não fique alterado.

A dificuldade de lançamento depende, logicamente, das características do próprio modelo, mas pode ser grande mente minorada por um projeto bem elaborado da forma, embora resultando, em geral, numa atividade demorada, cansativa, ao mesmo tempo que delicada, pelo necessário cuidado em manter as espessuras e evitar falhas. Por tudo isto deve ser muito bem planejado para que se consiga executá-lo com êxito.

Apesar de todos os cuidados tomados neste sentido, chegamos a duvidar do sucesso desta operação na confecção do primeiro modelo, pelas dificuldades encontradas no enchimento do pilar e das vigas centrais e no controle das espessuras.

No nosso modelo, devido à sua própria forma, dispúnhamos de quatro frentes de trabalho idênticas, o que nos possibilitou dispor em cada uma um técnico, os quais realizavam assim, simultaneamente, as mesmas operações. Além desses quatro elementos contávamos ainda com mais dois auxiliares, encarregados de remisturar o micro-concreto periodicamente, confeccionar os corpos de prova e auxiliar na vibração da massa já lançada. Reservando-nos a supervisão geral, procurávamos garantir a homogeneidade de execução, detectar possíveis falhas, e assegurar a obediência ao planejamento pré-estabelecido. Somente nas atividades críticas, como as de controle de espessura e de acabamento, é que todos os sete elementos tinham participação direta sobre o modelo.

Apesar de todo o cuidado na elaboração do planejamento e das modificações introduzidas, tanto na forma como na sequência de enchimento, no sentido de facilitar e a-

perfeiçoar a execução da operação de enchimento, nunca conseguimos dar um modelo por acabado antes de decorridas 3 horas, desde o início do amassamento do micro-concreto, nem completar o lançamento em menos de 1 hora. Sabemos perfeitamente que é um tempo considerado muito longo para o manuseio da massa, apesar de lançamento e vibração terem seu término em torno de 1 hora e meia, sendo o tempo final gasto mais em atividades de acabamento. Ainda assim não quisemos adicionar nenhum retardador de pega e nem executar a massa em duas vezes, para evitar ao máximo possíveis causas de variações nas propriedades da argamassa e, principalmente, por não termos constatado nada que indicasse variação destas propriedades em decorrência do longo tempo de uso. A simetria, a ordem de formação e a repetição da configuração de ruptura dos primeiros modelos foram consideradas como indicações do bom comportamento do material. Também, visto que este procedimento tinha sido adotado nos primeiros modelos, procuramos mantê-lo para os demais, uma vez que pretendíamos comparar os resultados dos seus ensaios. Esta resolução - não adicionar retardador nem preparar a massa em duas vezes - ficou como uma preocupação constante durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Já ao seu término, ao estudarmos o artigo "Etude des micro-bétons pour modèles de structures" (F. GORISSE, 1972 - B9), tomamos conhecimento da interessante constatação de que a simples movimentação do local de moldagem até uma balança, de um entre três corpos de prova recém confecionados, determinou um decréscimo da sua resistência à compressão entre 5 a 12%, o que justificava, e intensificou, aquela nossa preocupação.

Assim, na confecção dos últimos 3 modelos (M5A, M5B e M5C), numeramos os corpos de prova, na sequência em que foram moldados, desde o início do lançamento até o acabamento, para tentarmos detectar uma possível variação de resistência do micro-concreto causada pelo seu manuseio

contínuo e lançamento demorado. Os 30 corpos de prova foram moldados em grupos de 5. Comparando as tensões de ruptura dos 12 corpos de prova do ensaio de compressão e dos 14 do ensaio de tração, ou comparando as tensões médias dos corpos de prova de um mesmo grupo de moldagem (tabela na pág. seguinte), não conseguimos obter conclusão semelhante àquela. Notamos que a variação dos resultados dos ensaios dos nossos corpos de prova é superior à conseguida por GORISSE, o que logicamente prejudicou a análise, mas insistimos que nem mesmo uma tendência pode ser observada. Apesar da sua conclusão ter sido obtida da comparação do resultado de um único corpo de prova em relação à média de dois outros, os mesmos são tão concordantes, que a conclusão se torna evidente. A grande dispersão dos resultados de nossos ensaios, apesar de todo o cuidado com a seleção do material e com o amassamento da mistura, se explica, em parte, por falhas pessoais na moldagem e na execução dos ensaios, do próprio equipamento de ensaio e, principalmente, pelas condições de cura e conservação dos corpos de prova. É que estes corpos de prova são de informação (norma francesa), cuja principal finalidade é permitir conhecer as características do micro-concreto do modelo, e para isto devem ter uma conservação idêntica à do modelo ou pelo menos tanto quanto possível vizinha. Sofrem portanto a influência de condições de cura e conservação de certo modo inconstantes, ou pelo menos mais variadas que as convenientes para corpos de prova de controle, que devem ser mantidos em condições especiais de conservação e portanto, livres das dispersões daí advindas. Talvez estes fossem os necessários para que conseguíssemos aquela indicação. Só agora nos é evidente a conveniência de se moldarem dois grupos de corpos de prova, um, de informação, mantido ao lado do modelo para procurar reproduzir o material deste, e outro, de controle, conservado em condições especiais, para verificar a regularidade da fabricação e assegurar que as características pré-estabelecidas estão sendo reproduzidas.

TENSÕES DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA ENSAIADOS À COMPRESSÃO															
Nº DO C. P.	2	4	6	8	10	12	14	16	18	21	23	25	27	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M13 TENSÃO DE RUPTURA	310,7	310,7	315,8	331,0	318,3	305,6	280,1	263,9	241,9	259,7	292,8	272,5		292,4	27,4
MÉDIAS DOS C. P. DE MESMO GRUPO	310,7		321,7		321,7		282,9	269,9		264,8		272,5		283,8	23,6
Nº DO C. P.	2	4	6	8	12	14	16	18	22	24	26	28			
M14 TENSÃO DE RUPTURA	292,8	325,9	315,8	310,7	285,2	239,4	315,8	285,2	343,8	262,3	208,8	69,9		288,0	38,5
MÉDIAS DOS C. P. DE MESMO GRUPO	308,4		313,3		262,3		300,5		303,1		233 - 4			288,0	30,0
Nº DO C. P.	2	3	4	5	12	13	14	15	22	23	24	29			
M15 TENSÃO DE RUPTURA	356,5	394,7	387,4	369,2	407,4	382,0	387,1	420,2	332,0	332,0	376,3	25,9		380,9	23,9
MÉDIAS DOS C. P. DE MESMO GRUPO	376,3				399,2				380,3		380,3			370,6	31,4
TENSÕES DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA ENSAIADOS À TRAÇÃO															
Nº DO C. P.	3	5	7	9	11	13	15	17	19	22	24	26	28	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M13 TENSÃO DE RUPTURA	31,8	31,2	35,0	32,8	34,4	35,0	34,4	33,4	30,6	35,7	32,5	33,1	33,4	33,1	1,5
MÉDIAS DOS C. P. DE MESMO GRUPO	31,5		33,9		34,6				32,0	34,1		33,2		33,2	1,2
Nº DO C. P.	3	5	7	9	10	13	15	17	19	20	23	25	27	29	
M14 TENSÃO DE RUPTURA	33,7	27,7	31,2	34,7	22,3	28,7	31,6	24,8	40,7	27,1	35,7	31,8	25,5	28,0	4,9
MÉDIAS DOS C. P. DE MESMO GRUPO	30,7		29,4		30,3				30,9		33,8		26,8	30,3	2,3
Nº DO C. P.	6	7	8	9	10	13	17	18	19	20	25	26	27	26	
M15 TENSÃO DE RUPTURA	35,0	31,8	32,5	22,3	25,5	20,7	22,3	24,2	22,3	26,7	30,6	26,1	31,8	26,9	4,8
MÉDIAS DOS C. P. DE MESMO GRUPO	29,4								22,4		29,3		27,0	4,0	

T 2.1 - Tentativa de constatação das características do micro-concreto pelo manuseio prolongado

Portanto, ainda persiste a consideração da conveniência de se usar um retardador de pega ou de se executar o amassamento em duas vezes, embora tivéssemos mantido a orientação de sempre executá-lo em uma única vez e sem a colocação de nenhum aditivo, uma vez que não constatamos nenhuma indicação de inconveniência deste procedimento.

O enchimento da fôrma teve sempre o seu início pelas vigas de borda, sendo o micro-concreto colocado em duas camadas, cada uma recebendo uma vibração. Para a execução desta vibração apoiávamos sobre as laterais da fôrma, para protegê-la, um bloco de madeira com uma cavidade, contra a qual comprimíamos a ponta do cabo do vibrador.

Esta fase era relativamente fácil e rápida. Simultaneamente enchímos o pilar central, operação muito dificultada pela concentração de armadura das vigas centrais que se cruzavam no topo do pilar e pela presença dos cabos plásticos, moldadores dos dutos para passagem dos fios de protensão. Estes não poderiam sofrer qualquer danificação, pois impediriam a fixação do modelo. Não só a colocação do micro-concreto era difícil, como também a introdução de um ponteiro para servir de socador e transmissor da vibração. O enchimento do pilar sempre requereu especial atenção, porque qualquer falha poderia prejudicar totalmente o ensaio futuro, pela sua possível ruptura. Daí termos proposto a confecção da fôrma do pilar com elementos transparentes, para que se possa acompanhar e confirmar o seu completo enchimento. Esta precaução resulta ainda das citações de vazios encontrados neste elemento, mesmo em modelos executados com grandes requintes construtivos (R.E. SHEWMAKER, M. XANTHAKIS, M.A. SOZEN, 1963, B26).

Uma vez concretados o pilar e as vigas de borda, nos primeiros modelos passamos a encher as vigas centrais de enrijecimento, etapa mais crítica da moldagem por apresentar sérias dificuldades - pequena espessura, grande altura e concentração de armadura na parte superior - que qua-

se determinaram o malogro do enchimento do primeiro modelo. Como estas dificuldades, de certo modo, já eram previstas, pensamos inicialmente superá-las deixando três janelas nas faces da fôrma, que após a introdução do concreto teriam suas tampas fixadas com auxílio de travas (F3, F6, F12), operação que se mostrou muito incômoda. Ainda assim, na des forma do H1A foram encontrados alguns vazios, justificados pela descida do material por ação da vibração, sem que novo material penetrasse pela parte superior. Como solução procuramos dificultar a saída do material pela parte inferior, com a colocação de aletas removíveis na extremidade da fôrma e manter, com ajuda de canaletas, um certo volume de concreto junto à face superior da viga que, por ação do próprio peso, provocasse a penetração durante a vibração.

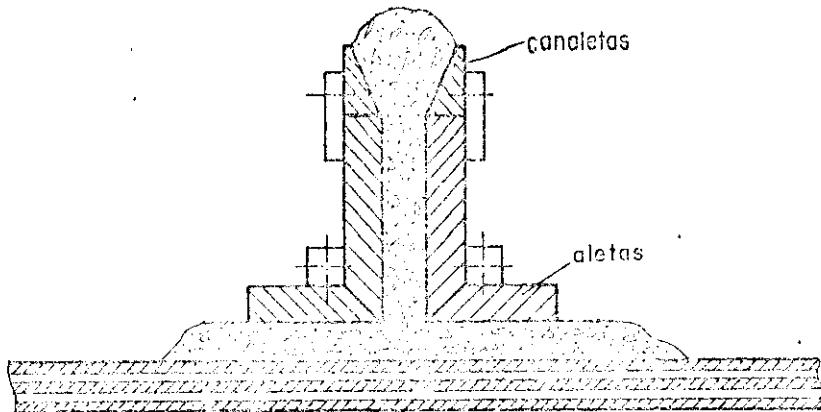


Fig. 2.2 - Dispositivos - canaletas e aletas removíveis - para facilitar o perfeito enchimento das vigas centrais.

As aletas tinham ainda a vantagem de fornecer a região do painel adjacente a estas vigas já com espessura definitiva, servindo inclusive de orientação para o controle de espessura do restante do painel. Notamos a necessidade de renovar constantemente o concreto mantido nas canaletas, para que estivesse sempre úmido e pudesse atravessar a armadura do topo da viga com facilidade.

Mesmo assim alguns vazios, se bem que menores, foram ainda encontrados. Embora situados em regiões não im-

portantes, foram sempre preenchidos, logo após a desforma, com material conveniente, e não prejudicaram o comportamento dos modelos por ocasião dos ensaios. O material usado para reparo foi argamassa de traço 1:3 em peso e fator água-cimento 0,45, sendo a areia constituída de iguais partes de materiais retidos nas peneiras de 0,6, 0,3 e 0,15mm. Para evitar a retração do material de enchimento foi adicionado pó de alumínio na proporção de 0,01g para cada 0,45 kgf de cimento utilizado (R.E. SHEWMAKER, M. XANTHAKIS e M.A. SOZEN, 1963, B26). Esta pequena proporção é justificada pela grande expansibilidade que o alumínio provoca nas misturas de cimento, e no caso somente queríamos impedir a retração, muito embora não tivéssemos comprovado a conveniência desta proporção, uma vez que estes reparos não mais foram necessários após as modificações introduzidas na forma e na técnica de enchimento.

A incerteza do perfeito enchimento, com a presença inconveniente dos vazios, e a desagradável e demorada tarefa de fechamento das janelas, nos levaram a abandonar esta solução e tentar uma outra, a de utilizar o pós-posicionamento de uma das laterais da forma destas vigas. Assim, após a colocação do micro-concreto no interior da viga, esta lateral era ajustada à já fixada com auxílio de parafusos passantes. Estes, na região entre as laterais da forma, atravessavam pequenos tubos que serviam de controle do perfeito espaçamento das mesmas.

Para que esta operação possa se realizar sem prejudicar a forma real da estrutura, é necessário que o concreto seja colocado sem excesso, sendo até mesmo preferível que haja pequena falta, ficando para a vibração e o material disposto na parte superior, o completo preenchimento.

Esta solução permitiu ainda, após terminada a vibração total do modelo, remover esta lateral e assim completar os possíveis vazios existentes. Ao retirá-la, ape-

sar do uso de anti-adereente, geralmente alguma porção de concreto se desprendia, mas o trabalho de refazer a superfície danificada, apesar de muito delicado, é análogo ao de preenchimento dos vazios e portanto dentro das atividades previstas.

Ficava assim para o final o enchimento dos painéis planos, o que não apresentava maiores dificuldades, mas que exigia um preciso e longo trabalho de controle de espessura e de acabamento de superfície.

Como a dificuldade de enchimento e acabamento das vigas centrais tornavam estas mesmas atividades muito demoradas, retardando por demais o enchimento dos painéis, resolvemos inverter a ordem. O concreto era lançado então sobre os painéis planos, e depois de vibrado com o auxílio dos mesmos blocos de madeira já citados, era deixado "descansar" enquanto moldávamos as vigas centrais, o que inclusive melhorava as condições para o acabamento final destes painéis. O lançamento total do concreto era assim completo um pouco mais cedo.

O sucesso do procedimento de retirar a fórmula lateral da viga central levou-nos a adotá-lo para todas as fórmulas laterais existentes no modelo, com o que o lançamento do concreto passou a ser feito sem muita preocupação, portanto mais rapidamente, aumentando, entretanto, o tempo dedicado ao acabamento.

No total, o tempo de moldagem continuou praticamente o mesmo, cerca de três horas e meia, mas tínhamos como vantagens: o lançamento do micro-concreto muito mais cedo, a remoção de todas as bolhas de ar que ficavam junto à fórmula, o preenchimento de todos os vazios e, portanto, um conhecimento perfeito da real situação da parte superior do modelo.

Com a remoção de toda a fórmula lateral das vigas centrais, do pilar e da parte interna das vigas de borda

- a parte externa era deixada para proteção do modelo - o que permitia inclusive a retirada do dispositivo de fixação destes elementos por não mais ser necessário, tínhamos a superfície do modelo completamente livre e portanto melhores condições para a execução do acabamento dos painéis.

Quando esta remoção total das fôrmas da parte superior do modelo não for possível, será necessário prever, pelo menos, a das partes em contato com superfícies horizontais ou pouco inclinadas, porque nestas regiões haverá concentração de nata de cimento, com excesso de água e muitas bolhas de ar.

É evidente que a adoção deste procedimento - retirada de todos os elementos da fôrma na sua parte superior - exige uma maior habilidade por parte dos técnicos. Aqui, o grande número de modelos construídos permitiu a criação, em alguns casos, e o aprimoramento, em outros, da habilidade necessária. Era esta, também, uma das nossas finalidades; ou seja, de procurar contribuir para que os trabalhos futuros possam ser desenvolvidos com menor número de modelos, tão requintados quanto necessários, diante da confiança nos resultados obtidos do trabalho da equipe e no uso do equipamento disponível.

Além de todo o ferramental miniaturizado - desempenadeiras, pás, régua, soquetes - a adoção desta orientação exige ainda a construção de dispositivos auxiliares para o trabalho de reparo, principalmente elementos de controle de altura, espessuras, inclinações, que permitam inclusive a reconstrução de qualquer parte, pois é muito fácil ocorrer alguma danificação pela pequena resistência apresentada pelo modelo neste momento.

Um outro aprimoramento conseguido no trabalho de moldagem foi o de controle de espessuras dos painéis.

Foi devido à dificuldade prevista neste controle, que inicialmente havíamos resolvido adotar uma espessura

constante de 1 cm para os painéis, não acreditando na possibilidade de conseguirmos reproduzir a variação prevista no protótipo.

No primeiro modelo o controle da espessura de 1 cm foi tentado com o auxílio de pinos metálicos, obtidos pelo torneamento da extremidade de parafusos em forma cônica, o que facilitava a sua posterior remoção, e a parte restante do parafuso servia para a sua fixação na fôrma, como mostra a Fig. 2.3 e se pode observar nas fotos F12 e F13.

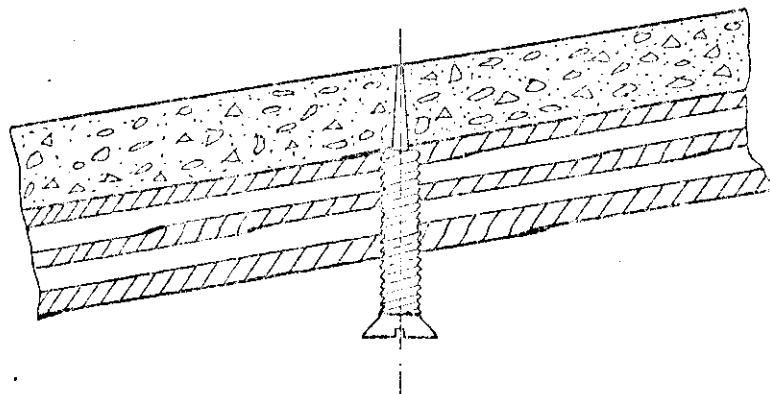


Fig. 2.3 - Pinos metálicos de controle de espessura e moldadores dos orifícios de passagem dos tirantes de carregamento.

Ao retirarmos este pino, ficava um pequeno orifício que era necessário para passagem dos tirantes do dispositivo de carregamento. Como foram previstos 64 tirantes, tínhamos 64 pontos com guias de espessura, dispostos a 20 cm um do outro. Para controle da espessura das regiões entre estes pontos tentamos o uso de placas de plexiglas que, apoiadas em três ou quatro destes pinos, nos indicavam, pela sua transparência, as falhas existentes. Verificamos, entretanto, ser um processo muito demorado, tanto pela dificuldade encontrada na localização das extremidades dos pinos, como pela necessidade de manter a superfície das placas de plexiglas limpas, procedimento que, simultâneo com a colocação de concreto, é relativamente difícil.

Após algumas tentativas em que procuramos manter este processo, resolvemos mudá-lo, adotando para guias da espessura hastes metálicas fixadas à fôrma (Fotos F14 e F17) por parafusos, o que nos permitiu utilizar um sarrafamento comum.

Esta solução se mostrou de execução mais fácil e mais rápida, além de possibilitar um controle mais preciso de espessura, o que nos permitiu moldar regiões de 0,5cm e as de transição entre as de 0,5cm e as de 1cm, portanto de espessuras variáveis, numa reprodução exata do protótipo. Exige, entretanto, a remoção das hastas, com o consequente preenchimento e soqueteamento dos vazios deixados. Assim procedendo não notamos qualquer interferência na formação das fissuras, mas é conveniente que a disposição das hastas seja em direção ortogonal a das prováveis fissuras.

A remoção das guias, quando inicialmente fixadas por pequenos parafusos, mostrou ser uma operação incômoda, com o que passamos a utilizar pregos, de remoção muito mais rápida. Para ajuste da altura das hastas utilizamos arruelas que eram atravessadas pelos pregos de fixação.

Nos pilares e vigas de borda pretendidas os dutos para passagem dos fios de protensão foram conseguidos deixando no interior destas peças, por ocasião da moldagem, cabos plásticos (F14 e F17). Para isto estes cabos plásticos precisam ser suficientemente rígidos para manterem a forma desejada do duto, transversalmente e longitudinalmente; simultaneamente devem apresentar certa elasticidade para permitir a sua remoção por tracionamento, quando diminuem de diâmetro, destacando-se do concreto e tornando esta operação muito fácil. Conseguimos estes cabos plásticos retirando a capa de condutores elétricos.

Resumindo, devemos salientar que a boa constituição do modelo depende fundamentalmente de sua moldagem e que esta deve ser executada com duas preocupações constantes: que a sequência das atividades que a definem deve ser tal que permita o lançamento total do micro-concreto o mais cedo possível, antes que ocorram modificações em suas propriedades, mesmo que com isto se intensifique o trabalho de acabamento; e que estas atividades sejam executadas da maneira mais simples possível, por exigirem, em geral,

um trabalho longo, delicado e preciso. Isto dependerá, lógicamente, de uma forma muito bem elaborada, que permita o acesso fácil a todas as partes do modelo, como também fácil deve ser a sua remoção parcial.

Não devemos nos esquecer da insubstituível habilidade exigida dos técnicos e da necessidade de nos armarmos em um preciso ferramental auxiliar.

2.6 - Cura e condições dos modelos antes do início dos ensaios

Após o término do trabalho de moldagem, quando todo o acabamento da parte superior era dado por concluído, a forma do modelo era verificada e, se necessário, corrigida, com a colocação de calços entre a fórmula e o elemento auxiliar de sustentação e por ajustes dos pés deste último. Especial atenção era dada à horizontalidade das vigas de borda, cuja verificação era comandada por um nível topográfico. No primeiro modelo não tomamos este cuidado e em consequência o mesmo apresentou um empenamento, de um dos cantos em relação ao plano dos outros três, de aproximadamente 2,5cm.

Logo em seguida o modelo era coberto com plástico e aproximadamente 6 horas após o término da moldagem era molhado e panos umedecidos eram dispostos sobre a sua superfície. Os corpos de prova tinham então a superfície superior refeita com argamassa e igualmente eram recobertos com panos úmidos. No dia seguinte estes corpos de prova eram retirados das suas formas, mantidos envoltos em panos úmidos e deixados ao lado do modelo, para que sofressem as mesmas influências e assim reproduzissem melhor as características do material do modelo (corpos de prova "de informação").

Como já dissemos, deveria ser moldado um outro grupo de corpos de prova ("de controle") que, mantido em condições especiais, serviria para comparar o micro-concreto obtido com o selecionado pelo estudo de traços, e que permitiria inclusive uma comparação com os materiais usados em outras experimentações. Talvez tivesse sido conveniente até um terceiro grupo, moldado no decorrer do longo período de lançamento, mas mantido em condições especiais de cura, que pudesse detectar quaisquer modificações nas qualidades do micro-concreto pelo seu contínuo manuseio,

mostrando a conveniência do uso de um retardador de pega ou de se executar a mistura por partes.

Os corpos de prova de informação, que procuram reproduzir as reais características do material do modelo, devem ser ensaiados simultaneamente ao modelo. Entretanto, muitas vezes somente os ensaiamos no dia seguinte, por causa da longa duração dos ensaios do modelo e dos próprios corpos de prova. Como somente realizamos corpos de prova de informação, procuramos executar os ensaios aos 28 dias, tentando fazer com que estes corpos de prova tivessem, simultaneamente, a função de controle.

A retirada da fôrma se dava geralmente aos 7 dias, mas quando possível procuramos retardá-la, pois para executá-la era necessário levantarmos o modelo, que sendo constituído de elementos delgados se apresentava ainda pouco resistente.

Somente nos primeiros modelos, como já dissemos, em que as fôrmas laterais das vigas centrais eram mantidas, sendo removidas no dia seguinte, é que encontramos vazios que precisaram ser preenchidos. O conveniente material para reparo foi uma mistura de areia fina e cimento com pó de alumínio, conforme descrito em 2.5.

Algumas vezes, regiões da parte inferior dos painéis planos saíam, por ocasião da desforma,aderidas à fôrma, mas como não tinham influência no comportamento geral da estrutura - fato evidenciado pelos ensaios já realizados - nem siquer foram reparadas.

Além destes pequenos contratemplos, nada mais encontramos de irregular, nem mesmo fissuras de retração de expectativa justificada pela existência de painéis relativamente amplos e delgados. Acreditamos que o tratamento executado, com verniz e cera, para proteger a fôrma, impedir a aderência e, portanto, facilitar a desforma, tenha

permitido pequenas movimentações, contribuindo para evitar as fissuras de retração. Também neste sentido contribuiu a orientação de procurarmos liberar todos os elementos da forma da parte superior do modelo.

Somente o modelo M4B apresentou algumas fissuras, (ainda assim em um único quadrante, conforme figura abaixo) de causa completamente desconhecida, que procuramos justificar por uma possível movimentação da estrutura auxiliar de sustentação, quando o modelo ainda possuía resistência reduzida. Em nenhum outro foi notada fissura semelhante. Este modelo foi utilizado para ensaio assimétrico, de menor interesse para o nosso estudo e no qual essas fissuras, pelas suas localizações, em nada influenciaram o comportamento geral.

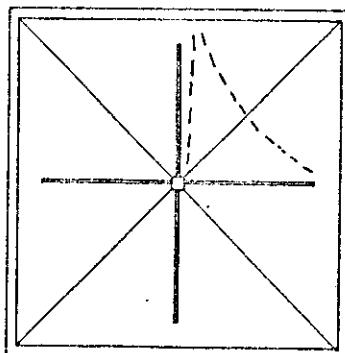


Fig. 2.4 - Fissuras encontradas no modelo M4B durante o processo de cura

Como dissemos, na moldagem sempre procuramos fazer com que a mesma operação fosse executada nos quatro quadrantes por um mesmo elemento, ou pelo menos por elemento de igual habilidade. Ainda a fase final de acabamento era realizada pelos técnicos de maior experiência, não só por ser mais delicada, mas principalmente para procurarmos corrigir alguma possível imperfeição e garantir uma certa uniformidade de execução. Este procedimento parece ter alcançado o seu objetivo, o que fica confirmado pela regula-

ridade das espessuras - medidas por dispositivo especial e nos elementos fragmentados - e, principalmente, pela simetria da configuração de ruptura de cada modelo.

Mais que indicação da uniformidade de execução de um modelo, a repetição das configurações e das cargas de ruptura em modelos iguais, e sua coerência em modelos diferentes, confirmam a adequação da técnica de construção em seu todo.

2.7 - Fixação, cargas e dispositivo de carregamento

2.7.1 - Solicitação simétrica

O nosso objetivo sempre foi a observação do comportamento da casca. O pilar, mesmo se pretendido, não é elemento estrutural que mereça um estudo com modelos, principalmente com carregamento simétrico. Assim os modelos foram construídos reproduzindo somente a cobertura, mas com um pequeno segmento do pilar de 16cm, somente para que a região de encontro com a cobertura não sofresse a influência das perturbações de apoio.

No protótipo fora previsto que a cobertura seria pré-fabricada e fixada ao pilar por meio de protensão. Aqui procuramos realizar a fixação do modelo também por meio de uma protensão, não só por reproduzir fielmente qualquer pequena perturbação que a protensão pudesse provocar na região de encontro do pilar com as vigas centrais, mas também por constituir uma das maneiras mais práticas de realizá-la.

O modelo foi então fixado ao sistema de sustentação, constituído por um robusto perfil metálico - de 10" - apoiado sobre dois cavaletes, por meio de uma protensão conseguida com a distenção de quatro fios de aço que atravessavam o pilar através de dutos deixados por ocasião da moldagem. O estiramento dos fios foi executado por macacos do tipo porca e parafuso, este dotado de um furo central para passagem do fio. Nas duas extremidades do fio, blocos de aço foram fixados por meio de cunhas, servindo numa de apoio para o macaco (F20) e na outra para ancorar o fio ao sistema de sustentação (F23). Entre o macaco e o topo do pilar foi colocado um dinamômetro para controle da protensão. Este sistema para a obtenção da protensão, que pode melhor ser entendido pela observação da figura a seguir e

das fotos F15, F20 e F23, já tinha sido utilizado no trabalho sobre o pilar do vertedouro da barragem de Ilha Solteira (D.A.O. MARTINELLI, W. SAVASSI, R.L.R. LIMA, 1969, B14).

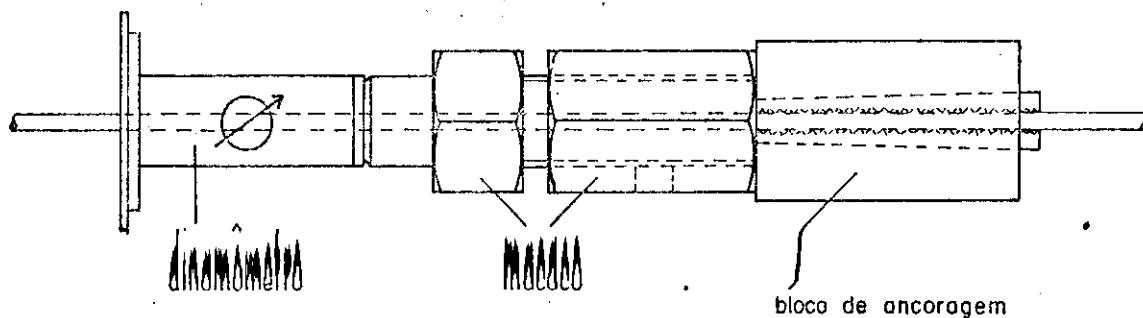


Fig. 2.5 - Dispositivo de protensão utilizado nas vigas de borda e na fixação do modelo.

A cada fio de 3mm de diâmetro foi aplicada uma carga de 800kgf o que no protótipo equivale a 20.000kgf.

Quanto ao carregamento, por se tratar de uma cobertura e, ainda, de forma muito particular, tivemos alguma incerteza de qual distribuição utilizar, entre as várias que se apresentavam como de interesse para a estrutura. O peso próprio fica bem reproduzido por uma carga uniformemente distribuída. A sobrecarga possível, a de um enchimento de água por obstrução dos condutos de descida, tem valor máximo bem determinado, acima do qual nenhum acréscimo teria significado, e localizado nas regiões próximas ao pilar, onde os elementos da estrutura estão em condições mais favoráveis de suportá-la, não só pelas suas localizações como também pelas próprias dimensões.

Fixamo-nos na carga uniforme, por ser mais desfavorável, o que por si só não a justificaria, mas ainda por ser a mais usual nos estudos de cobertura e por favorecer uma possível comparação com processo analítico que venha a ser estabelecido.

Nas estruturas em que a elevação da carga acima de determinado valor não tem significado físico, como é o

caso de algumas coberturas e barragens, o ensaio à ruptura não procura estabelecer um coeficiente de segurança com relação ao carregamento, mas sim a um possível enfraquecimento dos materiais. Portanto, principalmente no que diz respeito aos materiais, é muito importante que os do modelo sejam muito semelhantes aos da estrutura cuja ruptura se quer prever. Notemos que, neste caso nas estruturas de concreto, o coeficiente de segurança estabelecido pelo ensaio à ruptura é algo menor do que o real, porque os concretos e aços mais resistentes em geral possuem menor capacidade de adaptação.

O estudo à ruptura desta estrutura é de grande interesse também para estabelecer um limite para as extrações dos resultados aqui obtidos, admitidos como os resultantes em estruturas de maiores dimensões. Isto pode ser compreendido por um raciocínio simples, reconhecendo que a carga de ruptura do ensaio é uma constante enquanto que o carregamento da estrutura, pelo menos o permanente, aumenta com as suas dimensões. Explicação mais detalhada está em 3.7.

Para a aplicação da carga uniforme utilizamos o sistema de carregamento do tipo conhecido por "árvore". Este sistema é constituído por um grande número de tirantes, os quais, nas extremidades em que se ancoram no modelo, possuem um elemento de distribuição, e na outra se prendem às extremidades de barras, que assim os unem dois a dois. Dos pontos médios destas barras partem novos tirantes que, dois a dois, sustentam outro grupo de barras. Assim sucessivamente até que reste uma única barra, no centro da qual é aplicada a carga total, que através deste sistema de tirantes e barras, se distribui pelos vários pontos do modelo. Melhor compreensão será facilmente obtida pela observação da Fig. 2.6 e das fotos F19, F20 e F22.

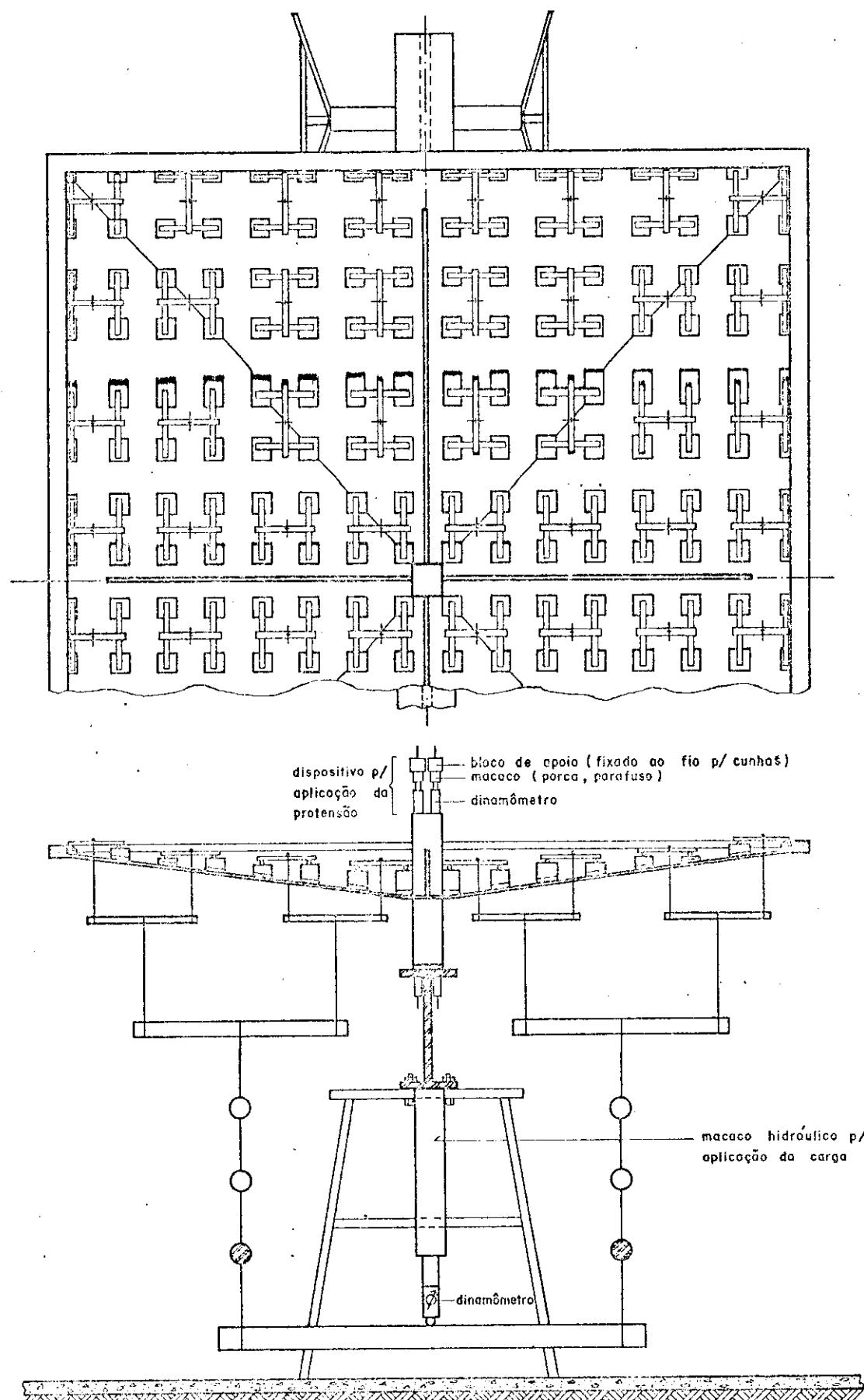


Fig. 2.6 – Esquema do dispositivo de aplicação de carga simétrica

Como é evidente, a reprodução da carga uniforme será tanto mais precisa quanto maior for o número de pontos de aplicação de carga, sendo que na solução utilizada tivemos um total de 256 pontos, distantes entre si 10cm.

Se a aplicação de carga em cada ponto tivesse sido feita através de um tirante, o grande número destes - 256 - impediria qualquer observação da parte inferior do modelo, além de tornar a instalação muito trabalhosa.

Como solução utilizamos um sistema de repartição de carga por compressão, que passaremos a chamar simplificadamente de "carrinho", que, apoiado em quatro elementos de distribuição, era solicitado por um tirante fixado no seu centro, reduzindo assim para um quarto o número de tirantes. Estes "carrinhos" eram constituídos de três barras, fixadas entre si de modo a permitir grande mobilidade do conjunto, cujos detalhes podem ser observados na Fig. 2.7 e nas fotos F20 e F21. Os apoios de uma das barras sobre as outras e destas sobre os elementos de distribuição de carga, eram constituídos por esferas de aço colocadas dentro de encaixes, que, além de posicionarem perfeitamente o ponto de aplicação da carga, permitiam uma fácil adaptação das posições dos elementos adjacentes. Em uma única ligação entre barras não usamos esfera, que foi substituída por um pequeno mancal, para melhorar a estabilidade do conjunto.

O realce dado à mobilidade do "carrinho" em si e do conjunto carrinho-elemento de distribuição se deve aos grandes deslocamentos relativos, em geral imprevisíveis, entre as partes do modelo, nos ensaios à truña. Cuidado deve ser tomado contra um desnecessário excesso de mobilidade, que pode determinar uma instabilidade do conjunto, sendo que a solução adotada só foi conseguida depois de vários testes.

Os elementos de distribuição da carga concentrada se compunham de blocos de madeira, de alturas diferen-

tes de modo a fornecerem ao "carrinho" um plano de apoio horizontal. Entre eles e a superfície do modelo foi interposta uma placa de borracha (dureza Schore A 48⁰) de 7mm de espessura, para permitir uma perfeita adaptação das duas superfícies e uma melhor distribuição da carga (Fig.2.7).

O elemento de distribuição da carga concentrada deve abranger a maior área possível - cuidado deve ser tomado para que a sua posição e tamanho não impeçam a movimentação dos elementos adjacentes a uma provável fissura - mas simultaneamente deve permitir, de maneira razoável, a visualização da superfície do modelo para o acompanhamento da formação das fissuras e a instalação de aparelhos de medições. Foram utilizados elementos de base quadrada de 4cm de lado, que mostraram no decorrer dos ensaios terem atendido a estas exigências, o que de certo modo pode ser sentido pela observação do esquema apresentado na Fig. 2.7 e das fotos F20 e F21. É interessante notar que aqui a área carregada era somente 16% da área total.

Para a carga aplicada e deslocamentos acusados pelo modelo este dispositivo funcionou perfeitamente, embora a sua estabilidade pudesse ainda ser melhorada pelo aprofundamento dos encaixes das esferas, com o que giros inconvenientes das barras seriam impedidos, e pela diminuição das alturas dos blocos de madeira e das placas de borracha.

A carga total, aplicada no centro da barra final do dispositivo em "árvore" por ação de um macaco hidráulico apoiado no perfil de fixação do modelo (Fig. 2.6), era controlada por um dinamômetro colocado na extremidade do pistão do macaco. Entre o dinamômetro e a barra foi intercalada uma esfera de aço para permitir acomodações do conjunto e a centralização da carga aplicada.

A vantagem deste sistema em "árvore" é, além de sua facilidade construtiva, garantir a verticalidade e a

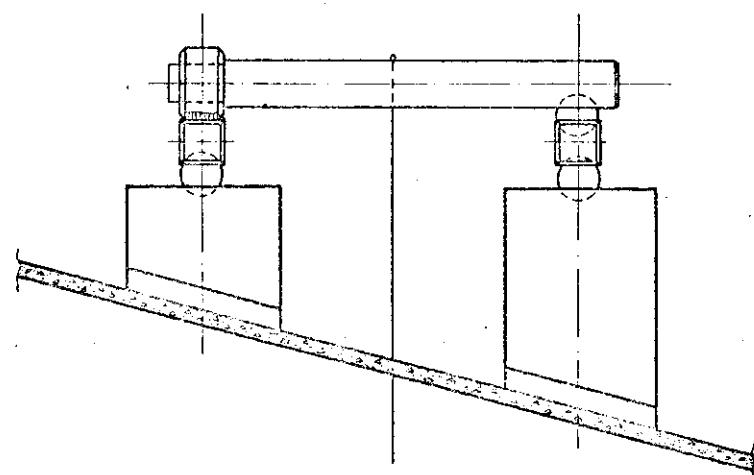
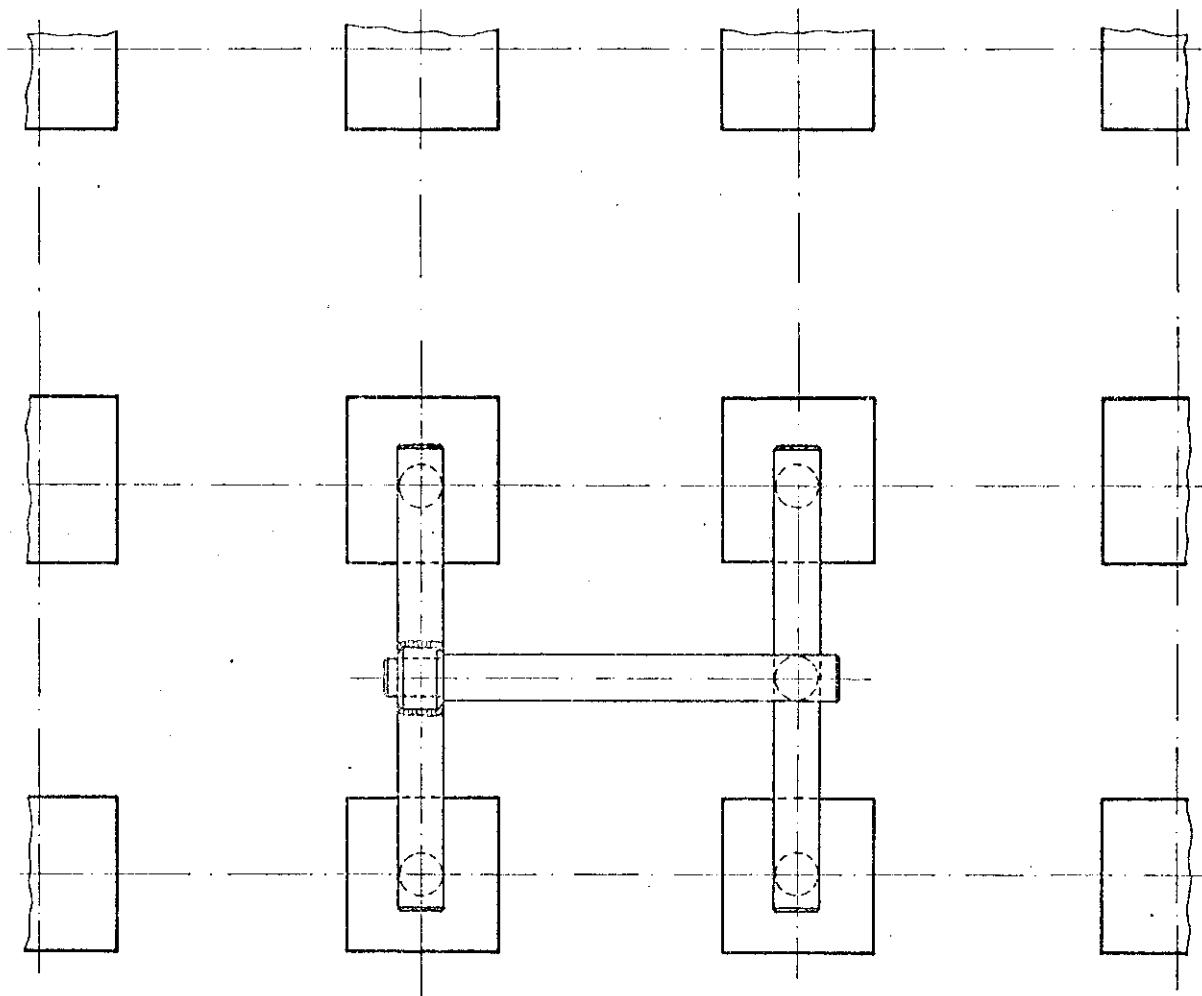


Fig. 2.7 - Dispositivo de repartição de carga por compressão e elemento de distribuição da carga (escala 1:2)

perfeita repartição da carga, adaptando-se às novas formas do modelo que o ensaio à ruptura ocasiona.

Nos modelos em que as vigas de borda eram protegidas, as forças de proteção foram aplicadas com dispositivos semelhantes aos de fixação do modelo (Fig. 2.5 e foto F15). O estiramento dos fios, em cada viga, foi executado por uma única extremidade, tendo sido notada a conveniência de colocar o dinamômetro na extremidade oposta, para que suas leituras não fossem afetadas pela operação de acionamento do macaco, permitindo um controle mais exato.

2.7.2 - Solicitação assimétrica

Como já tivemos a oportunidade de salientar, é o carregamento constituído por uma carga simétrica uniformemente distribuída o que se apresenta como mais conveniente para o desenvolvimento de uma análise do comportamento dessa estrutura. Para ela, portanto, convergiu todo o detalhamento dos dispositivos de ensaio.

Uma possível carga assimétrica poderia ser imaginada pela ação do vento. Entretanto, um estudo simplificado a respeito mostrou-nos que as inclinações muito favoráveis das faces da estrutura determinariam solicitações insignificantes pela ação do vento. Reconhecemos, entretanto, tratar-se apenas de uma análise de primeiríssima aproximação, assim como são reconhecidas as limitações das recomendações fornecidas pela nossa norma. Pela sua forma, um tanto especial, somente a realização de um estudo em laboratório especializado, permitiria um levantamento das pressões e sub-pressões prováveis.

Na utilização associada de vários destes painéis, ou mesmo de um único recobrindo ambiente fechado, de emprego bastante amplo, a possibilidade de ocorrência da carga assimétrica, assim como seus efeitos, é bem menor.

Ainda, para uma ação assimétrica, a peça mais desfavoravelmente solicitada seria o pilar e não a cobertura. Inclusive as dimensões previstas no projeto para o pilar não permitiriam um ensaio à ruína da casca.

Portanto, o estudo à ruína da casca solicitada por uma carga excêntrica apresenta um interesse menor, tendo sido realizado apenas para que tivéssemos uma indicação deste seu comportamento. Por isso mesmo estes ensaios foram realizados com adaptações das condições estabelecidas para os com carga simétrica. Como carregamento foi adotada uma carga uniforme aplicada em um único quadrante.

Diante da fragilidade do pilar, a primeira adaptação que se fazia necessária era criar condições para que se conseguisse ensaiar a casca sem que ocorresse a ruptura do pilar. Procuramos, então, estabelecer um vínculo na sua parte superior, diminuindo portanto a sua solicitação por flexão, o que foi conseguido aplicando a protensão não mais pelo sistema utilizado nos ensaios simétricos, mas pela ação direta de um macaco hidráulico. Para isto foi construído um sistema de apoio para o macaco fixado ao perfil metálico de sustentação do modelo (Fig. 2.8). A aplicação da protensão por este dispositivo realmente influí, se bem que muito pouco, no comportamento da casca.

Pela aplicação da carga excêntrica, o conjunto modelo-sistema de sustentação tenderia a apresentar uma grande rotação, ficando inclusive instável caso esta solicitação atingisse altos valores. Para evitar, em parte, estes inconvenientes foi necessário aplicarmos um sistema de contrapeso.

A pequena rigidez à rotação transversal do sistema de sustentação, a fixação imperfeita do modelo através da compressão pelo macaco, a própria fixação do macaco, as placas de borracha colocadas nas faces do pilar em contato com o macaco e com o perfil de sustentação, são todos ele-

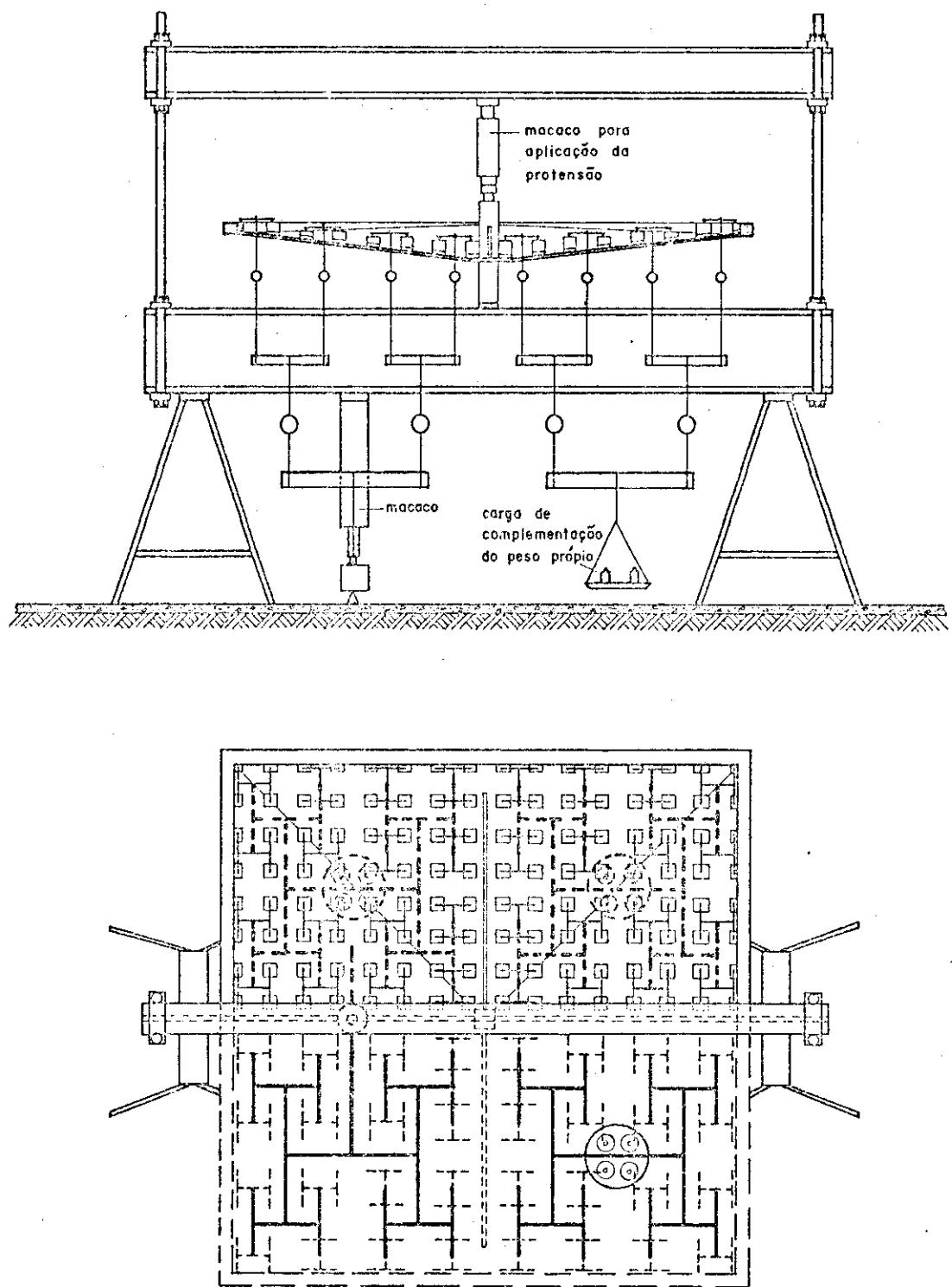


Fig. 2.8 – Esquema do dispositivo de aplicacão de carga assimétrica

mentos que permitiam um giro do conjunto, deturpando os deslocamentos acusados pelos deflectômetros, que assim não representam uma real rotação da casca em relação ao pilar considerado como fixo.

Já a configuração de ruptura e as deformações detectadas pelos extensômetros são menos afetadas pelas imprecisões de fixação e espelham melhor a realidade.

Em cada série de modelos, com exceção da terceira, ensaiamos um único à solicitação excêntrica, ou seja, 4 modelos: M1D, M2C, M4B e M5C. Nos ensaios dos M1D e M2C conseguimos atingir a ruptura da casca, embora com danificações do pilar nas regiões em contato com o macaco e com o perfil, apesar das várias medidas preventivas tomadas neste sentido. Ao ensaiarmos o M4B, entretanto, a ruptura do pilar se deu antes que a casca estivesse danificada, apesar da carga aplicada ter atingido valor suficiente para confirmar a razoável capacidade da estrutura em resistir a esta solicitação.

Resolvemos, então, utilizar este modelo para testar um outro tipo de fixação, constituída por uma camisa metálica que envolvia todo o comprimento do pilar e tendo por base uma placa, também metálica, que era parafusada ao perfil de sustentação. A fixação foi completada com a protensão na parte superior, como nos ensaios simétricos. O espaço entre a camisa metálica e o pilar foi preenchido totalmente com massa epóxica, bastante resistente, ficando assim o pilar fortemente cintado e impedido de se danificar pelo ensaio.

Simultaneamente modificamos o sistema de aplicação da carga. Simplesmente, a barra final do sistema "em árvore" em cujo meio era aplicada a carga total, e que nos ensaios assimétricos, até então realizados, tinha uma de suas extremidades apoiada ao solo, passou a ter esta extremidade sustentada por uma mão francesa fixada ao perfil de

sustentação do modelo (Fig. 2.9), ficando o sistema auto-equilibrado. Ainda assim, passamos a controlar possíveis giros do sistema de sustentação e a compensá-los por meio de um sistema de contrapesos.

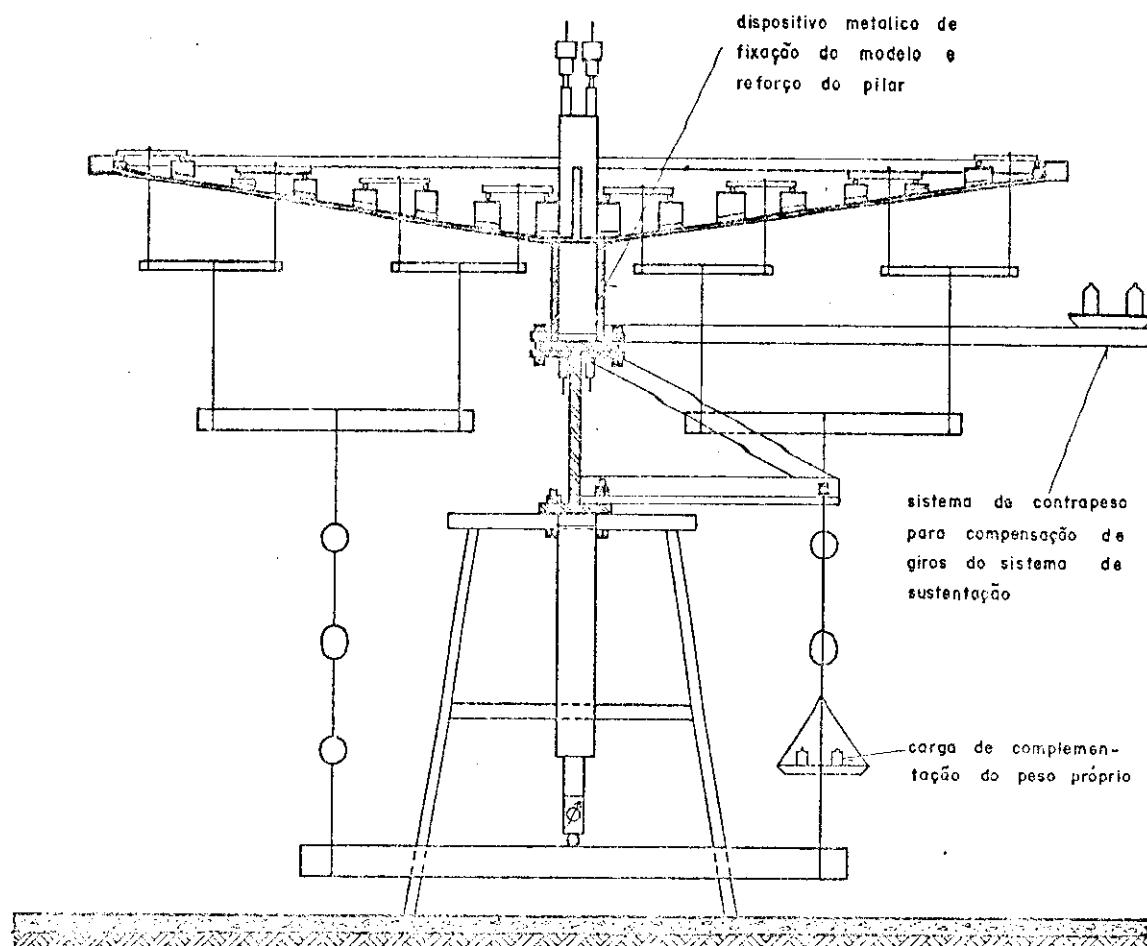


Fig. 2.9 - Esquema do dispositivo, já modificado, de aplicação de carga assimétrica utilizado no ensaio do M5C.

Portanto, somente no ensaio do M5C as leituras acusadas pelos deflectômetros espelham com maior exatidão os deslocamentos da casca, em relação ao pilar considerado fixo.

Nos ensaios assimétricos, antes de iniciarmos a aplicação da sobrecarga excêntrica, uma carga uniforme era disposta sobre todo o modelo, reproduzindo o peso próprio da estrutura-protótipo.

2.8 - Aparelhos de medida

Este trabalho foi idealizado com a finalidade inicial de fornecermos uma contribuição ao estudo experimental do comportamento à ruína de estruturas em casca, o que teria sido atingido com a seleção de um conveniente material, o estabelecimento de uma técnica construtiva e a comprovação da eficiência de um dispositivo de carregamento que permitisse a obtenção da configuração e carga de ruptura.

A boa constituição do modelo, basicamente função do material e da técnica construtiva, seria de certo modo evidenciada pela simetria de seu comportamento durante o ensaio, o que poderia ser constatado pela observação da evolução dos deslocamentos de alguns pontos com o auxílio de defletômetros e, nas situações próximas à ruptura, pela evolução das fissuras.

Da necessidade de utilizarmos uma certa estrutura para, através dos ensaios de seus modelos, podermos testar a técnica procurada, evoluímos nosso estudo no sentido de aproveitar para definir o comportamento desta estrutura em "sombrinha".

Como, também, já tivemos oportunidade de salientar, os modelos construídos para ensaios à ruptura precisam ser tão precisos quanto possível, reproduzindo particularidades tanto de material como de forma do protótipo, e assim estão em condições perfeitas de retratar a situação em serviço e as da sua evolução até a ruptura e neste sentido devem ser aproveitados. Nestas fases de solicitação tem especial interesse a determinação de deslocamentos e de tensões acusadas pela estrutura.

Como se tratava de uma finalidade, apenas complementar, pois de um estudo à ruína evoluímos para a determinação do comportamento de uma particular estrutura,

e para que este ficasse melhor definido, resolvemos analisar sua situação em fase elástica e sua evolução até a ruptura, projetamos uma instrumentação aquém da necessária para a perfeita definição deste seu comportamento, mas suficiente para complementar a técnica de ensaio procurada, tornando mais ampla a sua aplicabilidade.

Assim foram instalados 20 defletômetros, para registro dos deslocamentos, e 124 extensômetros elétricos de resistência, para detecção das deformações e consequente cálculo das tensões. A locação dos pontos instrumentados é fornecida pelas Figs. 2.10 e 2.11, respectivamente para os ensaios simétricos e assimétricos da casca com vigas centrais de enrijecimento e pelas Figs. 2.12 e 2.13 para os da casca poliédrica.

Como as deformações na face superior e inferior de um mesmo ponto são diferentes, é necessário que seja instalado um extensômetro em cada face. Nos elementos em que se conhecem as direções das máximas deformações é suficiente a instalação de extensômetros nestas direções. Assim, nas vigas foram instalados numa única direção e nas regiões próximas ao encontro dos painéis em duas, na própria direção da aresta e perpendicularmente às mesmas. Nos pontos internos dos painéis foram instalados em três, possibilitando a determinação das tensões principais e respectivas direções.

Contando com a orientação das configurações de ruptura dos modelos M1A e M1B, procuramos instalar um número mínimo de extensômetros, e ainda assim chegamos àquele total de 124, para que esta instrumentação tivesse suas finalidades preenchidas: de contribuir para a compreensão do comportamento dos vários elementos da estrutura e de servir de orientação para estudos especialmente dirigidos neste sentido. Este total, entretanto, representa um máximo diante da disponibilidade, no momento, do equipamento que queríamos u-

VISTA SUPERIOR

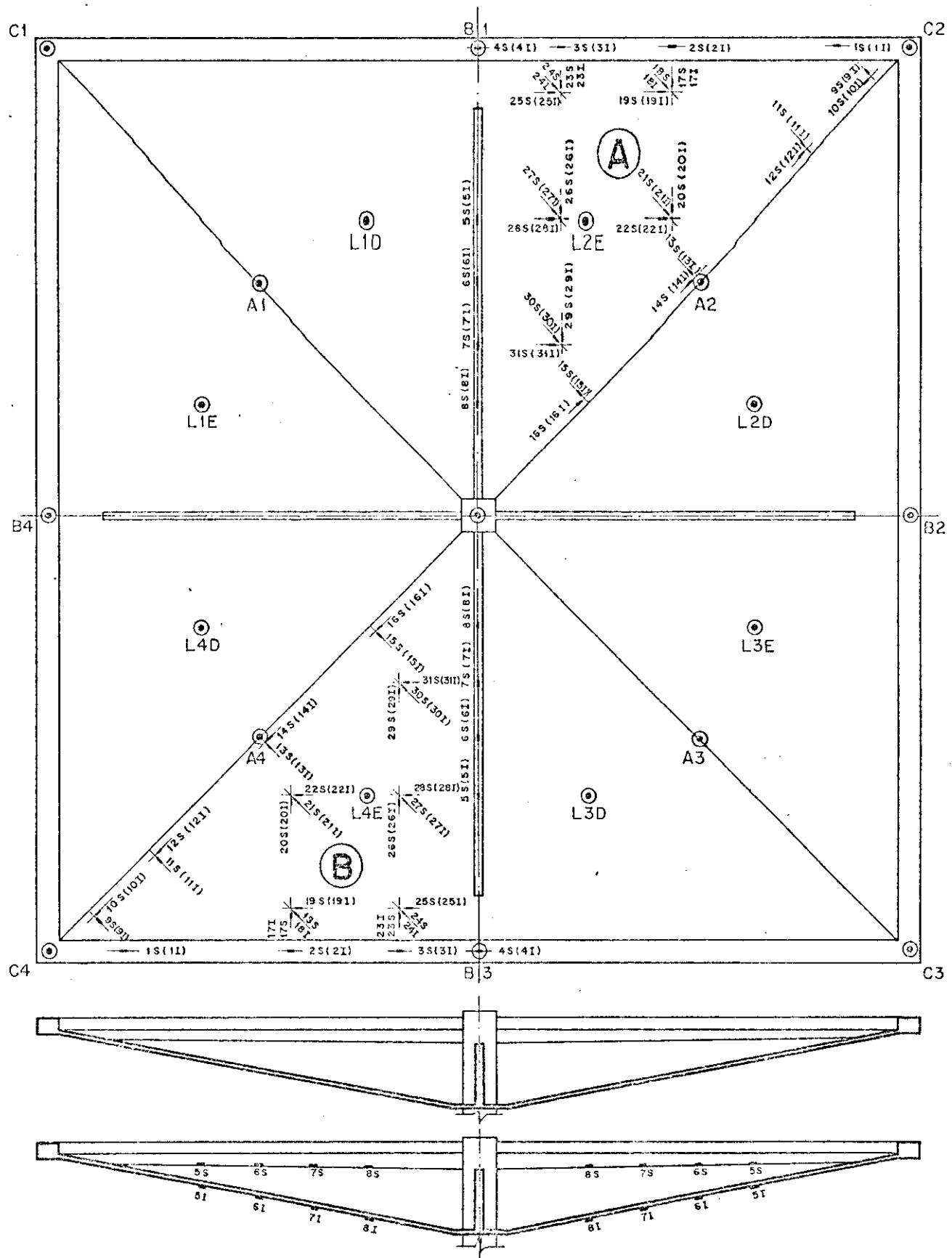


Fig. 2.10 - Localização dos pontos instrumentados para ensaios simétricos da casca com vigas centrais de enrijecimento.

VISTA SUPERIOR

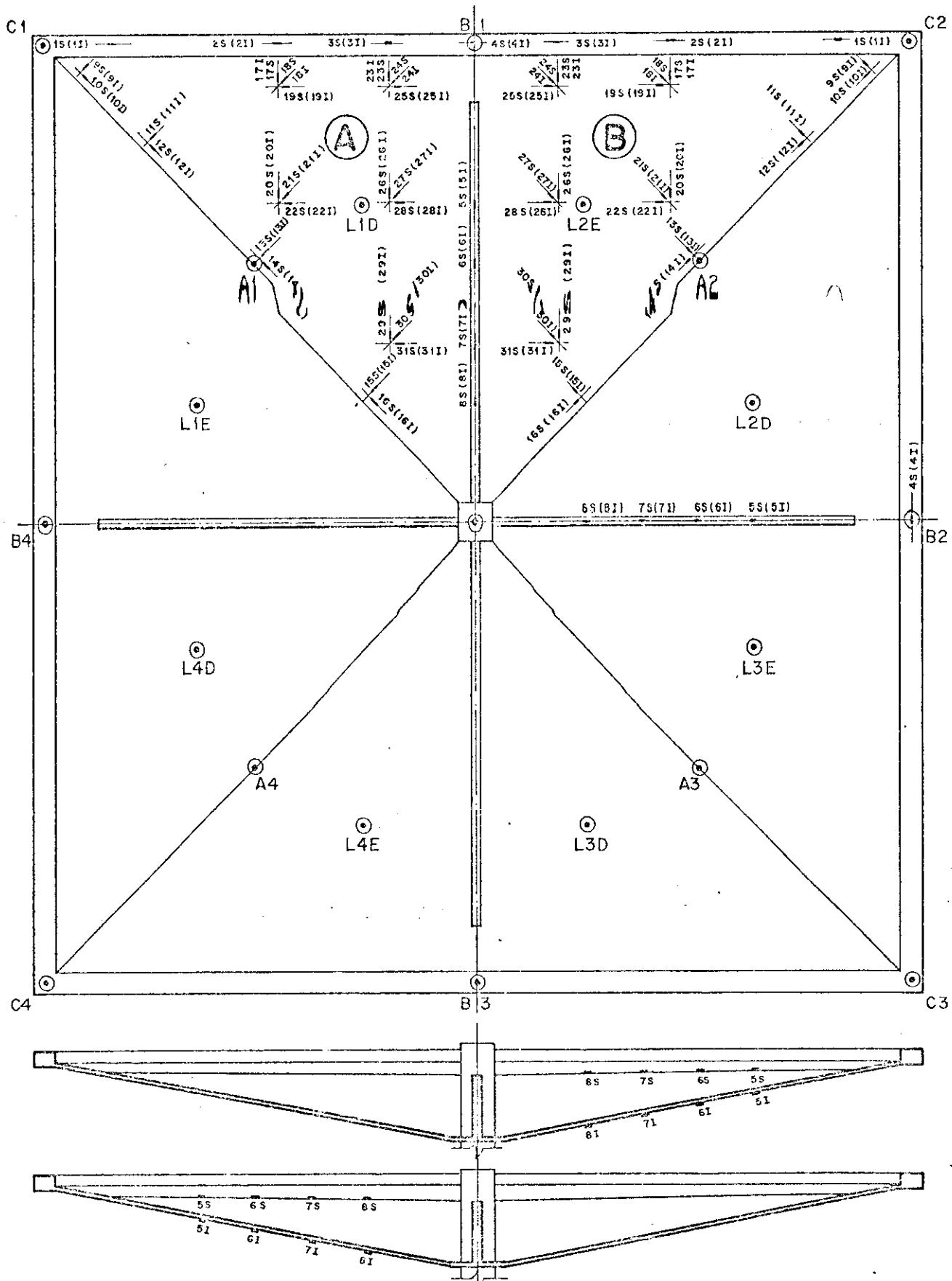


Fig. 2.11 - Localização dos pontos instrumentados para ensaios assimétricos da casca com vigas centrais de enrijecimento.

VISTA SUPERIOR

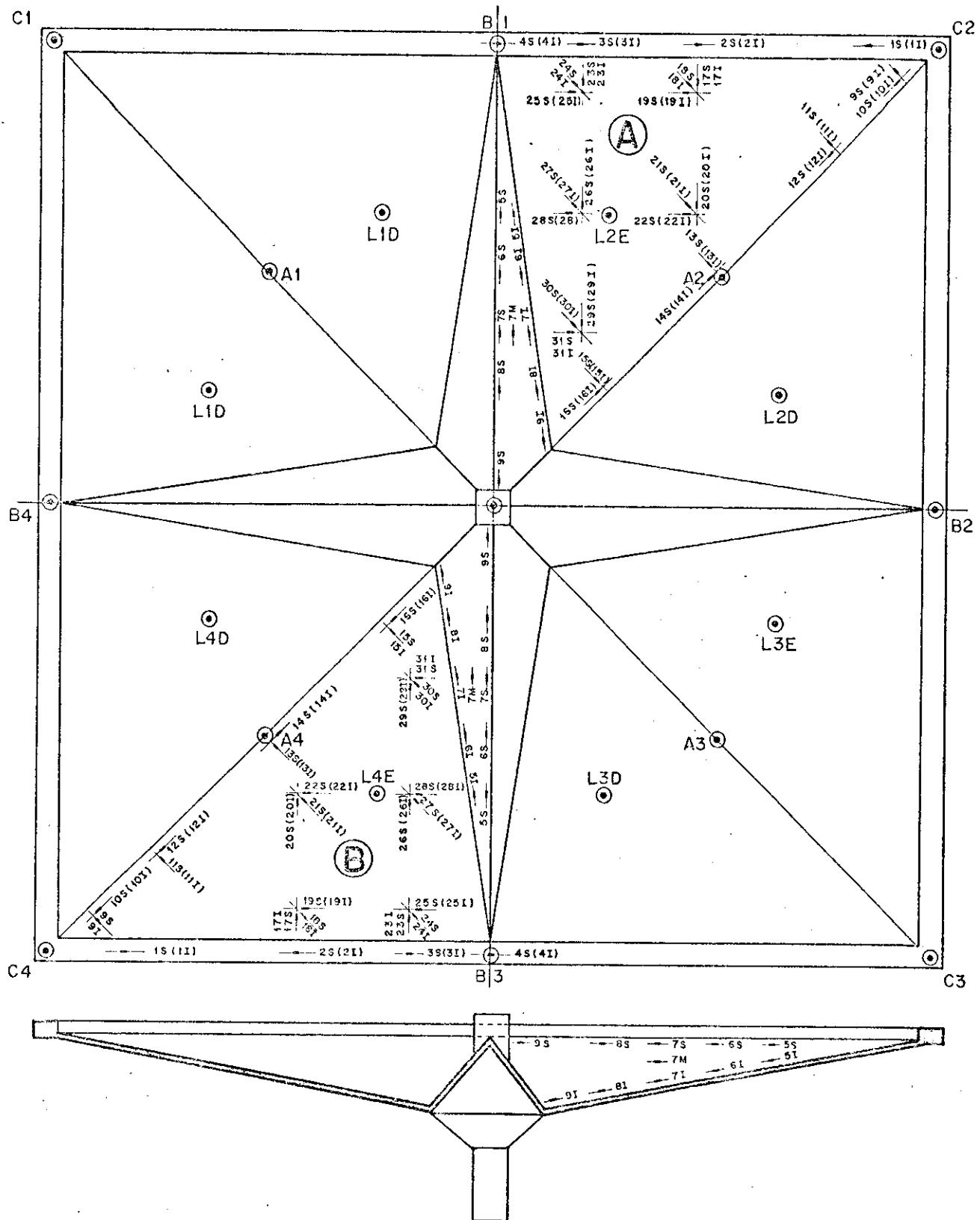


Fig. 2.12 - Locação dos pontos instrumentados para ensaios simétricos da casca poliédrica.

VISTA SUPERIOR

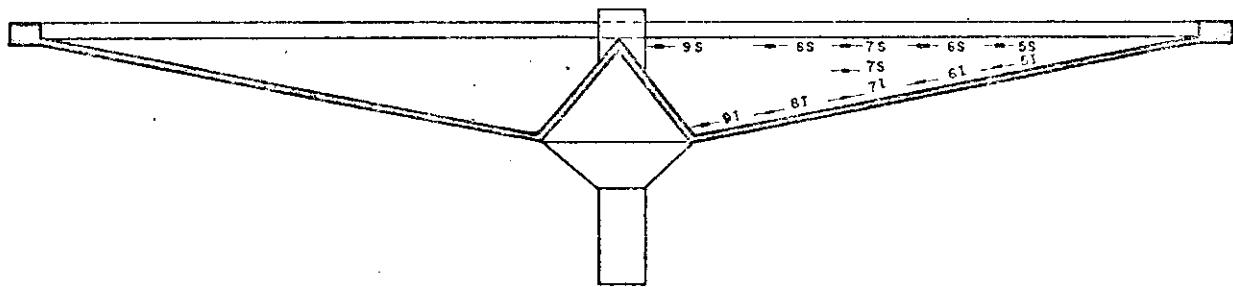
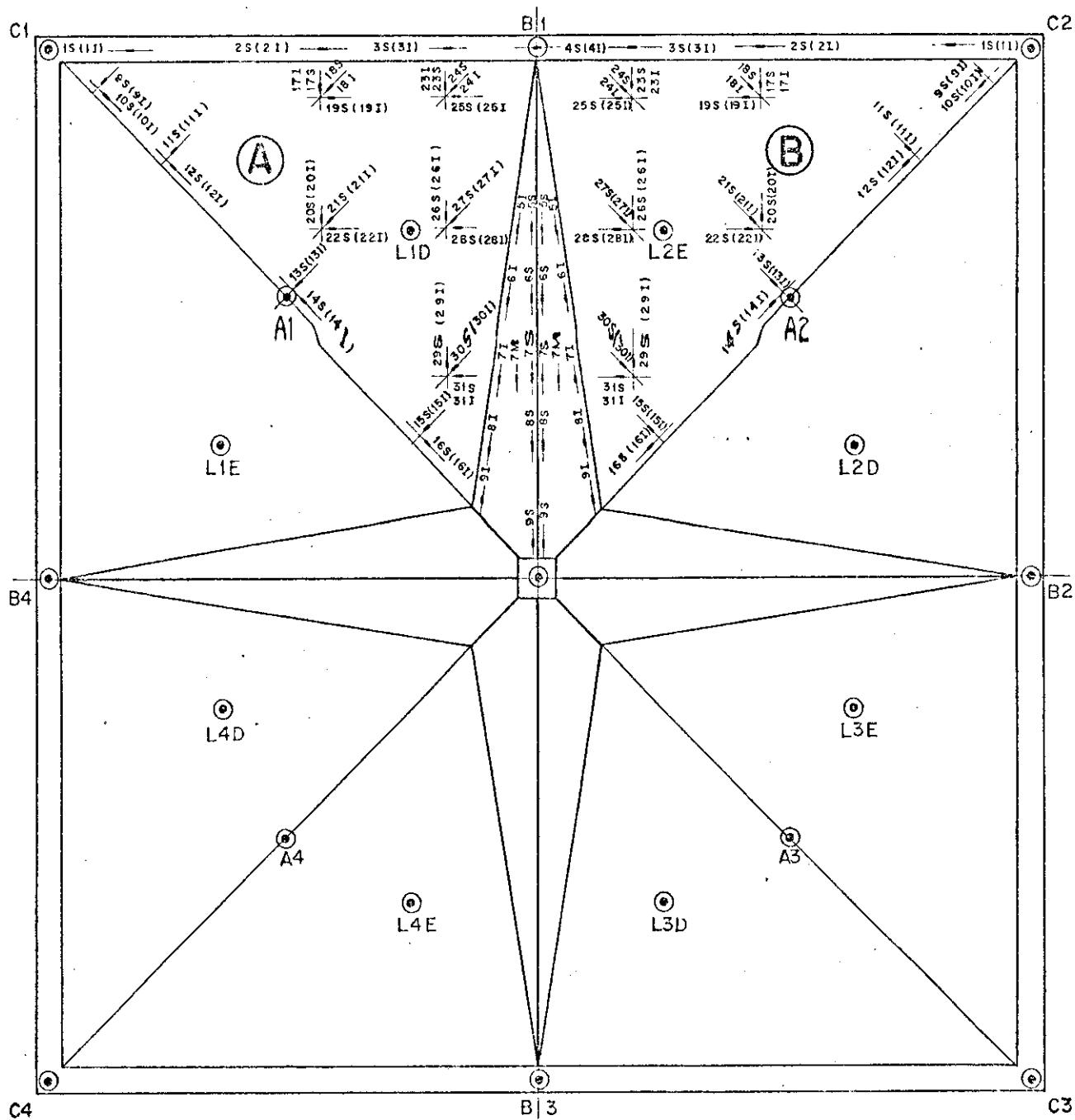


Fig. 2.13 - Locação dos pontos instrumentados para ensaios assimétricos da casca poliédrica.

tilizar, da dificuldade de instalação e ainda do custo dos extensômetros tendo em vista o grande número de modelos a serem observados.

Como as leituras obtidas com os extensômetros retratam um comportamento local do modelo, com possibilidade de sofrer as mais variadas influências, é conveniente que tenhamos a observação de um ponto confirmada pela de um análogo, pelo menos. Valendo-nos da simetria da estrutura instalamos extensômetros em dois "oitantes" opostos, definidos por regiões A e B. Isto para os ensaios simétricos, pois que nos assimétricos instrumentamos "octantes" adjacentes na tentativa de obtermos informações complementares.

Os extensômetros utilizados foram do tipo SHIM-KOH, de base de papel, S-22 ($R = 120\Omega$, GF = 2,10 e grade de 4x8mm) e R121 (rosetas retangulares, $R=60\Omega$, GF=1,97 e grade 2x8mm) ligados em ponte de Wheatstone completa com uma resistência ativa e instalados segundo técnica desenvolvida no Laboratório de Estruturas (D.A.O. MARTINELLI, 1961, B12). Hoje esta técnica é facilitada pelo emprego de materiais de propriedades mais convenientes, como a massa epóxica para regularização da superfície e o adesivo à base de cianoacrilato para colagem do extensômetro, que são materiais de grande aderência, impermeáveis, isolantes elétricos e de curas bastante rápidas (a massa epóxica pode ser trabalhada 2 horas após a aplicação, atingindo endurecimento total em 12 horas e o adesivo após 15 minutos já possui 50% do endurecimento total, que é conseguido também após 12 horas. Estas velocidades de endurecimento ainda podem ser intensificadas com o uso de ativadores).

Para a obtenção das leituras dos extensômetros foi utilizado o Sistema de Aquisição de Dados Hewlett-Packard Modelo 2012 B constituído de:

- a) um Conjunto de Comutação composto de um comutador (2911 A Guarded Crossbar Scanner) e de um controlador do comutador (2911 B - M33 Crossbar Scanner Control U-

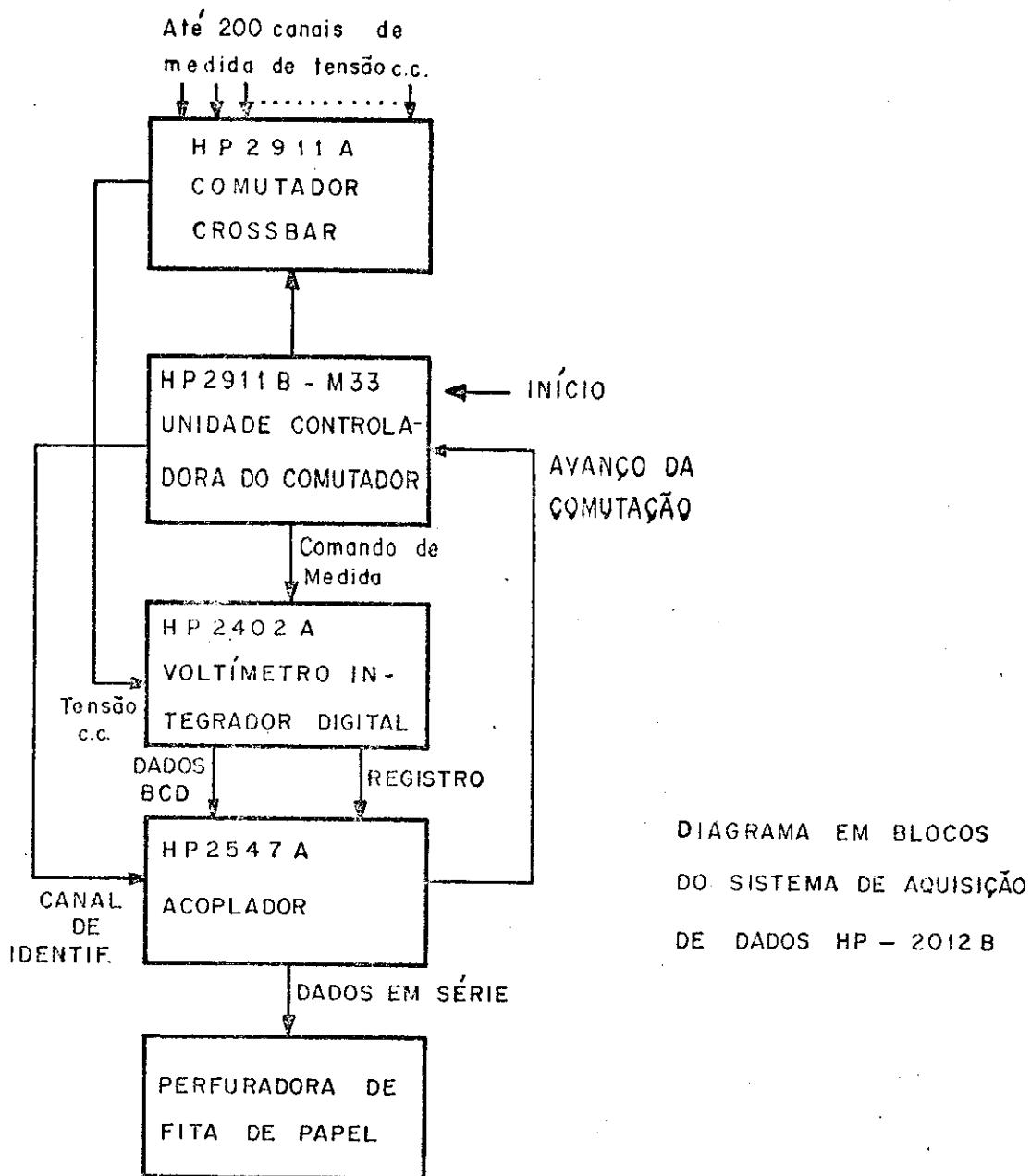
nit). O comutador tem uma capacidade de 200 canais, com três fios cada, para medida da tensão de corrente contínua com guarda. O controlador do comutador seleciona o canal, limita os canais superior e inferior da comutação, controla a sequência da comutação e fornece a identificação do canal ao acoplador;

b) um Voltímetro Integrador Digital (2402 A Integrating Digital Voltmeter) que é um instrumento totalmente em estado sólido, destinado basicamente para medida de tensão em corrente contínua. O resultado da medida é mostrado em um painel digital juntamente com o ponto decimal, polaridade e unidade de medida (mV ou V). A medida também é fornecida em uma saída digital de lógica positiva 8-4-2-1 BCD para o acoplador;

c) um Acoplador (2547A Coupler) que recebe o dado do canal identificado pelo controlador do comutador e o resultado da medida do voltímetro integrador digital, e converte estes dados fornecidos em paralelo para dados codificados em série, adequados para serem descarregados em uma perfuradora de papel;

d) uma Perfuradora de Fita de Papel (2753A - Tape Punch) que perfura, em código IBM para 8 níveis, o resultado da medida e a identificação do canal correspondente fornecidos pelo acoplador;

Para melhor ilustração do funcionamento do sistema, apresentamos a seguir o seu diagrama de blocos:

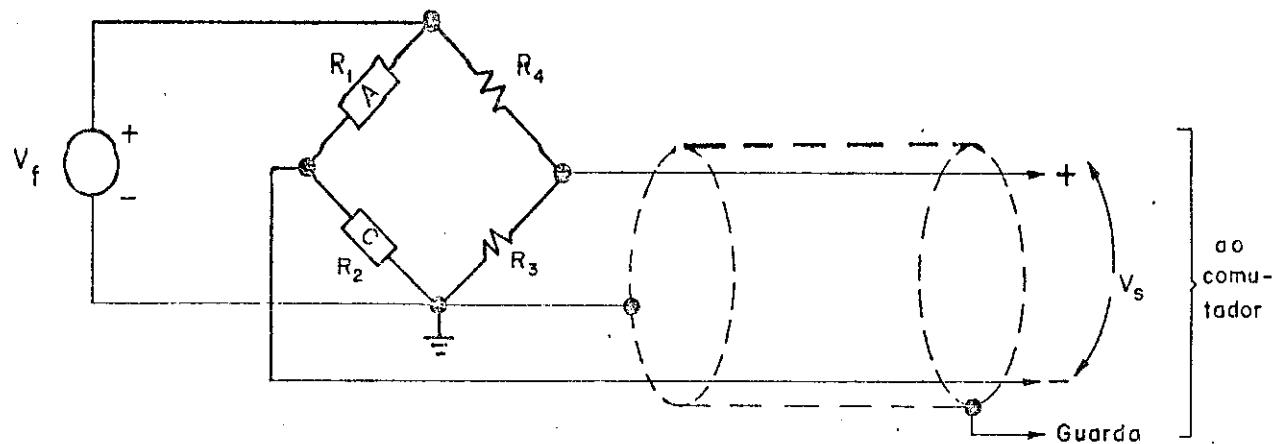


O circuito utilizado para a obtenção das medidas das deformações, como já citado, foi o em ponte completa de Wheatstone, por ser o mais adequado no uso de extensômetros elétricos de resistência, pois nos possibilita realizar uma compensação dos efeitos da temperatura mediante a ligação de um extensômetro compensador num dos braços adjacentes ao que estiver ligado o extensômetro ativo. Este compensador deve estar instalado, se possível, na mesma posição de igual peça, que a do ativo, estando pois sujeito aos mesmos efeitos da variação de temperatura.

Daí a conveniência da orientação de se procurar construir, pelo menos, 2 modelos, pois além de se aproveitar toda a experiência adquirida na construção do primeiro, o que facilita totalmente a obtenção do segundo, podemos dispor desta perfeita compensação dos efeitos de temperatura. Isto sem contar, logicamente, com a possibilidade de se poder repetir o ensaio e assim comprovar os resultados obtidos.

Para completar a ponte utilizamos dois extensômetros colados em um bloco de micro-concreto especialmente construído para este fim.

O circuito típico de cada ponto de medida era o seguinte:



R_1 - extensômetro elétrico de resistência - ATIVO

R_2 - extensômetro elétrico de resistência - COMPENSADOR

R_3 e R_4 - complementação da ponte

V_f - Fonte de C.C. Regulada de alta estabilidade

V_s - Tensão de saída

Neste circuito temos que:

$$V_s = V_f \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_f \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_3}$$

que por diferenciação nos fornece, com boa aproximação, a variação de V_s em função da variação ΔR_1 de R_1 , ou seja:

$$\Delta V_s \approx V_f \frac{R_2(\Delta R_1)}{(R_1+R_2)^2}$$

Como $\frac{\Delta R_1}{R_1} = k \frac{\Delta l}{l} = k\epsilon$, sendo k por definição

o fator de extensômetro, temos que:

$$\Delta V_s \approx V_f \frac{R_1 R_2}{(R_1+R_2)^2} k\epsilon$$

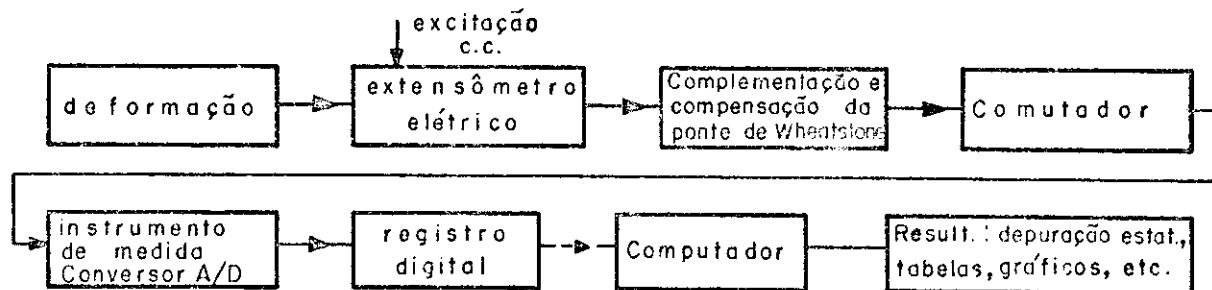
Como na ponte $R_1 \approx R_2$, temos finalmente:

$$\Delta V_s \approx \frac{V_f}{4} k\epsilon$$

Notemos que V_f é estável e ainda seu valor é tomado em cada série de leituras, não introduzindo erro na medida da deformação, cuja expressão resulta:

$$\epsilon = \frac{4\Delta V_s}{kV_f}$$

Apresentamos a seguir um diagrama de blocos para melhor ilustrar o processo de medida de deformação com extensômetros elétricos, no qual incluímos também o processamento dos dados:



Somente diante desta grande automatização, na obtenção das deformações e no seu processamento, é que resolvemos observar um total de 124 pontos. O emprego de comutação manual ou semi-automática e de aparelhos analógicos de medida, como os utilizados em trabalhos anteriores, exigiria um tempo muito longo para a realização das leituras de um mesmo estágio de carregamento, com todos os inconvenientes daí advindos, e permitiria uma grande gama de fontes de erros, criando, em consequência, uma incerteza quanto à exatidão dos valores obtidos. Também a transferência destes dados para forma passível de ser tratada por computador se constituía numa tarefa também trabalhosa e numa outra fonte de erros.

O Sistema de Aquisição de Dados H.P. não tinha ainda sido utilizado em nenhum trabalho realizado no Laboratório, sendo, portanto, uma das nossas finalidades familiarizar a equipe com o mesmo e, principalmente, podermos nos inteirar de suas reais possibilidades e da necessidade de aquisição de equipamentos complementares. Inclusive as ligações dos extensômetros ao Sistema foram estabelecidas de maneira imperfeita, não utilizando a possibilidade que o equipamento fornece de cada instalação ter a sua própria guarda. No caso os fios foram agrupados na melhor disposição possível (F19) e então envolvidos com papel-alumínio que, aterrado, fornecia uma razoável blindagem global, muito embora, talvez, seja um dos motivos da inexplicável variação observada nas leituras correspondentes a um mesmo estágio de carregamento, o que comentaremos por ocasião da apresentação destes dados. Isto deverá ser superado com a aquisição de cabos especiais blindados, com o que cada par de fios que compõem uma ligação poderá ter a sua própria blindagem.

2.9 - Cronograma de construção e ensaio dos modelos

Para melhor compreensão do cronograma apresentando convém lembrarmos que dispúnhamos de três fôrmas e cinco modelos: o modelo M1 a ser moldado e utilizando a fôrma F1; M2 na primeira semana de cura e ocupando a fôrma F2; M3 na segunda semana de cura e já desformado (F3); M4 na terceira semana de cura e M5 na quarta semana de cura e sendo preparado para o ensaio. Devemos considerar ainda o M0 a ser moldado na semana seguinte. Para o desenvolvimento das atividades do cronograma contamos normalmente com o concurso de dois técnicos e dois auxiliares. Somente para moldagem e montagem da fôrma é que contamos com mais auxiliares.

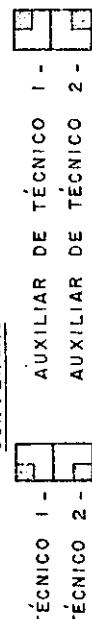
No cronograma não são consideradas as atividades: seleção dos materiais, construção e modificação da fôrma, construção e teste dos dispositivos de carregamento, construção dos dispositivos auxiliares de enchimento e nem as atividades de elaboração dos dados, realmente incomensuráveis numa apreciação esquematizada como esta. Compõe-se portanto das atividades normais depois que o processo de construção e ensaio dos modelos já estava em regime. Reconhecemos, entretanto, que representa um ritmo de trabalho não normal para uma atividade de pesquisa. Por isto e pelos inúmeros imprevistos, somente conseguimos executá-lo em alguns períodos do trabalho, tanto que no lugar das quinze semanas que seriam necessárias para a construção e ensaio dos quinze modelos, gastamos cerca de dez meses, embora, é verdade, realizando um total de dezoito ensaios.

Este cronograma tem assim mais a finalidade de fornecer uma informação dos tempos despendidos nas várias atividades que normalmente devem ser previstas, do que representar o plano real de execução.

CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES DE CONSTRUÇÃO E ENSAIO DOS MODELOS EM CICLO DE UMA SEMANA						
ATIVIDADES	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA	SÁBADO
O 1 - LAVAR E SECAR AREIA (P/MO)						
O 2 - LIMPAR FÔRMA JÁ UTILIZADA (F2)						
O 3 - MONTAR FÔRMA (F3)		X				
O 4 - IMPERMEABILIZAR A FÔRMA (F1)						4 (+4)
O 5 - CONFECIONAR TELAS (P/MO)						2
O 6 - DOBRAR ARMADURAS DAS VIGAS (P/MO)						28
O 7 - CORTAR E DOBRAR TELAS (P/MI)						4
O 8 - CONFECIONAR VIGAS DE BORDA (P/MO)						8
O 9 - CONFECIONAR VIGAS CENTRAIS (P/MI)						22
O 10 - POSICIONAR ARMADURA (P/MI)						10
O 11 - INSTALAR GUIAS DE ESPESSURA (P/MI)						24
O 12 - PREPARAR MATERIAL P/ MOLDAGEM (P/MI)						8
O 13 - MOLDAR MODELO (M1)						4
O 14 - FIXAR MODELO (M4)						16 (+12)
O 15 - CAÍAR MODELO (M4)						4
O 16 - INSTRUMENTAR O MODELO (M5)						2
O 17 - INSTALAR DISPOSITIVO DE CARGA (M5)						12
O 18 - ENSAIAR O MODELO (M5).						12
O 19 - ENSAIAR CORPOS DE PROVA (M5)						8
						4
						180 (+16)

■ OBS: - MOLDAGEM REALIZADA COM DOIS TÉCNICOS E UM AUXILIAR SUPLEMENTARES

CONVENÇÃO



AUXILIAR DE TÉCNICO 1 -
TÉCNICO 2 - AUXILIAR DE TÉCNICO 2 -

3 - ENSAIOS E RESULTADOS

- 3.1- Introdução
- 3.2- Série 1: painéis com espessura constante
 - 3.2.1- Modelos ensaiados simetricamente: M1A, M1B e M1C.
 - 3.2.2- Modelo ensaiado assimetricamente: M1D
- 3.3- Série 2: painéis com espessura variável
 - 3.3.1- Modelos ensaiados simetricamente: M2A e M2B
 - 3.3.2- Modelo ensaiado assimetricamente: M2C
- 3.4- Série 3: painéis com espessura variável e vigas centrais altas.
 - 3.4.1- Modelos ensaiados simetricamente: M3A e M3B
- 3.5- Série 4: painéis com espessura variável e vigas de borda protendidas.
 - 3.5.1- Modelos ensaiados simetricamente: M4A e M4C
 - 3.5.2- Modelo ensaiado assimetricamente: M4B
- 3.6- Série 5: casca poliédrica
 - 3.6.1- Modelos ensaiados simetricamente: M5A e M5B
 - 3.6.2- Modelo ensaiado assimetricamente: M5C
- 3.7- Análise dos resultados dos ensaios

3 - ENSAIOS E RESULTADOS

3.1 - Introdução

Como já tivemos oportunidade de justificar, no estudo desta estrutura - elemento de verificação da técnica procurada - a observação se concentra principalmente no comportamento da casca de cobertura sob solicitação simétrica de carga uniforme sobre toda a estrutura.

Os ensaios assimétricos (carga uniforme em um único quadrante), foram então executados apenas para a verificação de uma inesperada deficiência de resistência desta estrutura a esta solicitação. Em consequência, dentro das condições estabelecidas para os ensaios simétricos - sistema de sustentação e de carregamento - é que foram realizados, com algumas adaptações, os ensaios assimétricos, embora com reconhecidas imperfeições justificadas pelo mero caráter acessório destes ensaios.

Assim, em cada série de modelos - caracterizados por reproduzirem com algumas modificações, ou exatamente, a estrutura-base - dois (três na primeira série) foram ensaiados simetricamente e um único (nenhum na terceira série) assimetricamente.

O ensaio assimétrico da quarta série somente existiu porque o modelo M4B apresentou fissuras durante o processo de cura, levando-nos a construir outro modelo para o ensaio simétrico e sendo esse aproveitado para a exe-

RESUMO DAS PRINCIPAIS CARACTÉRISTICAS DOS MODELOS E ENSAIOS									
SÉRIE	MÓDULO	VIGAS CENTRAIS			ESPESSURA PAINÉIS		PROTENSÃO NA VIGA DE BORDA	INSTRUMENTAÇÃO DEFLET. ELÉTRICO RESIST.	CARREGAMENTO SIMÉTRICO ASSIMÉTRICO
		BAIXAS	ALTAS	CASCA	CONSTANTE	VARIÁVEL 1 cm			
1	M 1 A	+			+		+	+	+
	M 1 B	+			+		+	+	+
	M 1 C	+			+		+	+	+
	M 1 D	+			+		+	+	+
	M 2 A	+			+		+	+	+
2	M 2 B	+			+		+	+	+
	M 2 C	+			+		+	+	+
	M 3 A		+		+		+	+	+
3	M 3 B		+		+		+	+	+
	M 4 A	+			+		+	+	+
	M 4 B	+			+		+	+	+
	M 4 C	+			+		+	+	+
	M 5 A			+			+	+	+
5	M 5 B			+			+	+	+
	M 5 C			+			+	+	+

T. 3.1 — Resumo das principais características dos modelos e ensaios

cução do ensaio assimétrico, pois que as fissuras se localizavam em único quadrante, em nada prejudicando o ensaio.

Convém repetir aqui, sucintamente, a apresentação das cinco séries de modelos, realçando as suas características. A primeira série reproduz a estrutura-base (D1.4 e D1.5) com a simplificação de considerarmos os painéis planos com espessura constante. A segunda, caracterizada por ter os painéis com espessura mais delgada e variável, reproduz fielmente a estrutura-base. A terceira apresenta as vigas centrais de enrijecimento mais altas, modificação sugerida por terem sido estas vigas o elemento determinante da ruína da estrutura nas séries anteriores. A quarta mantém a altura inicial das vigas centrais, mas apresenta a viga de borda protendida. A quinta é a reprodução de uma forma variante, em que as vigas centrais são substituídas por dobras das faces, assumindo a forma de uma casca poliédrica.

O quadro, na página ao lado, sintetiza as características dos modelos das várias séries e os respectivos ensaios.

Com relação às observações realizadas nos ensaios, a nossa finalidade inicial, de estudar o comportamento à ruína da estrutura, seria atingida com a determinação da carga e da configuração de ruptura e de alguns deslocamentos máximos. Resolvemos, entretanto, instrumentar os modelos de modo a poder observar a evolução das deformações e dos deslocamentos, como já dissemos em 2.8, o que enriqueceu o método de ensaio, com a ampliação das informações por ele fornecidas, a custo evidentemente de um trabalho muito maior e ensaios bem mais complexos.

Como vimos, a adoção desta nova orientação se prendeu principalmente a dois fatores: devendo os modelos construídos para estudo à ruína reproduzir a estrutura com a maior perfeição possível, se encontram, portanto, nas

melhores condições para permitir o estudo em fase elástica e, o que é mais importante, em fase de fissuração e de plastificação, intermediárias entre as fases elástica e de ruína, ricas de informações para a melhor compreensão da participação dos vários elementos componentes da estrutura no comportamento global do conjunto; por outro lado a disponibilidade do equipamento já descrito, então recentemente adquirido, apresentando a possibilidade de serem obtidas as deformações de maneira precisa e relativamente fácil, ao mesmo tempo que o grande número de modelos, tanto quanto possível perfeitos, representava a oportunidade ideal para que fossem testadas as possibilidades do equipamento. Aqui aparecendo a nossa sempre presente "finalidade consequência" de procurar colaborar com o aprimoramento técnico da equipe.

Poderíamos ainda pensar numa outra utilidade destas informações - deformações e deslocamentos - a de poderem ser comparadas mais facilmente com os resultados de um possível futuro processo de cálculo.

A instrumentação desenvolvida, dentro das limitações econômicas e da atual capacidade do equipamento, como justificado em 2.8, constou de 124 extensômetros e 21 deflectômetros, mas ainda assim foi insuficiente para permitir completa definição do comportamento dos vários elementos estruturais.

No uso de extensômetros elétricos devemos sempre lembrar que além do seu alto custo, os processos de instalação, obtenção e processamento dos dados são geralmente muito onerosos. Portanto, mesmo que dispuséssemos de maior capacidade do Sistema de Aquisição de Dados, pelo grande número de ensaios previstos e por serem nossas próprias finalidades mais informativas e de complementação, não teríamos ultrapassado este número de extensômetros instalados.

Antes do início de cada ensaio, após o término da instalação de todos os extensômetros, os mesmos foram

cuidadosamente testados, sendo necessário, muito comumente, trocar alguns danificados.

Todo ensaio tinha seu início pela fixação do modelo ao sistema de sustentação, realizada por meio de protensão, como já descrito. Em alguns ensaios assimétricos esta fixação sofreu modificações, que já comentamos e que ainda serão objeto de reconsideração na apresentação dos respectivos ensaios.

É conveniente no início de um ensaio se efetuar uma série de cargas e descargas, logicamente inferiores aos limites elástico e de fissuração, processo que chamamos de escorvamento, o que, além de permitir testar os equipamentos em uso, geralmente confere ao modelo um comportamento mais regular.

Nos nossos ensaios, em que os modelos já inicialmente se apresentavam carregados com 110 kgf/m^2 - seu próprio peso e o do dispositivo de carregamento - o escorvamento foi executado aplicando-se três acréscimos de carga de 50 kgf/m^2 , perfazendo o total de 260 kgf/m^2 , e em seguida o modelo era descarregado. Iniciávamos então o ensaio propriamente dito, a partir da mesma carga de 110 kgf/m^2 e segundo a mesma orientação do escorvamento. Em cada estágio de carga, após ter sido atingida a carga correspondente, aguardávamos cinco minutos para o início da leitura das deformações e dos deslocamentos, antes porém a carga era verificada e caso necessário refeita.

Como durante a execução das leituras não convém que a carga seja reconstituída, estas leituras precisam ser feitas no prazo mais curto possível, para que a carga durante este tempo permaneça constante ou acuse pequena modificação. Esta é uma das vantagens do Sistema de Aquisição de Dados, que permite a leitura de 10 canais por segundo, ou seja, aproximadamente 13 segundos para ler todos os 124 pontos.

O primeiro estágio de carga - $110+50 \text{ kgf/m}^2$ - corresponde ao peso próprio da estrutura. Ao se adotar uma escala de semelhança geométrica $1/\lambda = L_m/L_p$, os pesos próprios homólogos guardam entre si uma relação $1/\lambda^3$, sendo necessário aplicar aos modelos forças complementares de modo que se mantenham na relação $1/\lambda^2$ (M. ROCHA e J. BORGES, 1956, B23). Isto porque quando se trabalha com modelos de mesmo material que o do protótipo, as forças homólogas devem estar a escala $1/\lambda^2$, para que se conservem as seguintes convenientes relações de proporcionalidade entre os deslocamentos, deformações e tensões de elementos homólogos, respectivamente:

$$\delta_m = \frac{1}{\lambda} \delta_p, \epsilon_p = \epsilon_m, \sigma_p = \sigma_m.$$

Assim, ao peso do modelo de 83 kgf, foi acrescido o do sistema de carregamento 204 kgf e uma sobrecarga de 128 kgf, perfazendo o total de 415 kgf. Nesta estrutura, por sua forma, o peso próprio fica muito bem reproduzido por esta carga uniformemente distribuída de aproximadamente 160 kgf/m^2 .

O segundo estágio do carregamento, peso próprio mais sobrecarga de 50 kgf/m^2 , total de 210 kgf/m^2 , corresponde à carga de serviço prevista no projeto. Como se vê 110 kgf/m^2 dos 210 kgf/m^2 da carga de serviço, já atuam no modelo antes que se possa iniciar qualquer medida de deformação e de deslocamento. A carga e a configuração de ruptura não são afetadas. Com relação aos deslocamentos, o efeito desta carga inicial de 110 kgf/m^2 pode ser considerado através de uma deslocação do sistema de referência, como é mostrado nos desenhos representativos da evolução dos deslocamentos dos vários ensaios, por exemplo no G3.2. Como o comportamento da estrutura nesta fase é razoavelmente linear, esta extração se constitui num procedimento razoável. Notamos entretanto que, em relação aos deslocamentos de ruptura, as correções são insignificantes.

Raciocínio análogo poderia ser desenvolvido no estudo das deformações.

Já com relação à carga de serviço, esta extrapolação representa uma correção de cerca de 100% nos valores destas leituras menores, em que a precisão dos aparelhos de medida é pior, destruindo todo o interesse de um estudo a respeito. Isto acontece nesta estrutura por prevalecer o peso próprio sobre a sobrecarga para as condições de serviço e, principalmente, pelo grande peso do sistema de carregamento construído com vista às solicitações de ruptura. Com estes mesmos modelos poderíamos obter uma melhor avaliação da carga de serviço com um estudo de minimização do peso do sistema de carregamento. Mas como já dissemos, item 1.2.5, para a consideração precisa deste carregamento é conveniente a utilização de técnicas especiais de avaliação do peso próprio (M. ROCHA, 1965, B22 e J.L. FIALHO, 1969, B8).

Os demais estágios do carregamento foram sempre obtidos com acréscimo de 50 kgf/m^2 , até ser atingida a ruptura da estrutura. A consideração da carga de ruptura é um pouco subjetiva, ficando na dependência das possibilidades do equipamento e até mesmo, por exemplo, do experimentador querer ou não a destruição do modelo. Assim que as charneiras plásticas atingem uma configuração que, teoricamente, tornaria hipostática a estrutura, deveria ela passar a deformar-se livremente. Todavia, essa deformação livre ainda não ocorre porque a plastificação dos materiais não é perfeita e, em algumas regiões, há a possibilidade do aparecimento de forças normais à seção - efeito de membrana - que alteram a capacidade de resistência da estrutura. Apesar de serem efeitos relativamente pequenos, que só ocorrem quando as deformações e as fissuras são bastante grandes, fazem com que, na experimentação, o que se determina como máxima carga suportada pela estrutura fique algo indefinido. Nos nossos ensaios a carga considerada se aproxima ma-

is da carga de ruína por ruptura do que por deformação plástica excessiva.

Nos últimos estágios, devido ao grande número de fissuras que apareciam e que precisavam ser assinaladas, geralmente não conseguíamos aplicar os acréscimos de carga em intervalos de 5 minutos como o programado.

É conveniente que a procura de fissuras seja auxiliada por lupas e faroletes, e assinaladas com cores diferentes em correspondência aos vários estágios. Posteriormente, ao serem transpostas para o desenho, foram caracterizadas por traços diferentes.

Para esta transposição a melhor solução encontrada foi a quadriculação do modelo e do desenho, processo que além de fornecer uma precisão muito boa é relativamente rápido. Servia ainda de orientação os orifícios de passagem dos tirantes e a posição dos extensômetros. Uma verificação final foi obtida com a superposição dos desenhos das fissuras das faces superior e inferior, quando a correspondência entre as mesmas era constatada. Talvez uma melhor solução tivesse sido aperfeiçoar um processo fotográfico.

Convém relembrar que a reprodução da carga uniformemente distribuída pelos 256 pontos de aplicação, através de regiões de contato de $4 \times 4 \text{cm}^2$, se mostrou solução muito boa permitindo o acompanhamento da formação das fissuras da face superior, e o respectivo registro. Igualmente, a substituição dos 4 tirantes iniciais pelo "carrinho" de compressão, reduzindo portanto a 1/4 o número de tirantes, tornou possível a observação da face inferior.

O registro das fissuras é apresentado, para cada modelo, por um desenho composto de uma vista da face superior e outra da inferior, nos quais as fissuras que apareceram em cada um dos vários estágios de carregamento são caracterizados por traços diferentes. E ainda salientada a

configuração de ruptura pelo engrossamento dos respectivos traços. Valendo-nos da simetria apresentada pela estrutura, na qual cada "oitante" se apresenta como elemento individualizado de observação, superposicionamos em um único as linhas de ruptura apresentadas pelos vários "oitantes" e assim obtivemos, para cada série, uma boa definição da provável configuração de ruptura.

Os deslocamentos, acusados pelos deflectômetros, são apresentados em tabelas e por gráficos que agrupam os dados de pontos correspondentes dos modelos de uma mesma série. Assim foram construídos gráficos representativos da evolução dos deslocamentos dos pontos: cantos (C_i), meios das vigas de borda (B_i), meios das arestas (A_i) e laterais à aresta (LE_i e LD_i).

Em função dos deslocamentos dos pontos correspondentes de um mesmo modelo determinamos a evolução provável dos deslocamentos dos diferentes pontos, para cada modelo. Da média entre as determinadas para os vários modelos, obtivemos a representativa da série.

Conhecidas as prováveis evoluções dos deslocamentos dos diferentes pontos, determinamos a evolução das deformadas de alguns elementos da estrutura - viga de borda, aresta e região próxima à aresta - embora de maneira simplificada pelos poucos pontos observados de cada elemento. Sómente com a observação de maior número de pontos é que poderíamos utilizar a deformada dos elementos para a determinação de esforços solicitantes.

Nos ensaios assimétricos, realizados pelo carregamento de um único quadrante, foi seguida a mesma orientação, com a diferença que a carga inicial (p.p. do modelo + sistema de carregamento) era de 85 kgf/m^2 , sendo então numa primeira etapa completados os 160 kgf/m^2 (equivalente ao p.p. da estrutura) em toda a superfície, continuando-se nas seguintes a carregar um único quadrante, em estágios

de 50 kgf/m^2 . Nestes ensaios, como dispúnhamos de um único modelo em cada série e ainda pela assimetria dos pontos em relação à carga e à vinculação, não pudemos obter a evolução provável dos deslocamentos dos pontos e somente apresentamos a tabela dos deslocamentos e as curvas representativas de sua evolução para cada ponto considerado individualmente.

Cumpre ressaltar, como já dissemos no item 2.7.1, que a pequena rigidez à rotação transversal do sistema de sustentação, aliada a imperfeita fixação do modelo, permitiu um giro do conjunto, deturpando os deslocamentos acusados pelos defletômetros. Assim são apresentados somente para que tenhamos uma indicação a mais do comportamento desta estrutura.

Também como vimos em 2.7.1, modificações introduzidas no sistema de fixação quando da realização do ensaio do M5C, fez com que os deslocamentos medidos retratassem mais exatamente a movimentação da casca em relação ao pilar.

A configuração de ruptura e as deformações são menos afetadas por estas imprecisões dos sistemas de sustentação e fixação.

3.2 - Série 1: painéis com espessura constante

Composta dos modelos M1A, M1B, M1C e M1D, sendo que os três primeiros foram ensaiados simetricamente e o quarto assimetricamente. Reproduzem a estrutura-base com a simplificação de terem as faces com espessura constante de 1cm (5cm no protótipo). Como foram os primeiros modelos a serem construídos julgávamos impossível moldar, com a precisão exigida pelo trabalho experimental, quer os painéis relativamente amplos com espessura de 0,5cm, quer as regiões de espessura variável. Foi a única série em que ensaiamos três modelos simetricamente, pois não acreditávamos conseguir uma uniformidade de execução já nestes primeiros modelos e esperávamos portanto uma maior dispersão dos resultados dos ensaios. Após a realização desta série 1, concluímos pela possibilidade de trabalharmos com menor número de modelos.

Dificuldades encontradas na elaboração do sistema de sustentação e do dispositivo de carregamento fizeram com que estes primeiros modelos somente pudessem ser ensaiados com idade superior aos 28 dias inicialmente programados.

A seguir apresentaremos particularidades de construção, acabamento, cura, instrumentação, ensaio e resultados, correspondentes a cada um dos modelos.

Como já dissemos, justificamos as minúcias de nossa descrição por pretendermos facilitar a absorção da técnica utilizada e suprir, em parte, uma lacuna da literatura sobre experimentações estruturais, que muito pouco apresenta sobre detalhes construtivos e de execução de ensaios, dedicando-se mais à apresentação e à análise de resultados.

3.2.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M1A, M1B e M1C M1A

Este primeiro modelo foi construído mais para

teste de construção e colocação da armadura, da trabalhabilidade do micro-concreto, das dificuldades de enchimento, da rigidez da fôrma e da sua facilidade de desforma, do controle de espessuras, enfim dos vários aspectos construtivos.

O amassamento da mistura teve uma duração de aproximadamente vinte minutos, com uma ação mais intensa no final, para, como já dissemos, fornecer à massa uma maior plasticidade. Seu lançamento se prolongou por cerca de duas horas e meia, tempo relativamente longo, que justifica nossa preocupação com possíveis alterações das qualidades do micro-concreto. O trabalho de acabamento se desenvolveu por mais uma hora. Cinco horas depois sua superfície foi molhada, quando retiramos as laterais internas da fôrma das vigas de borda. Já aí notamos a presença de pasta de cimento e bolhas de ar nas partes superiores do modelo em contato com a fôrma. Retiramos também a armação de sustentação da fôrma das vigas centrais.

No dia seguinte tentamos retirar as fôrmas laterais das vigas centrais, mas adiante da dificuldade encontrada resolvemos aguardar que o micro-concreto tivesse adquirido maior resistência. Somente depois de quatro dias conseguimos retirar estas laterais, constatando então a presença de alguns vazios que foram enchidos com a mistura de areia, cimento e pó de alumínio, como já comentado em 2.6. Encontramos também nas regiões superiores do modelo, em contato com fôrma, concentração de nata de cimento com bolhas de ar, o que nos mostrou a conveniência de se retirar estes elementos da fôrma, logo após o término do lançamento, para que este material pudesse ser substituído. As peças de remoção imediata impossível deverão ser chanfradas de modo a permitir o acesso a estas regiões (Fig. 1.2).

A retirada total da fôrma se deu quando o modelo estava com sete dias de idade. Observamos que o modelo acu-

sava um empenamento, com um dos cantos mais alto em relação aos outros de aproximadamente 2,5cm. Isto nos levou a construir um sistema de sustentação para o modelo constituído de pés de altura ajustáveis e traves horizontais que escoravam os painéis, passando a meia altura destes. O pilar central tinha também um sistema de apoio. Mediante ajuste dos pés e cunhas colocadas nas arestas e no centro dos painéis, entre a fórmula e as traves, conseguimos dar ao modelo a sua verdadeira forma e manter as quatro vigas de borda num mesmo plano horizontal. Esta operação era comandada por um nível topográfico.

Após a retirada da fórmula o modelo era ainda mantido umedecido até completar 14 dias, pois sendo estrutura composta de elementos estreitos é muito favorável ao aparecimento de acentuados efeitos de retração.

Como dissemos o ensaio do M1A sofreu um atraso só se realizando quando o modelo tinha 36 dias.

Como no primeiro ensaio tudo eram incógnitas, realizamo-lo com um extremo cuidado. Tínhamos adotado um esquema de carregamento que iniciado com 110 kgf/m^2 - peso próprio do modelo e do dispositivo de carregamento - atingiria, com sucessivos acréscimos de 100 kgf/m^2 , o total de 500 kgf/m^2 , quando então o modelo seria descarregado (fase de "escorvamento"). Mas ao atingirmos a carga de 400 kgf/m^2 já notamos a formação das primeiras fissuras superiores ao longo das arestas, evidenciando funcionar esta região como um engaste dos painéis. Em vista disto, resolvemos não mais descarregar o modelo e sim continuar o carregamento, mas com acréscimos de 50 kgf/m^2 , até à ruptura, que se deu com a carga de 650 kgf/m^2 , portanto cerca de três vezes a carga considerada como de serviço de 210 kgf/m^2 - peso próprio + 50 kgf/m^2 de sobrecarga.

A evolução da fissuração pode ser compreendida pela observação do desenho D3.1, onde está destacada a con-

figuração de ruptura pelo engrossamento dos traços correspondentes.

Neste primeiro modelo havíamos resolvido instalar defletômetros para observar a evolução dos deslocamentos dos cantos, dos meios das vigas de borda, dos meios das arestas e do topo do pilar, num total de 13. As tabelas com as leituras correspondentes e os gráficos representativos da evolução destes deslocamentos são apresentados a seguir (G3.2 a G3.5).

M1B

A moldagem deste segundo modelo, em tudo igual ao do primeiro teve uma duração de cerca de três horas. Embora tenhamos gasto tempo igual ao do primeiro, esta operação foi realizada com muito mais calma, diante da certeza da viabilidade de sua execução, e ainda foi introduzida uma fase à mais de verificação e correção de forma no fim da moldagem, como já descrito.

Na fôrma, como modificações, colocamos canaletas na parte superior das vigas centrais, para aí manter material durante o período de vibração, e de abas na parte inferior das mesmas, que, além de dificultar a saída do material do interior da viga, fornecia uma região do painel com espessura definitiva (Fig. 1.2). Estas abas eram removíveis, possibilitando o acesso àquela região de concentração de pasta de cimento e bolhas de ar, como constatado na desforma do M1A. Mesmo assim, na remoção das formas laterais destas vigas centrais, que desta vez foi conseguida no dia seguinte, foram encontrados vazios, mostrando a necessidade de modificações no processo de enchimento. Estes vazios foram preenchidos com a já citada mistura especial de cimento, areia, água e alumínio em pó.

Apesar da maior tranquilidade com que este segundo modelo foi moldado, o controle utilizado de espessura dos painéis, através de pinos metálicos e placas de plexi-

glas, mostrou-se solução que precisava ser modificada pela demora e dificuldade de execução.

O ensaio do M1B se deu aos 30 dias de idade do modelo, tudo ocorrendo normalmente, tendo sido atingida uma carga de 630 kgf/m^2 que, diante da imperfeita definição da ruptura, como comentado em 3.1, pode ser considerada como de grande coincidência.

A distribuição das fissuras em tudo confirmou a obtida no M1A e está reproduzida no desenho D3.2.

Para a observação dos deslocamentos foram instalados 4 defletômetros a mais, em pontos dos painéis planos, próximos às arestas (D3.2).

MIC

Na moldagem deste modelo, em vista das dificuldades e falhas encontradas nas anteriores, foram introduzidas duas modificações que consideramos básicas na tentativa de estabelecimento de uma técnica construtiva de modelos em micro-concreto de estruturas laminares.

A primeira foi a de executarmos o enchimento das vigas centrais, de pequena espessura, com apenas uma única lateral já colocada, ficando a complementação do enchimento garantido pela vibração e pelo material disposto nas canaletas colocadas na parte superior das vigas. Mais importante que a facilidade de enchimento é a possibilidade que se cria de retirarmos as laterais uma vez terminada a operação de vibração, com o que a verificação da existência de falhas e a consequente reparação podem ser realizadas de imediato, com a obtenção portanto de elementos que podemos considerar como perfeitos. Daí também evoluímos para a orientação de procurarmos retirar todas as fórmulas laterais da parte superior do modelo, o que nos possibilita a execução de reparos, facilita o trabalho de acabamento e nos dá um controle quase que total das condições da moldagem.

A outra modificação introduzida diz respeito às guias de espessura, para o que resolvemos utilizar hastes metálicas fixadas à forma, que permitem um sarrafeamento como o executado nas construções comuns. Constitui-se num processo muito mais rápido, com controle de espessura mais exato e que possibilitou a moldagem de regiões com espessuras variáveis, utilizada na série seguinte.

O MIC foi ensaiado aos 56 dias; portanto com grande atraso, se considerarmos a nossa intenção de executarmos os ensaios aos 28 dias de idade do modelo, mas justificado por ser este o primeiro modelo em que observamos deformações, com o emprego de extensômetros elétricos, o que exigiu um longo trabalho de preparo das instalações. Inclusive tivemos que moldar o MID e esperar que ficasse em condições de ser instrumentado para que dispuséssemos de extensômetros compensadores para os do MIC.

Durante o ensaio do MIC ocorreu um incidente: um dos tirantes escapou após ter sido atingida a carga de 550 kgf/m^2 , com o que todo o sistema de carregamento desmontou, caindo a carga do macaco a zero. O modelo que com a carga de 450 kgf/m^2 havia apresentado as primeiras fissuras ao longo das arestas, já se apresentava bastante fissurado. Além disso, ao se desprender o tirante o modelo sofreu uma rotação e na remontagem do sistema de carregamento novos deslocamentos foram introduzidos, com o que pouca validade continuavam a ter as leituras iniciais de referência, tanto para deslocamentos como para as deformações. Também a consideração de leituras iniciais novas acusaria deformações e deslocamentos completamente diferentes dos da primeira fase. Assim adotamos a orientação de refazer a carga de 500 kgf/m^2 e depois aplicar a de 550 kgf/m^2 , acrescentando que os efeitos correspondentes a este acréscimo pudessem ser semelhantes aos do igual estágio de carregamento da primeira fase e assim servir de elo para a continuidade do ensaio. Entretanto, pela análise dos resultados ob-

tidos, esta correspondência está longe de poder ser observada, e somente agora julgamos que teria sido melhor considerar a segunda fase como um ensaio independente e portanto com novos zeros iniciais, o que infelizmente não foi o realizado.

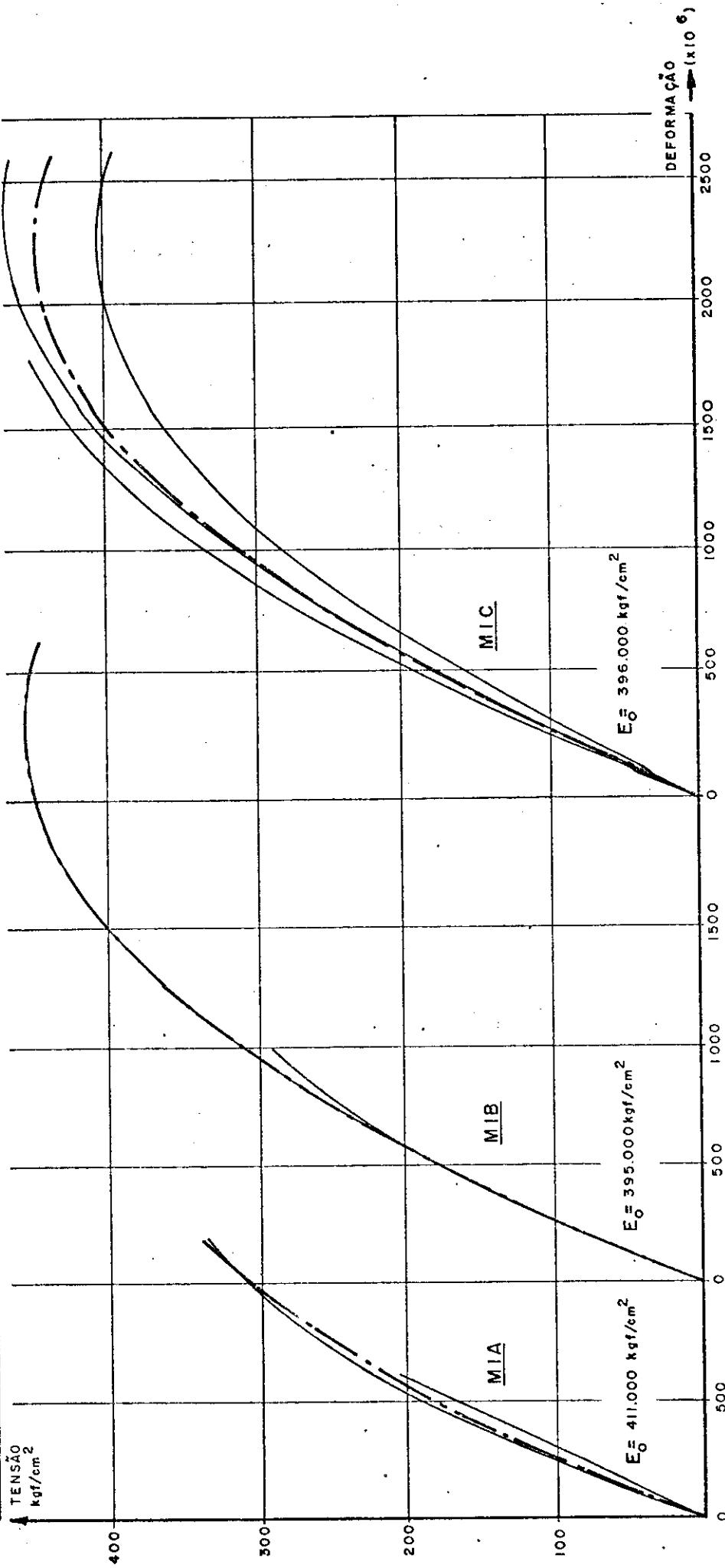
Por isso, as tabelas e gráficos dos deslocamentos somente consideram a primeira fase do ensaio. As deformações são apresentadas para todo o ensaio.

Neste modelo foram instalados mais quatro defletômetros para a observação de mais quatro pontos dos painéis, totalizando 21 defletômetros, na disposição apresentada no D3.3 e que foi mantida em todos os demais modelos.

Enquanto que a observação dos deslocamentos e das deformações ficaram prejudicadas pela paralisação do ensaio, acreditamos que a evolução das fissuras, a configuração e carga de ruptura, o foram menos, o que é confirmado pela concordância com os ensaios anteriores. O fato da carga de ruptura ter atingido 700 kgf/m^2 , superior às anteriores, está de acordo com a maior resistência à compressão apresentada pelo seu micro-concreto de 422 kgf/cm^2 aos 57 dias.

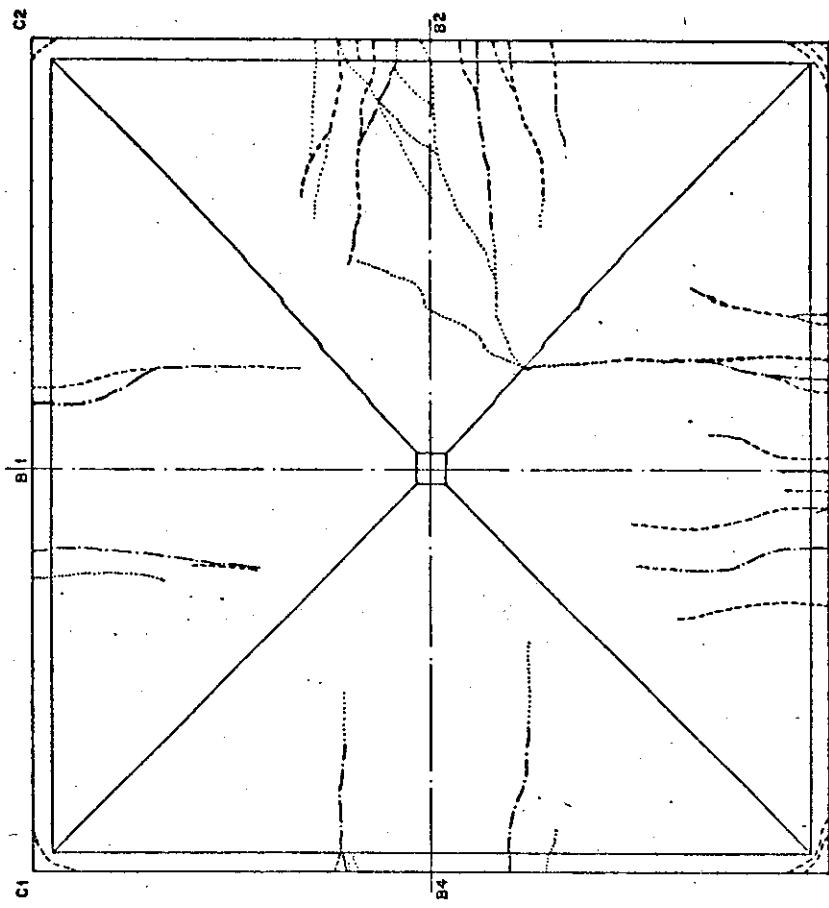
MÓDULO	IDADE	σ_{ck} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DE CORPOS DE PRÓVA CILÍNDRICOS 5 x 10						MÉDIA PADRÃO	DESVIO PADRÃO	
			360	320,8	323,4	313,2	402,3	267,9	170,5		
MIA	36	320,8	323,4	313,2	402,3	267,9	170,5	283,2	349,4	260,8	364,1
MIB	36	377,9	249,5	371,8	471,1	297,2	422,7	441,0	405,4	407,4	377,9
MIC	58	440,0	405,0	412,5	390,1	460,9	360,6	443,1	435,4	404,9	394,7

MÓDULO	IDADE	σ_{fsk} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS DE PRÓVA CILÍNDRICOS 5 x 10						MÉDIA PADRÃO	DESVIO PADRÃO	
			37	35,3	25,5	30,6	22,5	29,3	28,0		
MIA	37	35,3	35,0	28,0	35,0	43,9	31,8	22,3	26,5	26,1	24,2
MIC	61	440,0	405,0	412,5	390,1	460,9	360,6	443,1	435,4	404,9	394,7



G 3.1 — Características do micro-concreto — Ensaios Simétricos — Série 1

VISTA INFERIOR

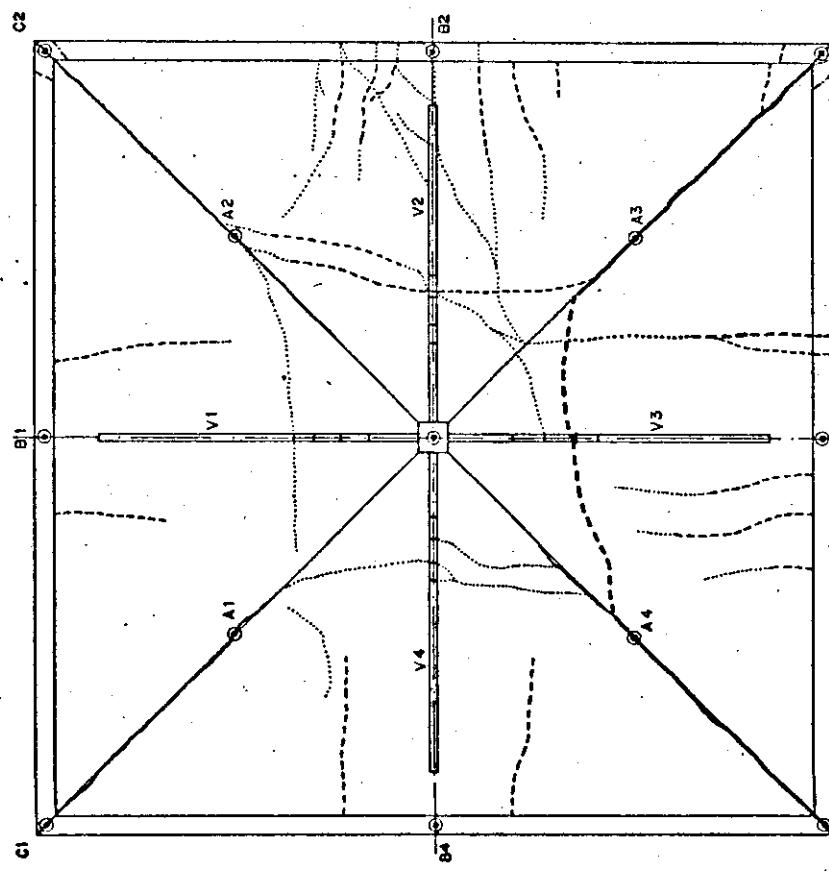


Escala 1:10
 $Q_R = 650 \text{ kN/m}^2$

Legenda
 - - - - 350 - 400 kN/m^2
 - - - - 400 - 450 kN/m^2
 - - - - 450 - 500 kN/m^2
 - - - - 500 - 600 kN/m^2
 - - - - > 600 kN/m^2

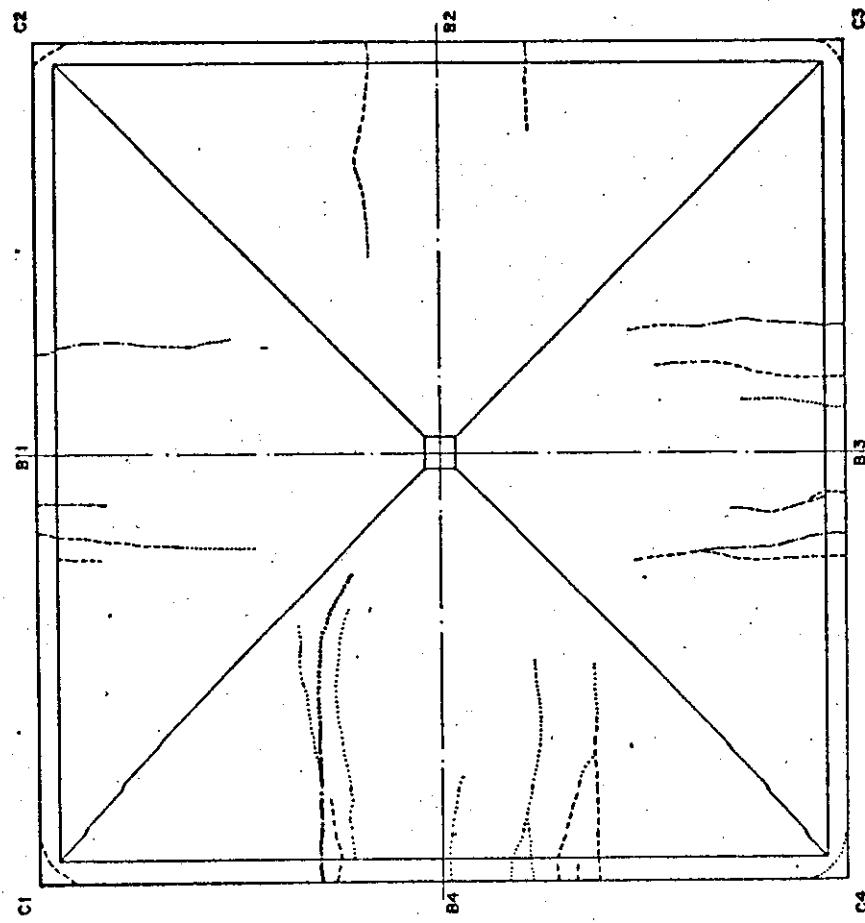
Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura

VISTA SUPERIOR



D3.1 SÉRIE 1 - MODELO M1A EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

VISTA INFERIOR



Legenda

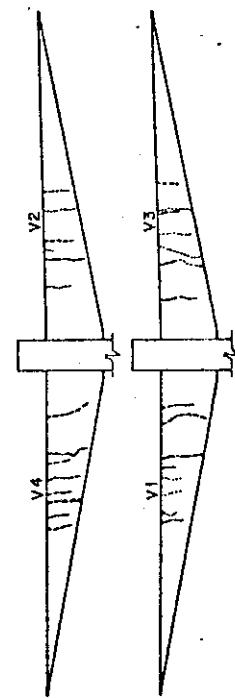
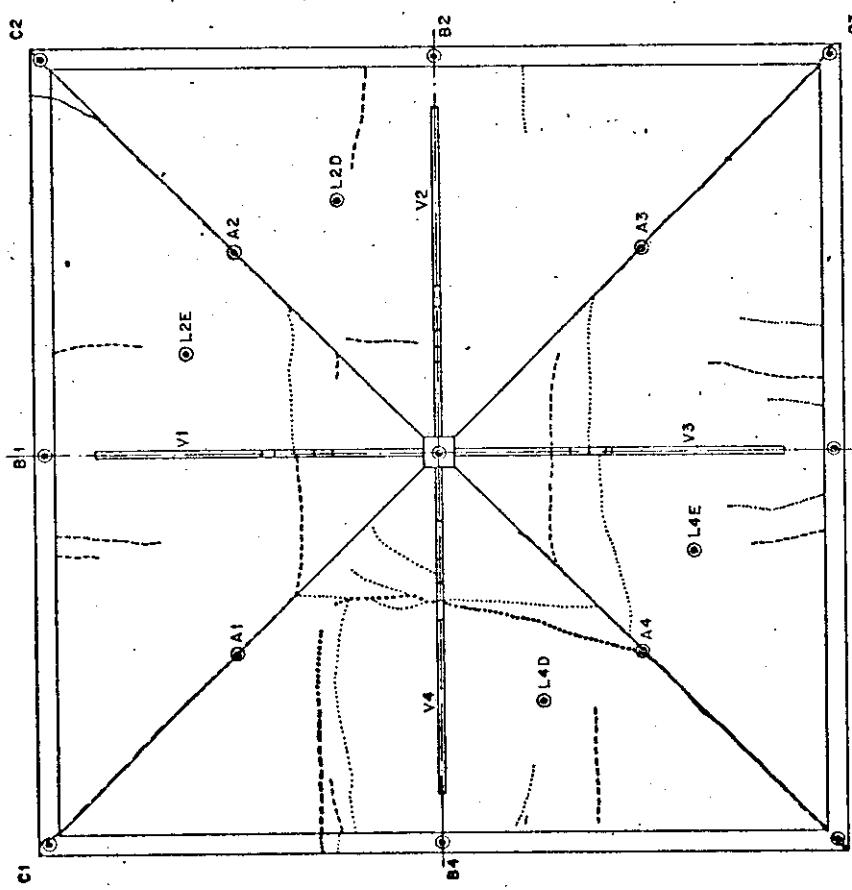
- 250 - 300 kgf/cm²
- 300 - 400 kgf/cm²
- 400 - 500 kgf/cm²
- 500 - 600 kgf/cm²
- > 600 kgf/cm²

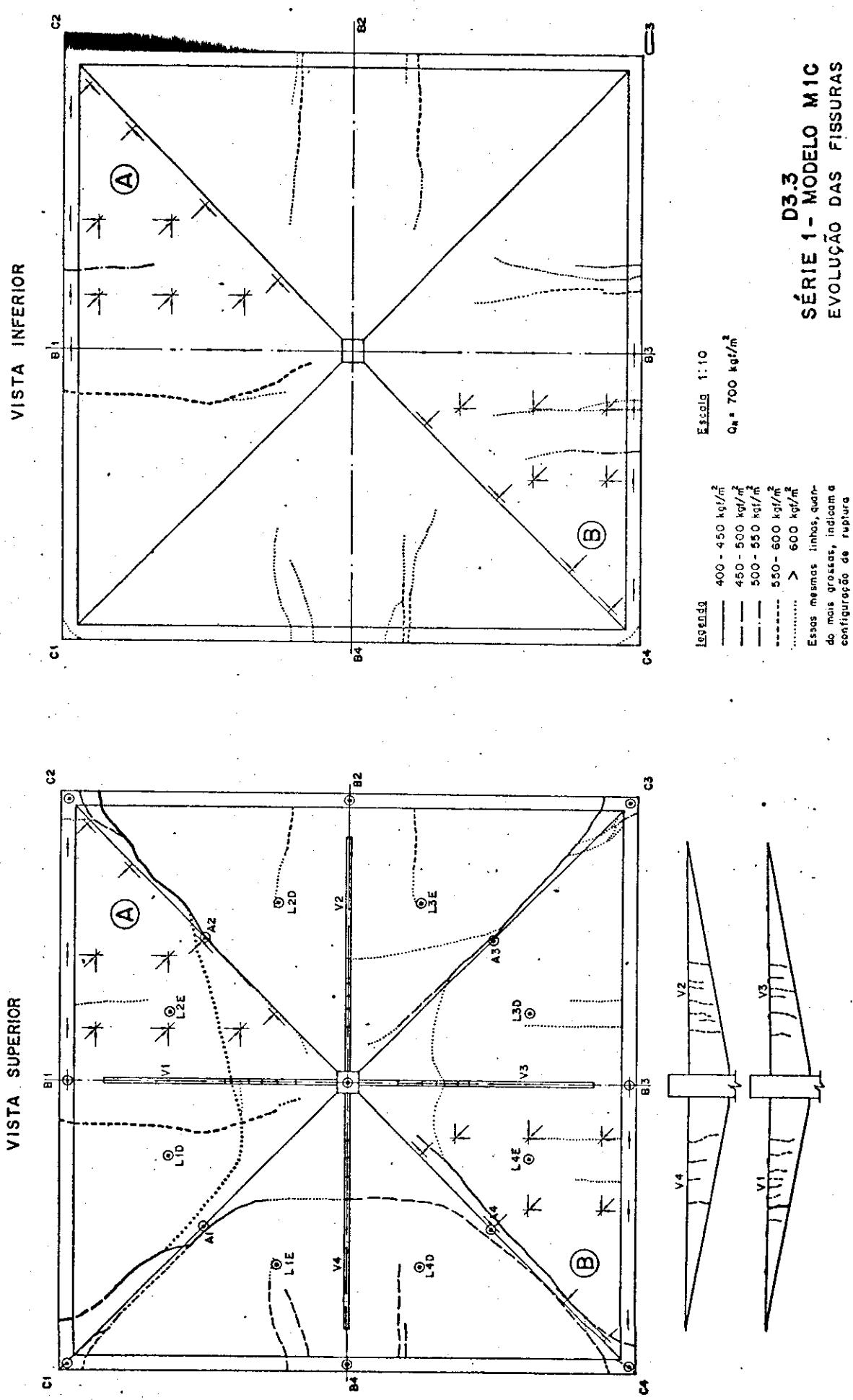
Escala 1:10 $Q_R = 630 \text{ kgf/cm}^2$

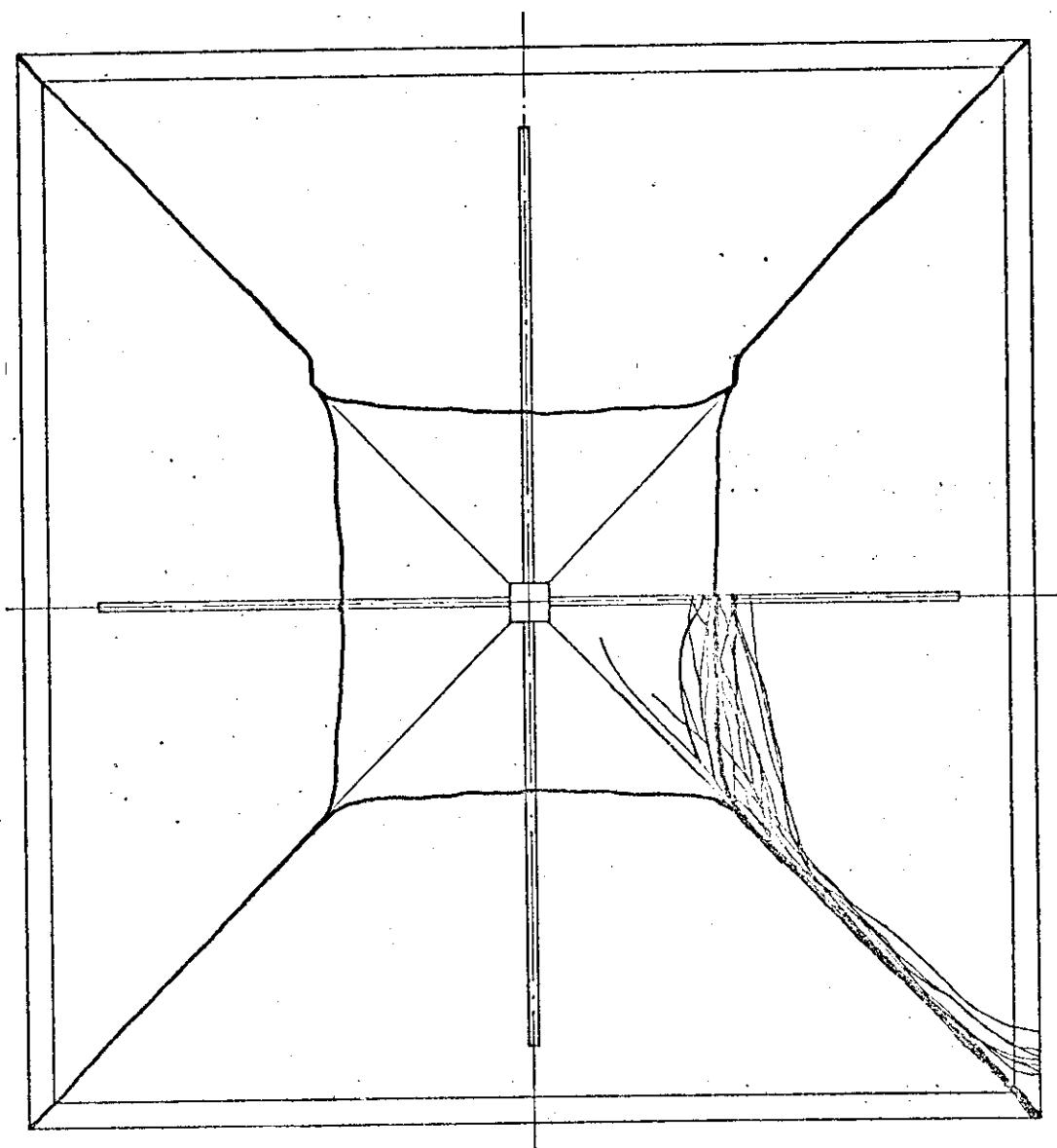
Estas mesmas linhas quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura

D3.2 SÉRIE 1 - MÓDELO M1B EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

VISTA SUPERIOR



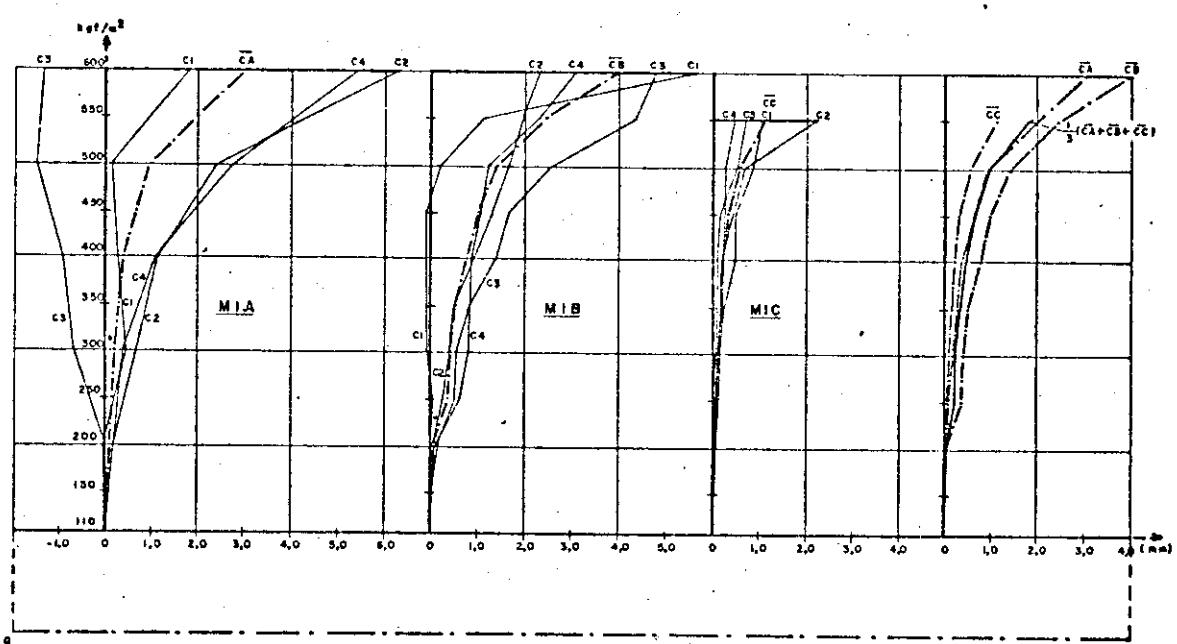
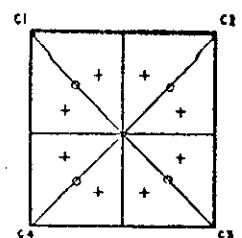




$$Q_R = 660 \text{ kgf/m}^2$$

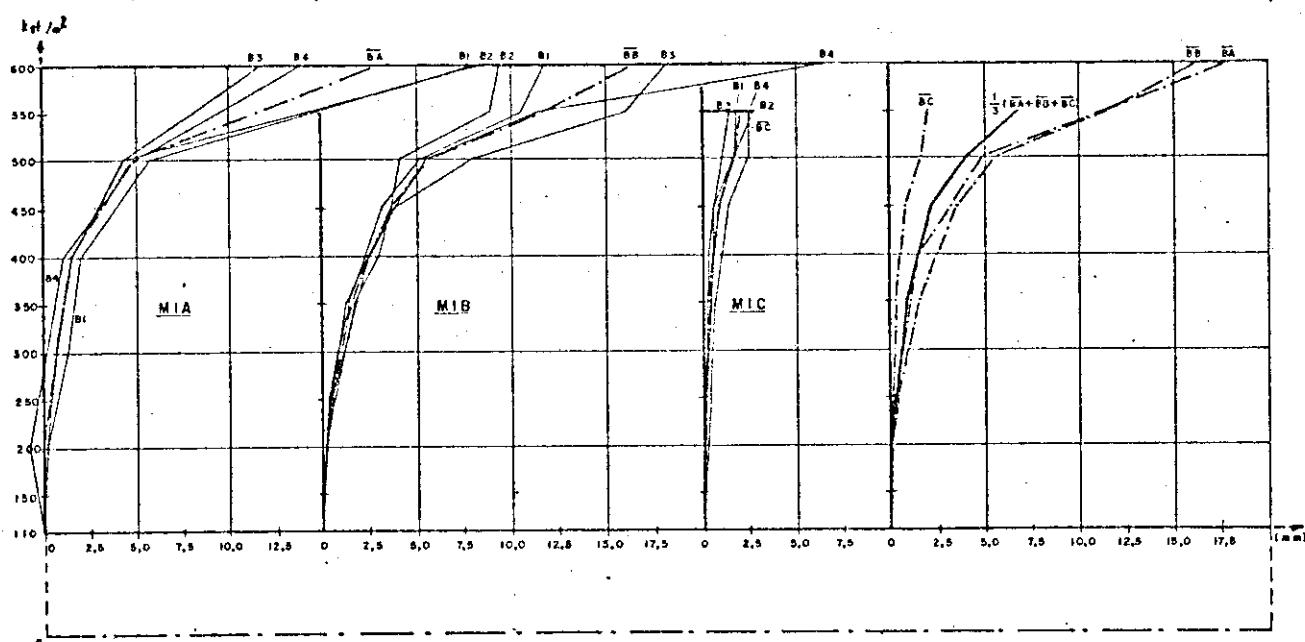
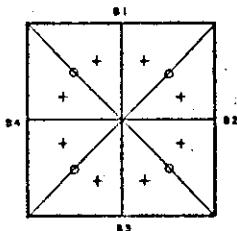
D 3.4
SÉRIE 1 - PROVÁVEL
CONFIGURAÇÃO DE RUPTURA

DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (C _i) SÉRIE I ENSAIOS SIMÉTRICOS (mm)																	
FASE	CARGA kgf/m ²	MIA					MIB					MIC					$\frac{1}{3}(C_A + C_B + C_C)$
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	\bar{C}_A	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	\bar{C}_B	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	\bar{C}_C	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	150						0	0,01	0,08	0,08	0,04	0,04	0,05	0	0	0,02	0,03
2	200	-0,05	0,20	-0,02	0,22	0,09	0,02	0,03	0,16	0,09	0,08	0,12	0,13	0	0,01	0,06	0,08
3	250						0,05	0,29	0,35	0,35	0,36	0,18	0,16	0,01	0,04	0,10	0,24
4	300	0,47	0,70	-0,70	0,41	0,22	-0,10	0,43	0,36	0,34	0,44	0,24	0,17	0,06	0,12	0,15	0,27
5	350						-0,10	0,52	0,86	0,87	0,54	0,27	0,18	0,12	0,19	0,19	0,36
6	400	0,23	1,18	-0,93	1,11	0,39	-0,10	0,94	1,43	0,30	0,79	0,49	0,23	0,07	0,19	0,24	0,46
7	450						-0,10	1,35	1,70	1,10	1,01	0,48	0,25	0,17	0,44	0,33	0,67
8	500	0,11	2,42	-1,92	2,77	0,93	0,22	1,71	2,87	1,23	1,43	0,88	0,28	0,52	0,63	0,59	0,99
9	550						1,08	1,99	4,16	2,93	2,44	1,10	0,49	0,72	2,25	1,14	1,79
10	600	1,84	6,28	-1,34	5,40	3,04	5,48	2,57	4,81	3,10	3,84						3,50



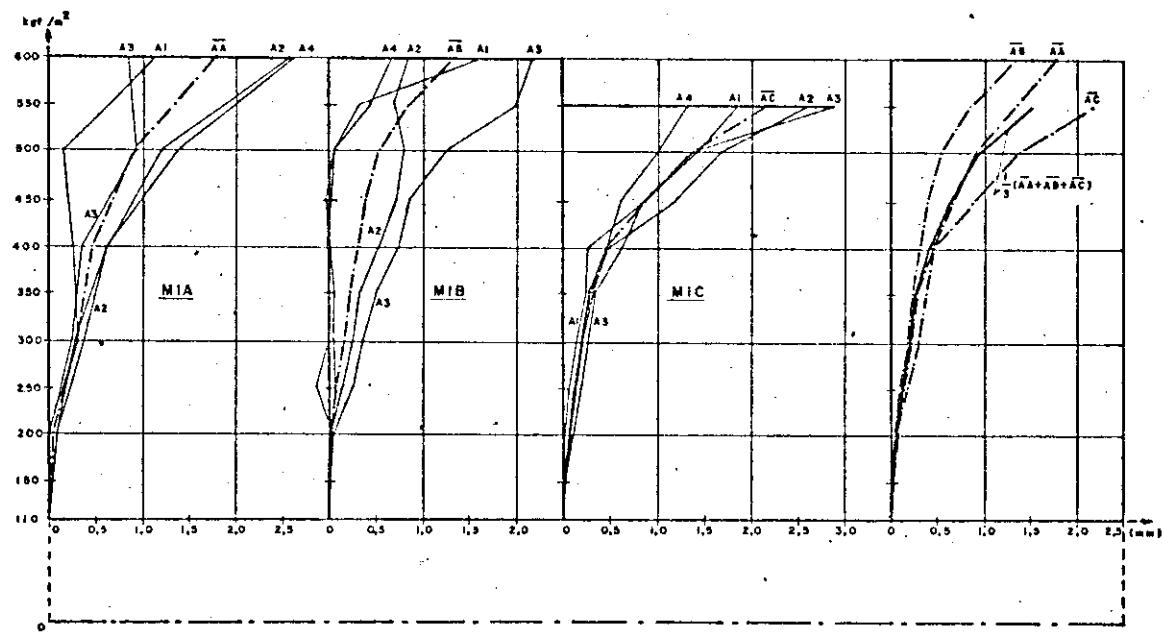
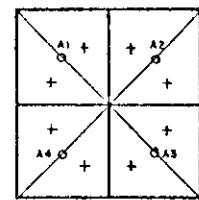
G3.2 SÉRIE I ENSAIOS SIMÉTRICOS
DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (C_i)

DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1) SÉRIE I ENS. SIMÉTRICOS (mm)																	
FASE	CARGA kg/m ²	MIA				MIB				MIC				$\frac{1}{3}(BA+BB+BC)$			
		B1	B2	B3	B4	BA	B1	B2	B3	B4	BB	B1	B2	B3	B4	BC	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	160						0,10	0,13	0,15	0,12	0,12	0,10	0,02	0	0,01	0,03	0,08
2	200	0,23	0,19	0,21	-0,78	-0,04	0,23	0,28	0,27	0,24	0,25	0,28	0,08	0,06	0,03	0,10	0,08
3	250						0,48	0,73	0,57	0,37	0,54	0,41	0,11	0,16	0,14	0,20	0,37
4	300	1,34	0,69	0,74	0,21	0,74	0,98	1,24	1,23	0,89	1,05	0,53	0,17	0,34	0,15	0,30	0,71
5	350						1,43	1,77	1,90	1,35	1,61	0,68	0,28	0,49	0,28	0,42	1,01
6	400	2,06	1,08	1,57	1,17	1,08	2,32	3,00	2,45	2,58	2,80	1,08	0,31	0,59	0,66	0,69	1,61
7	450						3,17	3,68	3,88	3,64	3,84	1,39	0,63	0,62	0,95	0,90	2,27
8	500	5,70	4,30	4,57	4,99	4,61	5,21	4,13	7,97	5,53	5,71	2,48	1,09	1,70	1,74	1,75	4,10
9	550						10,61	6,93	16,06	11,51	17,78	2,52	1,48	2,70	1,84	2,13	6,91
10	600	23,16	23,62	11,81	13,80	18,12	11,92	9,51	18,25	26,39	16,52						17,32



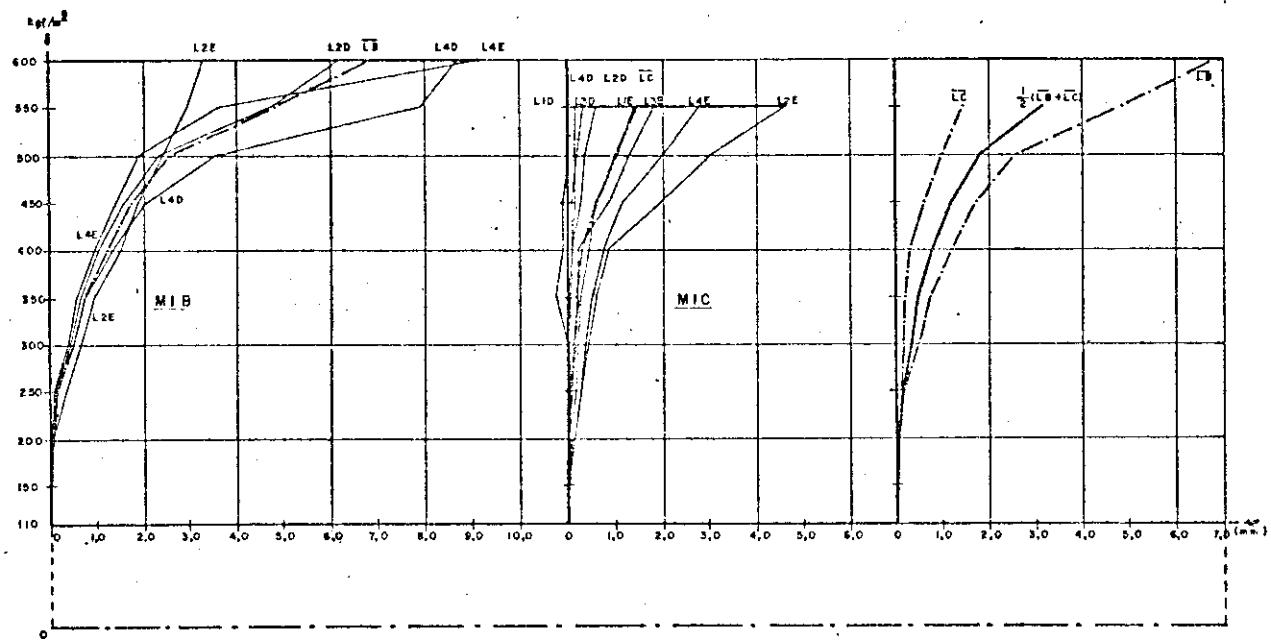
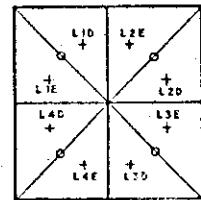
SÉRIE I ENSAIOS SIMÉTRICOS
G3.3 DESLOCAMENTOS DOS MEIOS
DAS VIGAS DE BORDA (B1)

FASE	CARGA kgf/m ²	MIA								MIB								MIC								$\frac{1}{3}(\bar{AA} + \bar{AB} + \bar{AC})$
		A1	A2	A3	A4	\bar{AA}	A1	A2	A3	A4	\bar{AB}	A1	A2	A3	A4	\bar{AC}										
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	150						0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0	0,03	0,02	0,02	0,02								
2	200	-0,01	0,09	0	0,09	0,04	0,03	0,05	0,07	0,05	0,05	0,12	0,05	0,05	0,09	0,08	0,06	0,06								
3	250						0,08	0,16	0,27	-0,14	0,09	0,20	0,13	0,08	0,13	0,14	0,11									
4	300	0,32	0,38	0,23	0,28	0,31	0,05	0,27	0,37	0,01	0,17	0,27	0,22	0,15	0,20	0,22	0,21									
5	350						0,04	0,34	0,52	0,01	0,23	0,34	0,32	0,24	0,27	0,29	0,26									
6	400	0,25	0,63	0,35	0,63	0,46	0	0,59	0,76	-0,02	0,32	0,63	0,48	0,26	0,47	0,44	0,42									
7	450						-0,04	0,76	0,98	0,03	0,40	0,86	1,20	0,88	0,42	0,89	0,65									
8	500	0,14	1,19	0,34	1,58	0,91	0,05	0,82	1,25	0,06	0,34	1,44	1,69	1,38	1,02	1,38	0,94									
9	550						0,29	0,70	2,02	0,44	0,66	1,88	2,60	2,88	1,34	2,17	1,52									
10	600	1,15	2,57	0,54	2,62	1,79	1,63	0,86	2,21	0,58	1,34															

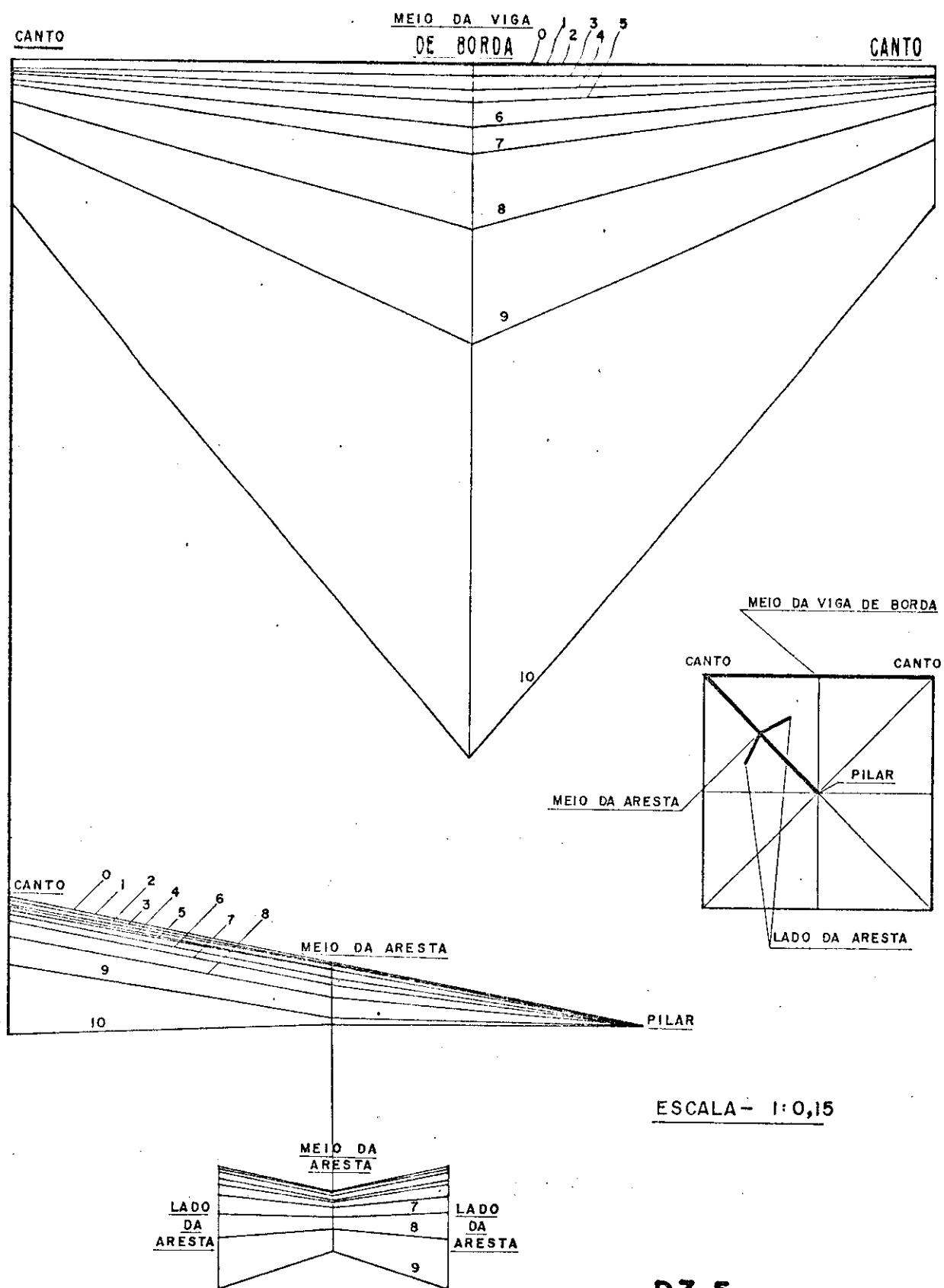


G3.4 SÉRIE I ENSAIOS SIMÉTRICOS
DESLOCAMENTOS DOS MEIOS
DAS ARESTAS (A1)

DESLOCAMENTOS DOS LADOS DAS ARESTAS (LEI,LDI) SÉRIE I ENS. SIMÉTRICOS																
FASE	CARGA kg/m ²	MIB					MIC								$\frac{1}{2}(L8+LC)$	
		L2E	L2D	L4E	L4D	L8	LEI	L10	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D		
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	150	0,03	0,03	0,07	0,04	0,05	0,04	0,01	0,06	0	0,01	-0,02	0,07	0	0,02	0,03
2	200	0,12	0,06	0,10	0,11	0,10	0,12	0,01	0,18	0	0,03	-0,01	0,18	0,05	0,07	0,08
3	250	0,37	0,15	0,10	0,20	0,20	0,20	0,01	0,33	0,02	0,08	0,01	0,30	0,10	0,13	0,17
4	300	0,70	0,47	0,41	0,65	0,53	0,24	0,01	0,47	0,08	0,16	0,01	0,40	0,10	0,18	0,36
5	350	0,98	0,68	0,60	0,78	0,76	0,30	-0,25	0,63	0,12	0,24	0,07	0,55	0,12	0,22	0,49
6	400	1,56	1,08	0,99	1,38	1,25	0,47	-0,08	0,89	0,14	0,23	0,10	0,77	0,16	0,33	0,79
7	450	1,83	1,63	1,42	2,10	1,77	0,62	-0,09	2,00	0,31	0,88	0,11	1,18	0,19	0,65	1,21
8	500	2,49	2,40	1,97	3,61	2,62	1,08	0,04	3,07	0,39	1,53	0,22	2,06	0,14	1,04	1,83
9	550	3,02	4,80	3,70	7,94	4,86	1,44	0,02	4,67	0,63	1,87	0,35	2,84	0,20	1,50	3,18
10	600	3,37	6,23	8,19	8,74	6,88										



G3.5 SÉRIE I ENSAIOS SIMÉTRICOS
DESLOCAMENTOS DOS LADOS
DAS ARESTAS (LEI,LDI)



D3.5

SÉRIE I

EVOLUÇÃO DAS DEFORMADAS

MIC

CARGA kgf/m ²	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																	
	A01S	A01I	B01S	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I		
150	68	-41	-65	+5	0	3	-5	-10	-20	-45	77	-13	66	-44	13	-36	+14	-12
200	154	-12	10	-2	-16	2	12	38	-12	-18	-67	97	-12	108	-66	55	-108	-6
250	1712	-17	10	-24	-6	-1	5	-20	103	-19	24	-6	23	-2	1612	-6	-10	-12
300	1917	-31	12	-35	-8	10	-20	56	-25	19	-24	25	-12	2020	-22	62	-18	2
350	3427	-42	12	-41	-3	20	-10	88	-29	28	-29	31	-19	3133	-20	13	-24	17
400	3442	-42	37	-58	-8	26	-18	27	-44	43	-39	48	-34	5052	-26	23	-29	25
450	6759	-78	56	-71	-39	50	-50	46	-63	64	-88	76	-57	6971	-77	71	-81	74
500	5953	-74	50	-62	-102	86	-71	67	-95	112	-90	114	-120	117113	-130	415	-130	413
550	5353	-99	33	-60	-153	104	-94	62	-122	110	-138	510	-171	9294	-140	483	-136	485

500	36-5	-97	18	-52	-182	98	-100	54	-128	89	-130	505	-202	4846	-168	426	-166	425
550	4-2	-145	-12	-96	-229	64	-142	18	-171	64	-176	516	-213	5454	-170	468	-174	472
600	-1-5	-150	-6	-102	-263	79	-151	16	-169	66	-176	585	-202	5860	-187	554	-187	554
650	-6-8	-143	14	-123	-275	92	-121	-8	-173	70	-204	1320	-202	6264	-164	584	-162	594
640	-6-8	-145	16	-128	-277	96	-121	-2	-179	76	-206	1345	-204	6465	-159	605	-159	605
700	-6	-171	-4	-105	-290	88	-141	18	-135	66	-607	2553	-175	5656	-157	643	-181	1164
700	-6	-173	-2	-107	-290	88	-136	8	-126	62	-546	2291	-154	5050	-147	1198	-147	1198

valores negativos correspondem a encurtamentos

valores positivos correspondem a alongamentos

***** - valor superior a 9999

carga inicial - 110 kgf/m²

--- paralisação do ensaio

MIC

CARGA kgf/m ²	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
	A05S	A05I	B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I	
150	00	-28	128	00	99	316	-5	88	-6	246	-14-10	33	-79	7-7	-7		
200	1014	-10-18	2722	-5-1	2422	1529	-16	2620	-1437	26-10	1812	-11-24	3424	-19-24			
250	2926	-24-18	3939	-15-17	4540	1924	-1837	41-8	1248	-1237	37-31	3535	-28-20	3438	-30-32		
300	2927	-29-31	4845	-24-15	4545	2422	-2927	52-18	52-29	4848	-4348	46-43	4143	-47-41			
350	5039	-37-39	107109	-28-32	5355	3441	-3533	6477	-3533	5852	-50-37	6668	-67-47	5155	-49-49		
400	4556	-39-35	134138	-22-38	4149	3838	-3733	7177	-46-35	6452	-62-56	106107	-60-57	4040	-59-59		
450	4658	-45-33	142149	-28-32	4149	5181	-41-41	111121	-66-56	441450	-100-90	250247	-62-70	209224	-81-83		
500	7171	-33-41	172174	-49-39	5747	5347	-50-48	701719	-126-138	635641	-125-136	564572	-106-106	386390	-100-106		
550	9696	-39-41	185195	-68-70	4753	4383	-62-60	830832	-183-162	712718	-183-178	714724	-135-135	498511	-119-119		
500	4545	-73-73	140138	-110-112	31	1311	-9814	-100-100	675673	-233-233	499499	-242-242	636635	-205-203	532529	-169-169	
550	6060	-79-79	159159	-114-114	1111	1719	-2629	-100-102	745754	-244-248	545547	-256-258	701705	-218-218	477468	-182-186	
600	107107	-84-83	197197	-131-133	3028	2222	-109-109	817815	-282-280	554551	-280-282	731729	-253-251	530532	-199-199		
650	124126	-88-88	560585	-163-167	4355	3436	-117-124	826849	-299-309	532558	-334-341	726745	-277-289	547576	-232-243		
640	214297	-98-94	657459	-182-157	479539	7470	-52-29	-130-103	844854	-341-371	630434	-457-875	745704	-323-328	829762	-306-292	
700	307307	-96-96	429429	-152-152	62176	-32-32	-102-102	872872	-402-402	275275	-794794	727727	-342-342	754754	-300-300		

T 3.3 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SERIE 1 - MODELO MIC
PONTOS DAS VIGAS CENTRAIS

MIC

CARGA kgf/m ²	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
	A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I
150	5	-5	-7	3	9	-2	-6	9	10	-8	-5	-9	10	-8	-1	-5
200	10	-9	-19	3	11	-8	-6	1	25	-8	-5	-9	24	-19	-7	-3
250	5	-19	-26	20	19	-12	-13	1	29	-31	-11	-11	35	-34	-3	-10
300	10	-22	-38	6	9	-26	-27	0	38	-50	-13	-17	48	-52	-5	-14
350	14	-36	-45	10	20	-33	-29	5	55	-64	-9	-15	73	-63	-11	-12
400	26	-47	-40	24	38	-61	-38	19	78	-75	-9	-20	622	-120	-11	-14
450	73	-66	-68	43	81	-58	-497	51	25	-37	-34	5	3780	-38	-41	-6
500	100	-49	-28	33	74	-20	-417	68	31	-176	-22	20	****	-82	-49	21
550	98	-53	-34	29	72	-46	-440	53	15	-185	-28	9	****	-88	-64	-1
---	98	-41	-20	33	66	-64	-434	32	-3	-210	-26	0	****	-227	-95	2
500	3	-32	-41	-25	11	-100	-518	-22	-43	-244	-57	-36	****	-516	-116	-37
550	6	-36	-43	-23	20	-107	-524	-17	-37	-244	-59	-36	****	-514	-118	-37
600	-46	11	7	-90	32	-128	-514	-13	-41	-261	-57	-36	****	-637	-106	-39
650	-65	38	24	-139	45	-143	-516	-15	-37	-267	-64	-34	****	-991	-135	-33
650	-65	41	28	-143	58	-159	-444	-15	-33	-269	-66	-36	****	-1166	-144	-33
640	-57	36	-5	-154	57	-172	-1006	-9	-31	-267	-66	-34	****	-908	-163	44
700	-53	41	-11	-221	30	-181	-763	-102	-44	-280	-60	-30	****	-942	-169	53
													-1050	-155	105	

T3.4 DÉFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SERIE 1 - MODELO MIC

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MIC

CARGA kgf/m ²	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
	A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I
150	-1	-8	-8	-3	30	-10	-11	-7	0	0	-2	25	8	1	-7	-3
200	11	-16	-12	-12	68	-34	-15	-13	-2	-5	-6	21	4	-7	-13	-11
250	19	-26	-16	-8	154	-55	-20	-20	1	-9	-8	42	12	-1	-24	-11
300	20	-26	-18	-14	152	-55	-20	-17	0	-15	-6	44	12	-13	-24	-13
350	20	-41	-24	-22	268	-82	-30	-17	0	-13	-12	33	4	-15	-22	-17
400	38	-46	-27	-20	476	-107	-41	-24	12	717	-19	34	12	-17	-5	-24
450	38	-43	-33	-24	1453	-193	-72	-24	16	-19	-29	34	27	-32	66	-28
500	20	-20	-69	-8	5013	-385	-99	-13	45	-62	24	111	88	-72	142	-34
500	26	-16	-64	12	7593	-507	-99	5	37	-45	83	1462	42	-49	371	-26
550	26	-26	-60	6	7636	-528	-104	-3	20	-66	81	1457	31	-62	371	-43
550	26	-27	-77	10	*****	-710	-114	-5	6	-74	237	1690	10	-58	506	-62
500	-26	-43	-94	-52	*****	-775	-118	-51	-46	-95	509	2735	-35	-79	534	-91
550	-22	-41	-98	-58	*****	-824	-129	-53	-44	-97	539	3279	-31	-83	553	-91
600	-17	-25	-102	-50	*****	-928	-135	-62	-44	-106	573	*****	-33	-85	627	-102
650	-17	-24	-107	-54	*****	-1290	-157	-60	-42	-110	741	*****	-46	-68	675	-116
640	-13	-22	-107	-55	*****	-1532	-144	-19	-47	-114	828	*****	-45	-62	679	-125
700	-9	-6	-107	-52	*****	-1458	-161	11	-70	-104	*****	*****	-65	-24	733	-180

T3.5 DÉFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SERIE 1 - MODELO MIC

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MIC

CARGA kgf/m ²	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
	A175	A171	A185	A181	A195	A191	B175	B171	B185	B181	B195	B191	A205	A201	A215	A211
150	-2	-4	9	0	2	-4	12	-4	1	3	-7	0	-8	-8	-3	-2
200	-8	6	5	0	0	-2	2	0	-2	3	-5	1	-10	-10	-2	-2
250	8	-1	9	-4	8	-4	12	0	-1	7	-5	5	-8	-10	-1	-4
300	-2	-5	-4	-2	2	0	16	0	-4	13	-5	3	-10	-12	0	-2
350	6	-7	3	0	-2	-1	8	6	1	-4	13	-1	11	-10	-12	-8
400	6	-7	0	1	0	2	16	4	5	-4	19	-3	21	-2	5	-8
450	0	6	3	7	2	2	28	-10	19	-12	35	-3	39	-31	7	20
500	-6	14	-12	19	2	40	8	19	-10	56	-7	56	-16	7	3	32
550	-14	8	-27	15	-1	46	-2	11	-4	54	-9	68	-18	-2	21	40
600	-28	-39	-55	-22	-37	16	-30	-29	-22	19	-39	48	-43	-35	-4	12
650	-34	-35	-57	-20	-37	18	-30	-27	-25	25	-43	50	-41	-41	-2	14
700	-30	-35	-59	-22	-37	26	-42	-27	-18	35	-37	64	-31	-41	19	20
640	-28	-39	-53	-25	-39	32	-46	-16	-16	39	-31	50	-25	-49	23	20
690	-28	-39	-55	-20	-37	38	-48	-14	-18	45	-33	54	-25	-51	23	22
740	-40	-51	-53	-18	-37	40	-50	-12	-14	41	-37	60	-20	-51	25	22
790	-36	-23	-47	-24	-35	30	-56	-14	-10	47	-37	66	-25	-55	31	8

T 3.6 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 1 - MODELO MIC
PONTOS DOS PAINÉIS

CARGA kgf/m ²	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
	A225	A221	B205	B201	B215	B211	B225	B221	A235	A231	A245	A241	A255	A251	B235	B231	
150	-2	-1	6	2	0	0	7	-2	0	-2	0	0	10	5	0	-5	-2
200	-2	-3	-4	-5	-10	1	-2	-4	-8	-2	2	-1	2	0	5	-11	2
250	0	-3	-7	-14	5	0	-4	-8	-2	10	4	4	1	9	-21	-4	
300	-2	-3	-5	-20	3	1	-4	-12	-10	-2	6	2	3	13	-25	-4	
350	-6	-1	-7	-24	9	0	-6	-14	-14	4	2	8	0	19	-27	-8	
400	0	0	-11	-12	1	19	-8	-4	-18	16	4	10	5	27	-33	2	
450	-16	20	-15	-14	-6	33	-41	14	-22	20	6	16	1	39	-48	12	
500	-31	37	-17	-14	-2	37	-45	36	0	40	23	30	7	62	-31	22	
550	-45	47	-19	-24	-8	35	-67	54	12	26	16	30	-14	76	-31	16	
600	-67	31	-41	-52	-37	5	-98	12	2	-2	-9	2	-43	52	-45	-28	
650	-69	33	-39	-54	-39	13	-106	18	6	-4	-3	2	-43	60	-52	-20	
700	-75	43	-41	-54	-35	13	-112	28	18	-2	10	0	-43	68	-43	-14	
640	-83	51	-39	-64	-27	0	-98	36	20	-2	14	-2	-43	76	-13	-66	
690	-87	55	-37	-66	-29	5	-100	40	20	-2	14	0	-43	82	-11	-70	
740	-89	55	-45	-46	-47	21	-112	52	20	0	16	0	-43	84	-76	-87	
790	-73	59	-33	-56	-43	23	-122	60	12	20	-4	-59	66	-86	-101		

T 3.7 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 1 - MODELO MIC
PONTOS DOS PAINÉIS

MIC

CARGA kN/m ²	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
	B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I	
150	-2	0	-2	4	0	0	-4	-4	-2	2	-2	-2	-2	0	-1	1	
200	-2	0	-2	8	0	1	-4	0	5	-4	8	-8	-10	-6	3	-3	
250	-10	0	0	12	0	-3	-6	-2	-2	-8	12	0	-10	-4	1	-7	
300	-8	-4	0	14	-3	-3	-8	-8	0	-8	12	-6	-14	-4	3	9	
350	-10	-2	0	18	-3	-6	-10	-8	-6	5	-14	16	-10	-4	1	-7	
400	-12	6	2	34	-3	-10	-10	-10	5	-16	25	-8	-12	-8	15	19	
450	-12	14	-2	42	-5	-7	1	-14	11	-31	37	-18	-12	-8	15	37	
500	18	26	6	77	-3	-10	3	-2	25	-31	61	10	-6	2	27	56	
550	14	34	0	75	-5	-31	-8	25	-43	69	12	-24	-4	15	-25	58	
500	-16	-2	-20	42	-29	-55	-34	0	-63	49	-2	-48	-10	-10	-37	37	
550	-16	-4	-20	44	-29	-55	-32	-2	-63	49	-4	-52	-12	-12	-37	39	
600	0	-16	50	-25	-59	-32	1	-71	57	-4	-52	-8	-10	-10	-37	45	
650	-2	-2	-62	58	-15	-79	-18	-8	-79	77	10	-46	-12	25	-1	45	
600	-60	0	-64	64	-17	-81	-20	-8	-81	85	4	-46	-10	21	-1	43	
550	-50	-38	-38	2	-13	-81	-16	-8	-85	87	-6	-36	-20	31	-1	43	
640	-36	-68	-32	-2	-7	-91	-12	0	11	-59	79	-2	-38	-12	29	0	43
700	-40	-44	-36	-6	2	-106	28	-22	-57	77	-14	-34	18	13	10	41	

T 3.8 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 1 - MODELO MIC
PONTOS DOS PAINÉIS

MIC

CARGA kN/m ²	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)												
	A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I	
150	0	-6	6	-6	-2	-3	0	0	-2	0	2	-2	3
200	0	-14	2	-4	-4	0	-2	-14	-1	0	-2	-6	1
250	0	-18	4	-4	-6	6	0	-14	4	0	-8	-6	3
300	1	-31	6	-10	-10	-8	4	-27	4	-2	-10	9	11
350	3	-35	6	-10	-12	-8	4	0	-33	6	-4	-8	11
400	11	-45	12	-14	-10	12	1	-45	8	2	-12	13	15
450	21	-49	8	-6	-20	14	19	-65	8	8	-29	29	
500	52	-65	27	1	-28	35	48	-71	14	14	-39	44	46
550	56	-93	31	-6	-56	45	82	-116	22	2	-59	54	58
500	50	-114	14	-18	-95	31	74	-140	10	64	-81	45	43
550	52	-122	14	-16	-95	31	74	-140	10	66	-83	43	40
600	72	-148	41	-27	-111	51	96	-160	22	60	-91	54	54
650	90	-162	47	-31	-125	61	147	-179	14	70	-126	86	86
600	98	-173	51	-33	-133	67	155	-189	4	81	-134	100	100
104	-173	51	-33	-139	69	228	-209	-5	123	-156	147	147	
640	137	-209	22	-2	-176	114	250	-248	-7	154	-187	198	198
700	149	-247	53	-16	-168	156	256	-241	-37	196	-282	210	210

T 3.9 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 1 - MODELO MIC
PONTOS DOS PAINÉIS

3.2.2 - Modelo ensaiado assimetricamente: M1D

A moldagem deste modelo serviu para confirmar o acerto das modificações introduzidas quando da confecção do M1C, transferindo-nos uma confiança na técnica construtiva, que já começava a se definir, a ponto de resolvemos tentar na próxima série modelos com espessuras variáveis e com um mínimo de 0,5cm.

Para a realização do ensaio assimétrico, como já comentamos amplamente no ítem 2.7.2, utilizamos os dispositivos construídos para os ensaios simétricos com convenientes adaptações, de modo a carregar um único quadrante com uma carga uniformemente distribuída.

Anteriormente a realização do ensaio do M1D, resolvemos fazer uma verificação rápida do pilar a este tipo de solicitação e concluímos que com as dimensões estabelecidas no projeto inicial, mesmo com emprego da protensão, o mesmo se romperia antes de conseguirmos qualquer conclusão, ou mesmo uma simples indicação, do comportamento da casca. Assim resolvemos testar um novo dispositivo de fixação (Fig. 2.8), com a protensão sendo aplicada por um macaco apoiado em um perfil fixado ao de sustentação, transmitindo um certo engastamento ao pilar e diminuindo o efeito de flexão do carregamento. Para verificarmos se tínhamos então condições de executar o ensaio assimétrico da casca, utilizamos o M1A, parcialmente recuperado, para um ensaio auxiliar. Apesar das grandes rotações constatadas neste ensaio e de todas as imperfeições, que já tivemos oportunidade de comentar, das condições do ensaio assimétrico, vimos a possibilidade de obter aquela indicação de comportamento procurada. Assim o M1D foi ensaiado aos 85 dias de idade, portanto com grande atraso justificado pela construção do novo dispositivo de fixação, pela execução do ensaio auxiliar e pelos atrasos dos ensaios anteriores.

A despeito das grandes rotações observadas, em

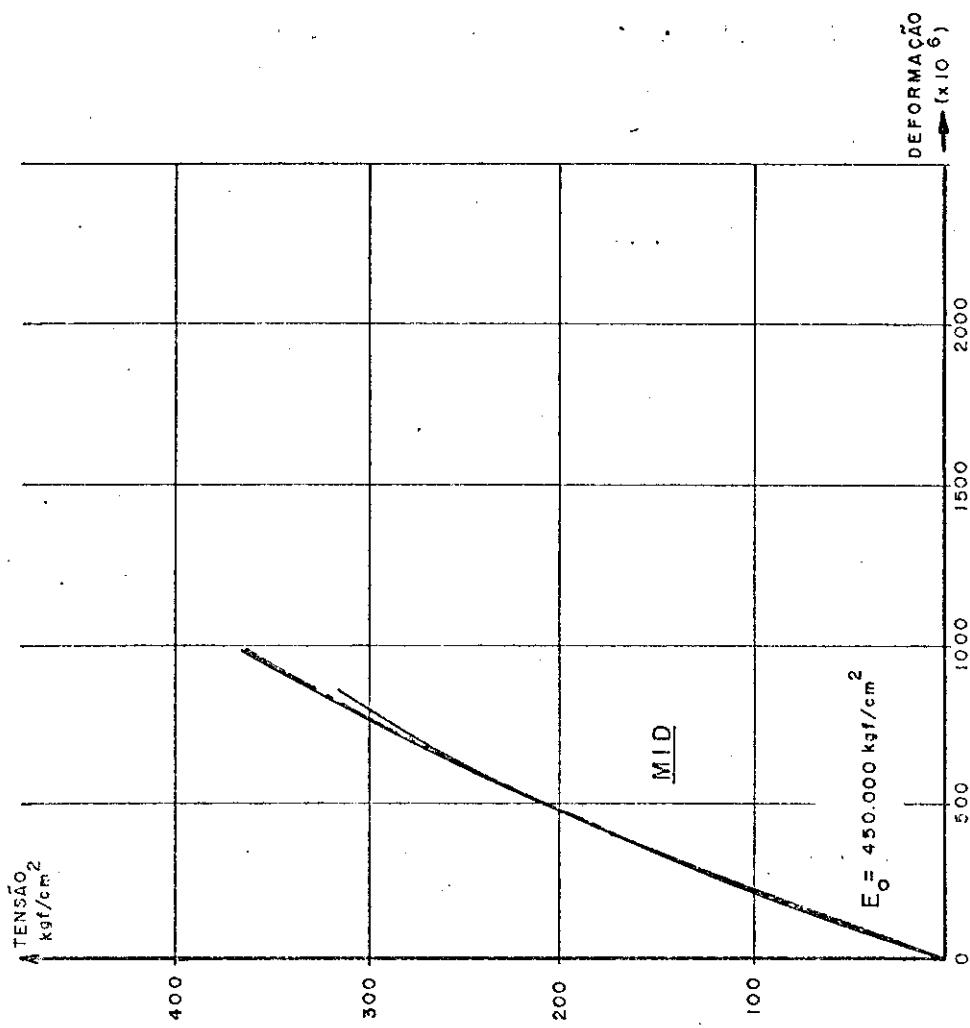
parte provocadas pela vinculação imperfeita, pudemos verificar que a estrutura apresentava uma resistência superior a esperada, tendo suportado uma carga de aproximadamente 700 kgf/m^2 , portanto da mesma ordem das verificadas nos ensaios simétricos. Notemos ainda que este limite de carregamento foi ditado por uma hipostacidade proveniente do esmagamento do pilar, com o que a estrutura não mais apresentou resistência a rotação, e não por ruptura da casca, que apesar de apresentar a configuração das charneiras plásticas já definida, ainda não havia entrado em fase de ruptura.

Nestes ensaios assimétricos, como o dispositivo de carregamento utilizava menor número de barras, a carga inicial era de apenas 85 kgf/m^2 . Num primeiro estágio completávamos a carga de 160 kgf/m^2 (equivalente ao peso próprio do protótipo) em toda a superfície do modelo e nos seguintes aplicávamos 50 kgf/m^2 em um único quadrante.

Infelizmente no decorrer do ensaio houve uma paralização por falta de energia elétrica, quando a carga era de 460 kgf/m^2 e o modelo já se apresentava fissurado. No reinício do ensaio, três horas depois, somente refizemos a carga de 460 kgf/m^2 e realizamos nova série de leituras. Daí os dois valores que aparecem nas tabelas e gráficos, correspondentes à carga de 460 kgf/m^2 .

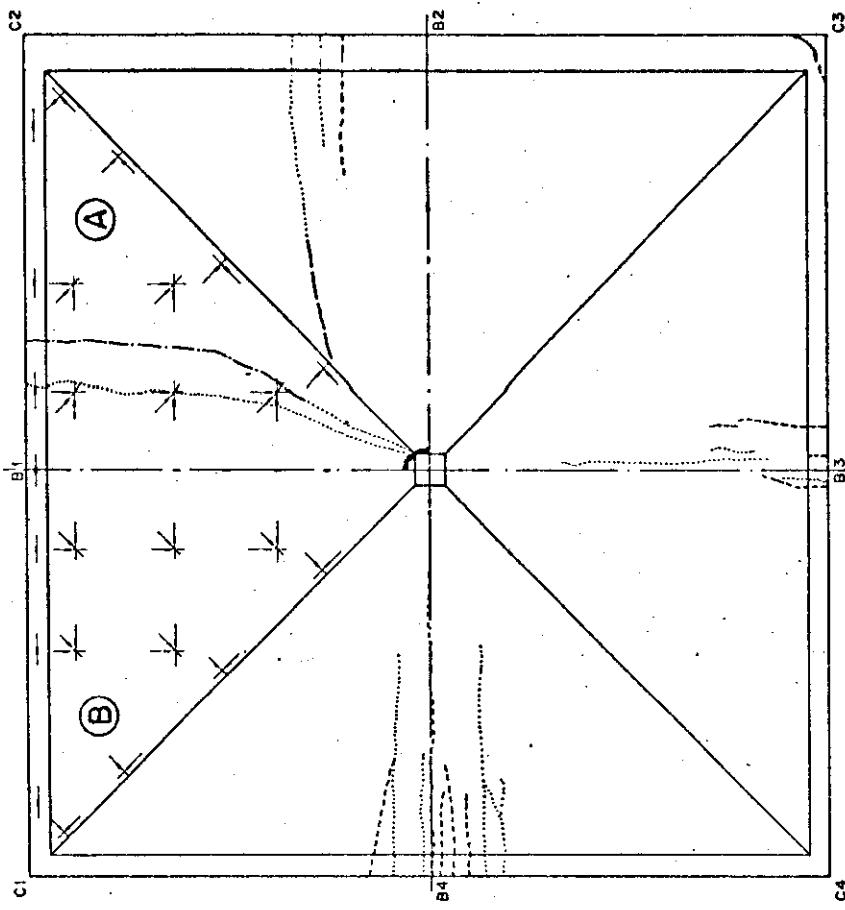
Na apresentação dos deslocamentos e deformações, feitas a seguir, os pontos são considerados individualmente, devido à assimetria dos mesmos em relação à carga e à vinculação.

MODELO	IDADE	σ_{ck} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS 5x10.	MÉDIA	DESVIO Padrão												
MID	87	397,2	413,5	422,7	453,4	422,7	371,8	364,1	481,3	445,6	504,2	448,2	422,7	429,4	41,3		
MODELO	IDADE	σ_{tsk} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS 5x10	MÉDIA	DESVIO Padrão												
MID	95	30,6	28,0	30,6	20,4	29,3	37,6	31,8	28,6	45,8	29,3	36,3	33,1	28,0	36,9	31,9	6,0

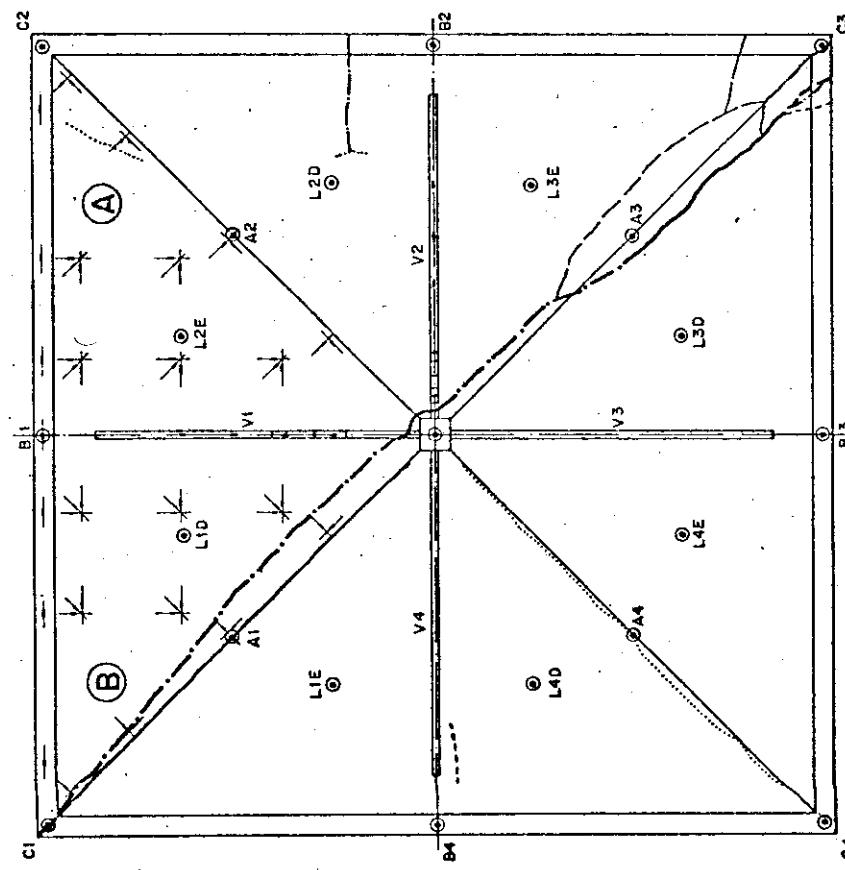


6.3.6 - Características do micro-concreto - Ensaio Assimétrico - Série 1

VISTA INFERIOR



VISTA SUPERIOR



Escala 1:10

$Q_r = 700 \text{ kgf/m}^2$

Legenda

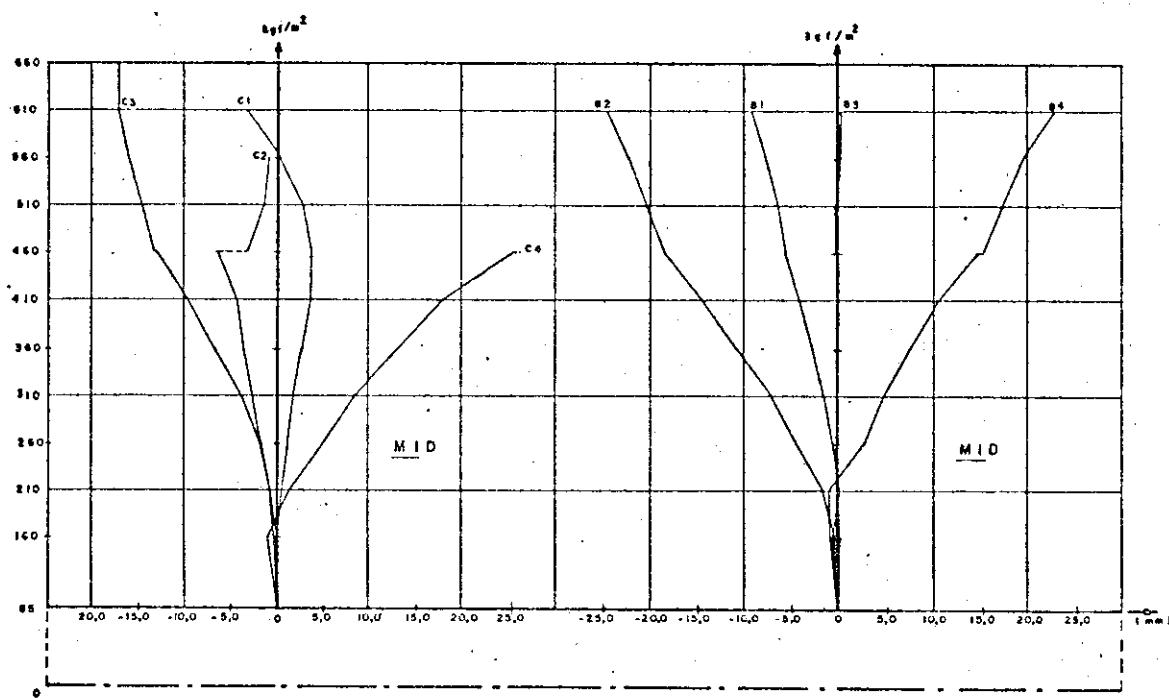
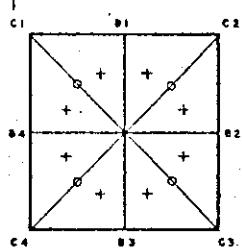
—	410 - 460 kgf/m^2
—	460 - 510 kgf/m^2
—	510 - 560 kgf/m^2
—	560 - 610 kgf/m^2
.....	> 610 kgf/m^2

Essas massas linhas quadradas grossas, indicam a configuração de ruptura

D3.6 SÉRIE 1 - MÓDELO M1D EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

DESLOCAMENTOS - SÉRIE I - ENSAIO ASSIMÉTRICO (mm)									
FASE	CARGA kgf/m ²	CANTOS (C1)				MEIO DAS VIGAS DE BORDA (B1)			
		C1	C2	C3	C4	B1	B2	B3	B4
0	05	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	-0,03	-0,43	-0,02	-1,08	-0,81	-0,30	0,28	-0,81
2	210	0,48	-0,83	-0,80	1,45	0,31	-1,65	-0,08	-0,81
3	260	1,27	-1,84	-1,94	5,00	-0,53	-4,35	0	2,85
4	310	1,85	-2,87	-3,95	8,48	-1,50	-7,04	-0,01	5,01
5	360	2,79	-3,70	-5,16	13,08	-2,74	-10,72	0,92	7,74
6	410	3,71	-4,43	-9,65	17,82	-4,04	-14,34	-0,08	10,49
7	460	3,73	-6,39	-12,87	23,46	-5,52	-18,35	-0,10	14,85
8	480	3,91	-3,21	-13,37	26,32	-6,35	-18,39	-0,26	15,36
9	510	2,60	-1,59	-14,71		-6,36	-20,24	0,10	17,48
10	560	0,07	-0,88	-18,18		-7,73	-22,21	0,46	19,76
11	610	-3,51		-17,25		-9,19	-24,54	0,45	23,28
12	660			-17,04					

MID

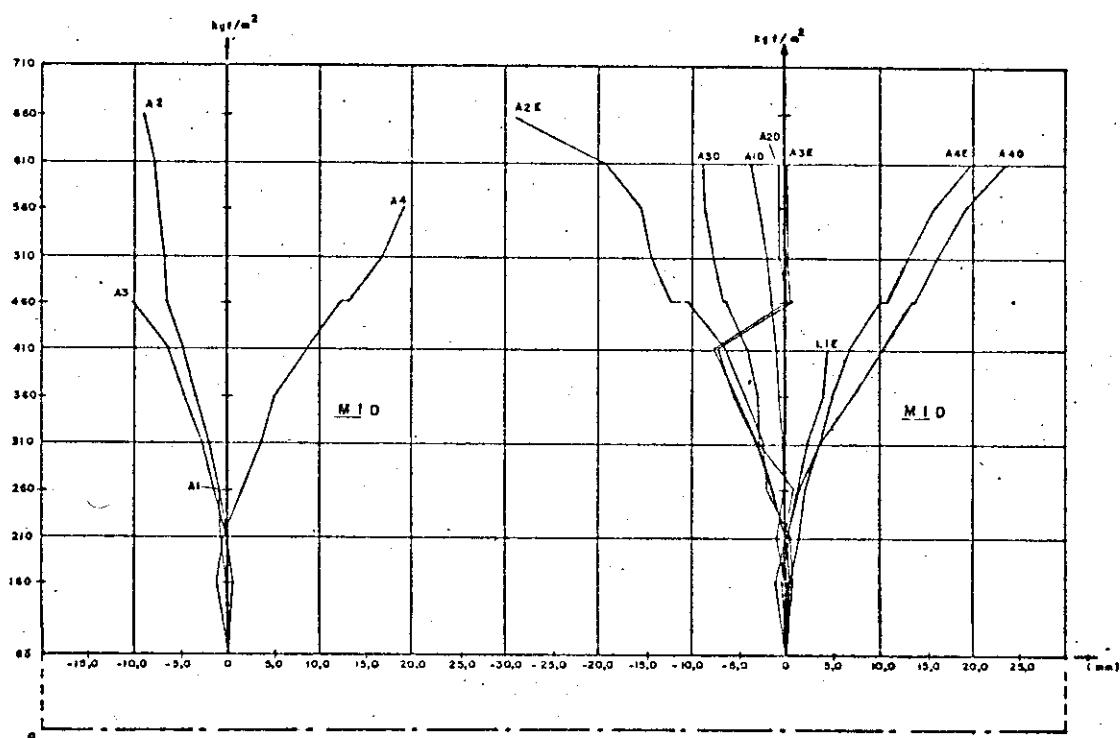
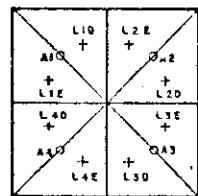


SÉRIE I ENSAIO ASSIMÉTRICO

G 3,7 DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (C1) E
DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1)

DESLOCAMENTOS - SÉRIE I - ENSAIO ASSIMÉTRICO (mm)													
FASE	CARGA kgf/m ²	MEIO DAS ARESTAS (AI)				LADOS DAS ARESTAS (LEI, LD)							
		A1	A2	A3	A4	L1E	L1D	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D
0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0,01	0	0,79	-1,03	-0,51	-0,80	0,85	0	0,49	0,45	0,55	-1,08
2	210	-0,73	0	-0,13	-0,26	0,28	-0,90	0,98	0	0,24	-0,04	1,64	0,27
3	260	-0,67	-0,87	-1,45	1,75	1,45	-0,01	-2,04	-1,40	-1,50	0,94	2,24	1,63
4	310		-1,98	-2,74	3,84	2,53	-0,32	-2,44	-3,07	-3,21	-2,80	3,84	5,83
5	360		-3,37	-4,52	5,51	4,11	-0,71	-4,37	-5,32	-5,85	-3,04	5,04	7,25
6	410		-4,78	-6,36	8,73	4,66	-1,02	-6,48	-7,48	-7,19	-4,25	7,14	10,46
7	460		-6,50	-10,20	12,45		-1,52	-10,44	0,17	0,75	-8,38	10,18	13,37
8	480		-6,39		13,15		-1,38	-12,10	0,09	0,61	-6,84	10,86	15,77
9	510		-6,81		14,96		-1,81	-14,22	-0,47	0,39	-7,59	13,18	16,32
10	540		-7,30		19,30		-2,73	-19,34	-0,49	0,38	-8,45	15,95	19,23
11	580		-7,78				-3,49	-19,05	-0,52	0,35	-8,75	20,00	23,75
12	620		-9,01				-26,85	-0,55					

MID



SÉRIE I ENSAIO ASSIMÉTRICO

G3.8 DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (AI)
E DOS LADOS DAS ARESTAS (LEI, LD)

M1D

CARGA kg/m ²	1(kg/f) 2(kg/f)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
		A01S	A01I	B01S	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I		
160	77	-13	26	-6	5	-10	-6	12	-3	-8	-19	-6	-21	37	-65	1	-24	
	62	-20	17	-8	13	-14	-10	8	-3	-10	-11	0	-21	44	-69	5	-19	
	57	-19	20	-4	-3	-16	-16	0	-9	-16	-28	-18	-35	-12	-80	5	-30	
	77	-26	17	-14	-11	-18	-18	2	-13	-12	-26	-18	-35	-19	-82	1	-32	
210	150	-20	13	-21	-1	-12	-29	-8	1	-6	-26	-23	-23	-25	-73	-3	-32	
	155	119	-22	7	-19	1	-6	-37	-10	1	-8	-32	-27	-23	-23	-78	0	-36
260	197	-15	7	-33	5	10	-40	-25	9	-12	-41	-40	-21	-29	-80	-5	-39	
	207	-19	1	-33	7	2	-39	-21	22	-8	-36	-40	-25	-25	-84	-1	-32	
310	249	-15	0	-46	15	10	-61	-39	19	-8	-57	-54	-27	-33	-84	-9	-45	
	270	247	-19	-3	-48	15	10	-61	-37	19	-6	-57	-54	-23	-35	-84	-9	-43
360	332	-7	0	-56	34	27	-77	-50	39	2	-72	-59	-18	-29	-86	-3	-41	
	317	311	-5	7	-59	32	31	-71	-46	38	2	-59	-61	-23	-29	-88	-7	-45
410	384	0	0	-63	51	48	-86	-58	51	18	-85	-59	-19	-21	-84	-1	-47	
	363	375	-1	-63	51	46	-84	-59	53	18	-85	-63	-18	-16	-86	0	-47	
460	488	11	-19	-77	108	50	-109	-54	36	31	-119	-35	-21	-14	-94	20	-57	
	441	-5	-22	-78	114	50	-105	-58	36	33	-117	-33	-21	-14	-94	20	-57	
460	513	-3	-15	-63	102	27	-134	-57	57	31	-133	-75	-73	-23	-130	17	-70	
	467	439	-7	-13	-69	110	25	-130	-50	58	23	-135	-69	-65	-25	-126	19	-74
510	570	-5	-17	-35	115	12	-133	-52	51	50	-165	-56	-94	-18	-137	32	-77	
	518	503	-11	-34	-44	115	8	-133	-46	34	44	-169	-56	-92	-18	-147	24	-89
560	586	-5	-41	-48	108	42	-139	-50	28	65	-214	-56	-105	-10	-166	38	-106	
	596	567	7	-36	-48	108	40	-137	-33	32	67	-214	-107	-10	-166	39	-102	
610	663	-7	-34	-48	110	52	-130	-38	22	78	-241	-61	-113	-14	-166	36	-102	
	669	631	-11	-32	-42	112	52	-133	-42	17	71	-248	-61	-118	-18	-166	39	-110
660	679	0	-55	-57	127	124	-137	-38	77	88	-269	-46	-112	-16	-162	-3	-79	
	663	695	-9	-68	-63	115	126	-133	-48	-15	76	-284	-56	-124	-25	-173	-3	-83
710	728	-32	-115	-67	136	-6	-70	-55	-66	133	-280	6	-120	-59	-167	13	-79	
	743	759	-47	-115	-67	140	-76	-33	-71	118	-2913	14	-110	-70	-161	39	-104	

valores negativos correspondem a encurtamentos

valores positivos correspondem a alongamentos

***** + valor superior a 9999

carga inicial: 85 kgf/m²

carga 2 - valores acusados por ponte analógica

carga 1 - valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados H.P.

--- paralisação do ensaio

T3.10 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
 SÉRIE 1 - MODELO M1D
 PONTOS DAS VIGAS DE BORDA

M1D

CARGA kg/m ²	1(kg/f) 2(kg/f)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A05S	A05I	B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I
160	77	-27	1	-21	26	-18	-4	-23	10	-19	26	-11	0	-26	12	-14	-6
	62	-29	13	-21	13	-14	-6	-23	12	-13	26	-9	-7	-28	14	-14	-8
	57	-33	3	-31	13	-29	-12	-29	6	-22	28	-15	-13	-30	12	-14	-14
	77	-37	-7	-27	7	-27	-10	-27	6	-26	24	-17	-13	-34	8	-14	-14
210	150	-52	5	-50	20	-39	-12	-48	14	-41	32	-28	-9	-51	14	-23	-14
	155	-54	-1	-50	17	-42	-16	-50	14	-45	34	-26	-9	-59	14	-21	-8
260	197	-65	5	-65	19	-56	-19	-69	18	-62	39	-74	-9	-97	19	-31	-10
	207	-69	9	-63	22	-52	-10	-65	21	-57	43	-78	-3	-95	23	-33	-8
310	249	-82	0	-84	24	-65	-23	-82	21	-85	45	-95	-9	-142	23	-37	-10
	270	-84	17	-90	32	-79	-21	-92	33	-106	62	-102	-5	-169	35	-48	0
360	332	-84	7	-90	32	-79	-21	-92	33	-106	62	-102	1	-169	35	-40	2
	317	-86	17	-92	39	-77	-21	-82	31	-110	62	-97	1	-169	35	-40	10
410	384	-84	7	-88	43	-80	-16	-99	40	-1092	114	-1595	7	-247	50	-113	10
	363	-82	11	-96	41	-82	-19	-98	39	-1096	114	-1805	3	-255	48	-109	6
460	488	-90	17	-96	28	-101	-33	-105	50	-3796	13	*****	38	-511	71	-1156	39
	541	-88	24	-92	30	-105	-31	-105	46	-3840	9	*****	36	-509	78	-1157	37
460	513	-147	11	-71	41	-115	-18	-122	38	-4274	38	*****	28	-557	61	-1198	19
	467	-139	11	-75	45	-107	-18	-124	35	-4301	30	*****	28	-547	65	-1195	18
510	570	-130	11	-84	26	-137	-37	-173	37	*****	193	*****	38	-617	88	-1354	10
	518	-141	9	-82	30	-132	-33	-179	46	*****	197	*****	34	-623	80	-1359	16
560	586	-152	17	-92	26	-221	-46	-192	40	*****	210	*****	55	-623	97	-1694	21
	596	-151	17	-92	26	-219	-48	-192	37	*****	212	*****	47	-638	94	-1694	19
610	663	-189	22	-126	45	-627	-95	-213	54	*****	260	*****	74	-974	118	-1629	57
	669	-181	22	-120	47	-628	-92	-211	46	*****	254	*****	70	-1012	124	-1627	57
660	679	-242	32	-181	43	-743	-118	-359	71	*****	273	*****	102	-1737	198	-2188	135
	663	-262	30	-196	43	-764	-128	-378	67	*****	262	*****	93	-1824	209	-3342	147
710	728	-248	54	-233	1	-903	-163	-479	86	*****	208	*****	100	-3459	318	*****	377
	743	-231	56	-193	-28	-931	-165	-436	87	*****	179	*****	90	-3998	315	*****	400

T3.11 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
 SÉRIE 1 - MODELO M1D
 PONTOS DAS VIGAS CENTRAIS

M1D

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
kg/m ²	1(kg)	A095	A091	A105	A101	B095	B091	B105	B101	A115	A111	A125	A121	B115	B111	B125	B121	
160	77	-10	14	-37	-6	-11	9	-12	-9	0	3	-10	9	-22	14	-5	-5	
160	62	55	-12	14	-33	-6	-17	11	-14	-9	2	-10	7	-28	14	-5	-3	
160	57	-12	12	-48	-19	-26	7	-18	-12	-6	5	-21	-1	-30	10	-11	-7	
160	77	-8	12	-44	-18	-22	7	-19	-15	-6	3	-19	-1	-28	10	-17	-9	
210	150	119	-16	10	-59	-18	-32	11	-21	-20	-4	1	-23	7	-43	19	-11	-9
210	155	119	-14	10	-54	-19	-32	9	-23	-19	0	3	-21	7	-39	18	-13	-9
260	197	182	-14	6	-61	-25	-39	19	-23	-24	0	0	-27	5	-60	31	-17	-13
260	207	182	-12	6	-59	-23	-36	19	-23	-20	2	1	-29	11	-57	31	-15	-9
310	249	247	-19	4	-71	-27	-53	24	-33	-34	-2	-9	-35	7	-74	37	-24	-19
310	270	247	-19	4	-73	-27	-53	19	-31	-32	-2	-5	-37	9	-76	37	-22	-17
360	332	311	-16	8	-73	-25	-59	34	-29	-32	6	-1	-35	15	-93	56	-24	-17
360	317	311	-18	6	-77	-23	-60	34	-29	-38	0	-3	-33	17	-89	58	-22	-22
410	384	375	-12	10	-75	-21	-64	49	-31	-38	6	-5	-35	22	-116	75	-28	-13
410	363	375	-16	8	-79	-21	-72	51	-35	-39	4	-5	-35	20	-112	77	-30	-20
460	488	439	-14	4	-67	-12	-102	66	0	-74	21	-5	-27	36	-19	-23	-45	15
460	441	439	-14	2	-73	-16	-112	68	-4	-72	19	-9	-27	30	-28	-23	-49	15
460	513	439	-14	0	-86	-23	-114	66	-21	-70	40	-11	-29	51	-38	-40	-89	17
460	467	439	-14	4	-94	-21	-108	68	-27	-68	46	-7	-27	58	-34	-46	-91	28
510	570	503	-16	-12	-90	-14	-144	81	-8	-62	42	-9	-23	58	-43	-63	-106	38
510	518	503	-21	-12	-94	-23	-148	85	-12	-70	42	-11	-27	57	-38	-59	-110	36
560	586	567	-18	-16	-92	-29	-1265	205	23	-56	46	-15	-23	76	-43	-59	-153	47
560	596	567	-19	-12	-88	-23	-1326	209	18	-57	46	-17	-27	66	-39	-61	-159	53
610	663	631	-14	-15	-88	-23	-4427	338	76	-60	42	-15	-23	66	-53	-50	-174	36
610	669	631	-23	-8	-88	-23	-4488	334	76	-62	42	-13	-25	68	-49	-48	-174	32
660	679	695	-23	-27	-65	-21	****	691	97	-22	56	-24	-19	75	-108	52	9	-18
660	663	695	-23	-25	-69	-23	****	704	97	-24	50	-24	-23	74	-113	50	11	-28
710	728	759	-29	-38	27	0	****	946	246	-81	23	-11	23	-100	****	279	39	-88
710	743	759	-35	-35	53	0	****	1010	282	-96	0	-3	40	-119	****	311	94	-98

T3.12

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 1 - MODELO M1D

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M1D

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																	
kg/m ²	1(kg)	A135	A131	A145	A141	B135	B131	B145	B141	A155	A151	A165	A161	B155	B151	B165	B161		
160	77	-13	-11	2	-32	-15	-11	2	2	-9	8	16	-37	-5	-2	0	6		
160	62	-9	-19	4	-32	-19	-13	4	0	-7	12	6	-37	-1	0	0	4		
160	57	-20	-20	0	-43	-20	-19	0	-8	-15	10	2	-54	-7	+8	-4	2		
160	77	-9	-22	0	-41	-19	-15	0	-8	-11	16	2	-48	-1	-4	-2	2		
210	150	119	-9	-34	2	-49	-32	-9	-4	-8	1	-8	6	-56	-20	10	-6	0	
210	155	119	-7	-34	2	-49	-32	-7	0	-6	3	-2	10	-61	-19	4	-6	2	
260	197	182	-13	-39	2	-53	-45	0	-2	-14	20	-31	18	-69	-36	18	-14	-2	
260	207	182	-5	-38	2	-51	-43	-1	-2	-14	22	-29	21	-67	-36	21	-12	-2	
310	249	247	-11	-47	4	-62	-60	5	-6	-21	36	-52	23	-77	-55	31	-19	-6	
310	270	247	-17	-49	4	-60	-62	5	-4	-21	36	-52	21	-80	-57	31	-21	-6	
360	332	311	-11	-55	8	-60	-78	15	-6	-21	60	-75	33	-84	-70	56	-23	-8	
360	317	311	-13	-45	6	-59	-72	11	-6	-23	59	-75	31	-86	-72	56	-19	-6	
410	384	375	-11	-57	14	-64	-102	15	-2	-21	87	-101	37	-88	-83	77	-25	-10	
410	363	375	-11	-57	14	-66	-102	19	0	-23	83	-103	37	-92	-87	69	-25	-10	
460	488	439	11	-68	21	-45	-87	-45	27	-35	171	-151	61	-78	-22	25	-12	-21	
460	441	439	7	-66	19	-47	-95	-51	27	-37	173	-164	63	-78	-26	18	-12	-21	
460	513	439	9	-83	2	-30	-152	-38	33	-21	171	-172	61	-248	-24	38	-27	-23	
510	570	503	13	-100	0	-15	-180	-28	57	-18	229	-238	75	-223	-34	48	-14	-31	
560	586	567	15	-110	2	-3	-233	-5	105	-14	252	-268	86	-249	-58	69	-6	-38	
560	596	567	20	-108	4	-5	-231	-7	107	-8	252	-274	82	-249	-62	69	0	-37	
610	663	631	3	-95	2	5	-201	-24	156	-33	250	-285	88	-255	-62	54	-6	-10	
660	679	695	17	-112	4	37	-216	-28	162	-16	372	-811	73	-226	-98	73	25	-10	
710	728	759	35	-77	-4	177	-168	-35	203	-226	-12	423	-1548	76	-59	****	585	229	-53

T3.13

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 1 - MODELO M1D

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M1D

CARGA kg/m ² (kN/m ²)	2(kN)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
		A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S	A21I	
160	77	12	-5	2	-14	-9	-1	22	-8	-1	6	-12	-7	-2	9	-20	8	
	62	14	-11	4	-16	-5	-1	18	-10	3	0	-10	-7	0	9	-18	14	
	57	55	14	-13	2	-20	-11	-1	22	-8	3	-2	-14	-7	-2	11	-22	6
	77	18	-15	6	-18	-7	-1	24	-8	3	4	-12	-11	2	11	-18	10	
210	150	16	-13	10	-28	-9	-7	26	-12	-7	6	-24	-1	0	13	-16	4	
	155	16	-17	4	-24	-9	-7	28	-16	-3	-2	-18	-5	0	15	-14	0	
260	197	182	16	-21	6	-38	-7	-13	24	-18	-13	10	-24	5	2	15	-8	-12
	207	26	-19	10	-36	-9	-11	28	-18	-9	10	-22	1	8	11	-8	-8	
310	249	16	-23	10	-50	-13	-19	28	-26	-21	6	-32	3	2	9	-14	-22	
	270	18	-23	10	-52	-13	-15	32	-20	-19	6	-34	9	6	13	-16	-16	
360	332	24	-27	20	-66	-7	-25	30	-30	-21	14	-40	9	4	7	-12	-28	
	311	22	-23	22	-66	-1	-25	34	-28	-19	16	-36	13	10	5	-4	-24	
410	384	28	-21	26	-73	3	-27	40	-34	-23	18	-44	11	12	5	-10	-42	
	363	28	-27	26	-71	5	-27	38	-34	-19	24	-36	21	10	7	-8	-42	
460	488	28	-15	34	-93	11	-31	48	-36	-19	22	-40	17	26	11	30	-62	
	441	22	-27	28	-95	1	-45	40	-46	-27	18	-44	17	16	-1	18	-56	
460	513	-2	-15	36	-121	-1	-43	-24	-56	-15	36	-38	35	62	-13	4	-38	
	467	439	-4	-13	38	-127	-5	-51	-24	-54	42	-42	25	42	-19	2	-42	
510	570	-6	-19	30	-149	-1	-63	-44	-58	-31	42	-52	21	46	-25	24	-54	
	518	503	-14	-9	34	-147	-1	-63	-38	-58	42	-44	19	48	-19	30	-58	
560	586	-22	-17	42	-172	7	-84	-52	-54	-33	44	-56	17	52	-27	46	-74	
	596	567	-22	-19	40	-172	-1	-90	-50	-52	-31	46	-54	15	54	-31	38	-76
610	663	-34	-25	58	-194	15	-82	-58	-56	-39	52	-58	17	56	-27	40	-66	
	669	631	-36	-25	56	-202	11	-86	-56	-56	-37	44	-60	11	60	-33	36	-70
660	679	-58	-7	16	-216	-39	-63	-78	-66	-55	64	-70	13	52	-41	68	-85	
	663	695	-52	-7	18	-214	-35	-67	-80	-68	-60	-68	11	50	-41	60	-93	
710	728	-20	11	10	-193	5	-81	-78	-64	-29	54	-64	17	32	-25	147	-70	
	743	759	-2	15	4	-165	9	-73	-58	-62	-21	44	-62	21	28	-17	137	-52

T3.14 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 1 - MODELO M1D
PONTOS DOS PAINÉIS

M1D

CARGA kg/m ² (kN/m ²)	2(kN)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
		A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S	B23I	
160	77	8	8	-1	-12	1	2	-7	-21	3	13	2	2	7	0	0	-21	
	62	55	6	8	-1	-10	-3	6	-5	-25	7	9	2	4	9	2	0	-21
	57	2	8	-1	-16	-1	0	-7	-27	7	9	2	4	11	-2	2	-23	
	77	8	1	-16	-1	-4	-1	-1	-19	9	9	4	2	19	2	2	-23	
210	150	14	4	-9	-14	-11	8	-13	-17	13	15	2	2	11	-4	6	-15	
	155	14	2	-5	-14	-11	6	-5	-11	17	23	2	8	11	0	2	-19	
260	197	182	18	-4	-17	-16	-25	14	-19	-13	17	17	-4	0	9	-10	4	-27
	207	24	2	-11	-8	-21	18	-15	-11	15	19	0	2	15	-6	6	-23	
310	249	26	-6	-19	-16	-37	24	-25	-11	11	15	-4	-2	-2	13	-12	2	-29
	270	26	-2	-21	-18	-33	20	-25	-11	11	13	-2	-2	15	-8	2	-23	
360	332	32	-14	-27	-14	-51	34	-37	1027	5	13	-6	-8	17	-18	6	-35	
	311	30	-10	-25	-16	-53	32	-37	5598	5	13	-6	-8	19	-16	4	-37	
410	384	40	-22	-37	-14	-65	40	-45	1	7	13	11	-4	-10	13	-26	2	-43
	363	42	-18	-35	-16	-70	48	-41	7	13	11	-2	-10	15	-26	4	-43	
460	488	68	-26	-19	-16	-31	2	9	-21	31	3	2	-2	23	-38	26	-47	
	441	58	-30	-25	-28	-31	-2	-3	-33	29	3	-2	-12	15	-36	16	-45	
460	513	60	-20	-33	-44	-33	-8	-7	-21	-9	-5	-3	-10	8	21	-42	20	-45
	467	56	-28	-39	-50	-35	-12	-9	-19	-9	-1	-1	-10	6	17	-44	20	-45
510	570	70	-32	-59	-38	-53	-6	-11	-27	3	-3	-10	0	19	-54	36	-43	
	518	74	-38	-59	-38	-49	-14	-7	-21	-1	-1	-10	4	17	-52	28	-49	
560	586	91	-46	-65	-26	-57	-12	-5	-19	-1	-9	-10	-4	17	-74	28	-45	
	596	89	-50	-73	-32	-61	-12	-5	-29	-7	-1	-16	0	17	-72	30	-51	
610	663	64	-42	-27	-76	-65	-12	-25	7	-7	-7	-16	-2	31	-74	44	-57	
	669	64	-24	-25	-78	-67	-14	-25	7	-7	-7	-12	-2	31	-74	44	-61	
660	679	68	-66	7	-105	-77	-34	-65	35	-13	-13	-18	0	33	-80	56	-67	
	663	68	-68	7	-111	-77	-36	-71	37	-7	-15	-18	-2	37	-85	56	-71	
710	728	38	-50	35	-78	-65	-4	-25	57	154	-91	-26	8	51	-58	74	-53	
	743	30	-44	41	-80	-65	-4	-25	57	154	-95	-26	8	51	-58	74	-53	

T3.15 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 1 - MODELO M1D
PONTOS DOS PAINÉIS

M1D

CARGA kg/m ² (1(kg))	2(kg)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I
160	77	-15	-9	4	-10	-3	14	-3	-2	-3	-3	6	9	-3	5	-7	
	62	55	-21	-5	2	-8	3	12	-5	-4	-1	-3	16	9	-3	3	-7
	57	-21	-5	4	-8	-1	10	-5	-4	1	-1	14	11	3	5	-5	
	77	-17	-7	8	-4	1	14	-5	0	-3	1	3	16	15	1	7	-5
210	150	-17	5	12	-2	3	22	3	4	7	7	13	44	15	13	5	5
	155	119	-21	7	28	4	5	26	9	6	15	17	19	38	17	13	9
260	197	182	-29	5	6	0	-1	22	5	0	7	-3	3	40	1	17	11
	207	-27	5	10	4	-5	24	5	6	9	3	13	46	3	21	-5	13
310	249	247	-41	7	8	4	3	26	11	-4	15	-7	-1	46	-5	23	15
	270	-39	7	6	6	1	30	5	-4	21	-9	1	62	-5	23	-13	19
360	332	311	-51	3	-6	0	-5	26	5	-10	12	-23	-11	34	-19	21	21
	317	-47	3	-6	0	-3	32	5	-6	21	-21	-7	12	-15	25	-21	21
410	384	375	-61	-9	-10	-4	-5	28	3	-16	17	-39	-21	34	-31	21	-37
	363	-57	-7	-12	0	-7	28	1	-16	21	-39	-19	34	-31	21	-39	21
460	488	439	-65	11	0	-4	1	26	13	-18	51	-55	-3	30	-33	31	-13
	441	-69	5	-2	-14	-3	24	11	-18	51	-59	-3	30	-37	31	-13	17
510	513	439	-82	13	-20	-10	-7	10	-1	-36	43	-65	-21	18	-33	37	-31
	467	-84	5	-20	-10	-3	12	5	-36	43	-71	-25	18	-33	27	-35	17
560	570	503	-80	11	-24	-14	-15	-2	5	-32	51	-90	-35	22	-45	35	-29
	518	-84	11	-18	-18	-13	-6	7	-38	59	-96	-29	26	-53	33	-33	15
610	663	631	-96	-1	-24	-30	-25	14	5	-38	65	-110	-45	24	-63	39	-37
	669	-92	7	-26	-30	-23	12	-19	-40	63	-112	-41	30	-65	39	-33	17
660	679	695	-86	-3	-28	-38	-61	18	-65	-30	61	-179	-31	14	-43	9	-33
	663	-88	-1	-32	-40	-63	20	-75	-22	57	-169	-31	16	-43	7	-35	11
710	728	759	-11	-5	2	-34	-9	-34	-97	153	25	-83	57	32	-45	-19	35
	743	-9	-1	4	-34	-11	-32	-99	153	25	-81	59	30	-43	-23	37	-11

T3.16 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 1 - MODELO M1D
PONTOS DOS PAINÉIS

M1D

CARGA kg/m ² (1(kg))	2(kg)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I				
160	77	4	9	4	4	-8	2	-5	-9	2	-5	3	-2				
	62	55	6	7	2	6	-10	4	-5	-7	-2	-3	1	6			
	57	8	11	4	10	-8	4	-1	-3	4	1	7	4				
	77	8	13	6	12	-10	12	1	-3	4	3	7	6				
210	150	18	21	20	6	4	4	3	3	5	-8	15	3	18			
	155	14	25	22	12	8	4	3	5	0	13	3	14				
260	197	22	15	32	-6	12	-6	-11	5	7	-24	21	-9	26			
	207	24	21	38	-2	16	-12	-11	5	-20	23	-5	25				
310	249	28	21	42	-18	22	-28	-21	5	-38	33	-15	34				
	270	30	21	48	-16	24	-28	-15	5	-36	33	-15	32				
360	332	30	23	54	-32	36	-44	-31	7	-58	47	-23	40				
	317	34	21	60	-30	34	-48	-41	7	-62	43	-29	40				
410	384	26	21	69	-50	52	-71	-51	3	-83	47	-39	48				
	363	28	19	68	-54	54	-71	-51	1	-85	47	-39	44				
460	488	34	31	121	-95	121	-121	-27	-7	-40	5	-3	38				
	441	30	27	123	-93	119	-127	-35	-11	-34	5	-3	38				
460	513	30	17	109	-91	133	-139	-43	-31	-44	3	-11	32				
	467	30	19	107	-95	133	-147	-45	-37	-40	5	-9	24				
510	570	26	25	131	-115	158	-178	-53	-29	-50	9	-19	34				
	518	22	35	133	-117	158	-184	-57	-31	-56	5	-21	38				
560	586	4	53	115	-101	180	-196	-51	-49	-58	7	-37	60				
	596	6	53	115	-107	174	-196	-51	-60	9	-37	60					
610	663	-16	82	115	-95	184	-192	-112	-11	-30	-53	17	0				
	669	-24	84	117	-91	186	-186	-108	-5	-30	-53	19	-2				
660	679	11	319	-2912	637	-5236	-162	59	-12	-106	51	-32					
	663	-135	9	342	-3439	692	-6145	-162	63	-8	-108	47	-36				
710	728	3	478	****	1184	****	-144	162	2	-67	126	-86					
	743	-272	11	435	****	1194	****	-150	158	6	-71	130	-96				

T3.17 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 1 - MODELO M1D
PONTOS DOS PAINÉIS

3.3 - Série 2: painéis com espessura variável

Da experiência adquirida pela construção e ensaio dos quatro modelos da série 1, duas conclusões foram importantes para a definição dos modelos da série 2: a conveniência da utilização de hastes metálicas como elemento auxiliar do controle de espessura, que, através de um sarrafeamento usual, abriu a possibilidade de moldarmos espessuras reduzidas e variáveis com o rigor exigido pelo trabalho experimental; e a concordância dos resultados obtidos nos ensaios, levando-nos a aceitar a construção de apenas três modelos: M2A, M2B e M2C, os dois primeiros para ensaios simétricos e o último para ensaio assimétrico.

Os modelos desta série reproduzem assim fielmente a estrutura protótipo (desenhos D1.4 e D1.5), apresentando portanto os painéis com espessuras variáveis e com um mínimo de 0,5cm.

A execução das moldagens, curas e ensaios dos modelos desta série seguiu sempre a orientação utilizada na série anterior.

Por influência dos grandes atrasos ocorridos nos ensaios dos modelos M1C e M1D, os modelos desta série também foram ensaiados com mais de 28 dias.

3.3.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M2A e M2B

A construção do modelo M2A é que realmente testou a factibilidade da moldagem de espessuras pequenas (no caso 0,5cm) com auxílio de sarrafeamento; fato de real interesse para os modelos de estruturas laminares em geral, e em particular para esta, pois permite, numa extração, considerar os resultados aqui obtidos como válidos para estruturas de maior dimensão, por exemplo de 16 metros de lado, onde a espessura dos painéis seria apenas de 5cm.

Na moldagem destes modelos o micro-concreto utilizado foi o mesmo da série anterior, pois, uma vez que há vimos introduzido modificações nas dimensões, não queríamos modificar também o material. Ao contrário do que poderíamos imaginar, a manutenção de 2,4mm como limite para a dimensão da maior partícula de areia a ser utilizada na constituição do micro-concreto, estabelecido na série anterior como 1/4 da menor dimensão entre os elementos a serem moldados e que agora passava a representar 1/2, não apresentou nenhuma dificuldade na execução da moldagem.

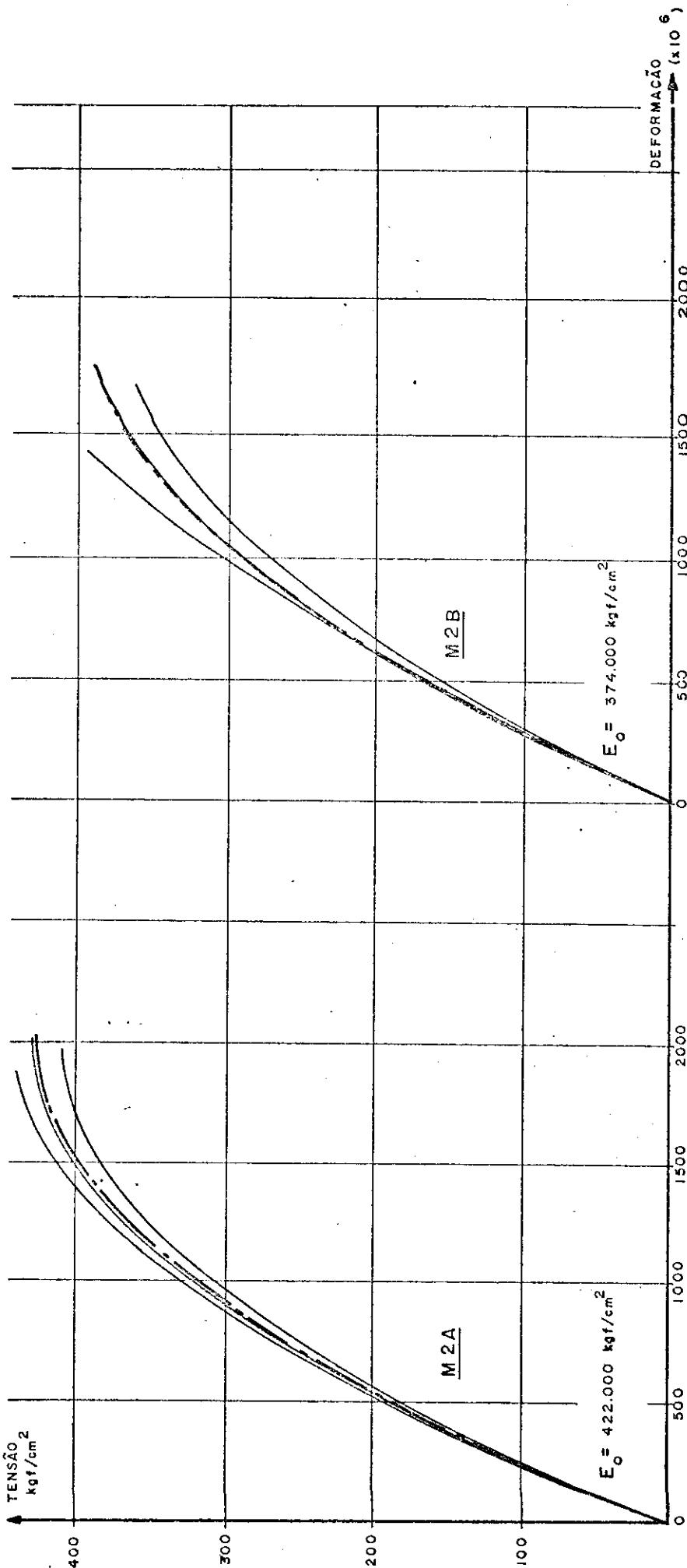
É evidente que o trabalho para a obtenção de espessuras menores deve ser muito mais cuidadoso, pois um mesmo erro passa a ter maior significado. No uso do sarrafeamento isto significa um maior cuidado principalmente no ajuste das alturas das guias.

É conveniente se executar este sarrafeamento, principalmente quando da moldagem de pequenas espessuras, em duas etapas. Uma primeira logo após o lançamento e a vibração da mistura, sendo então retirado o excesso de material, e em seguida a massa deve ser deixada "descansar", como se diz comumente. Depois de decorrido um certo tempo, aproximadamente meia hora, a massa já terá adquirido uma certa resistência e um novo sarrafeamento deverá ser executado, com maior cuidado para não se remover em demasia os grãos maiores, obtendo-se a espessura definitiva. Só então deverá ser iniciado a etapa desagradável deste processo que é a de remoção das guias, cujos espaços deverão ser preenchidos e o material, aí colocado, soqueteado. Estas regiões terão seu acabamento orientado pela espessura das regiões vizinhas. Como também já foi dito, embora não tenhamos notado nenhuma influência da pré-existência das guias, é conveniente dispô-las em direções perpendiculares às das prováveis fissuras.

Os modelos M2A e M2B foram ensaiados quando estavam, respectivamente, com 46 e 37 dias, tendo suportado o

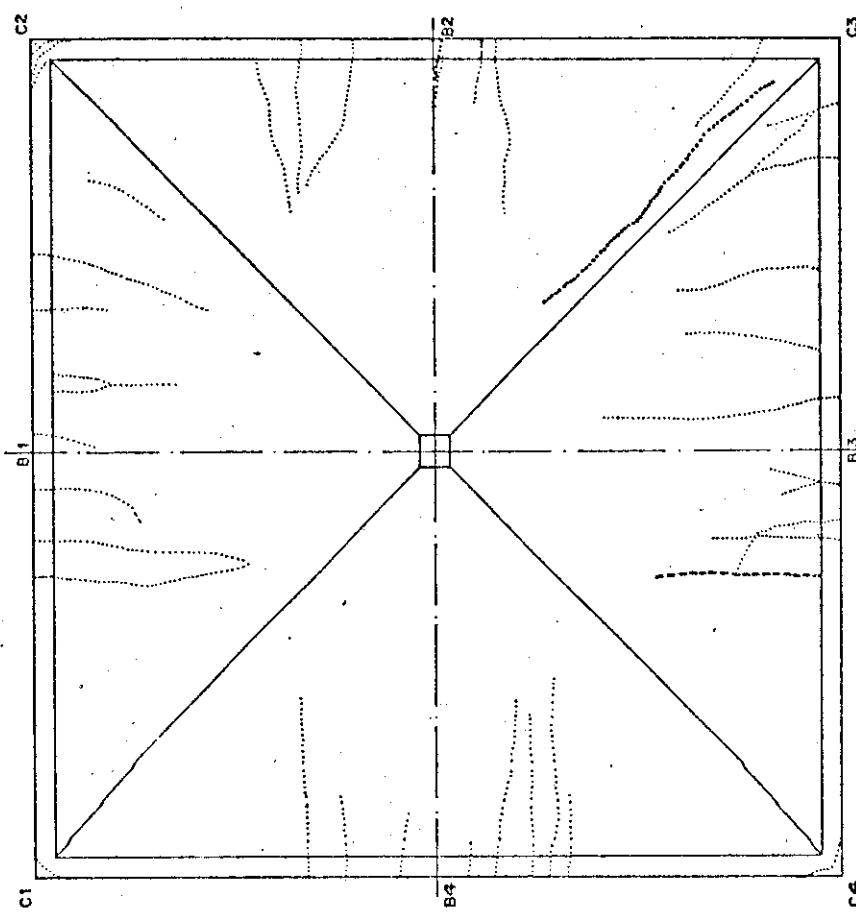
primeiro 660 kgf/m² e o segundo 610 kgf/m². A diferença de resistência observada pode ser explicada, em parte, pelas diferentes resistências acusadas pelos respectivos corpos de provas. Os do M2A ensaiados aos 48 dias apresentaram uma resistência média à compressão de 382 kgf/cm² e à tração 34 kgf/cm² e os do M2B, respectivamente, 316 kgf/cm² e 30 kgf/cm² em ensaios realizados aos 39 dias.

MODELO	IDADE	σ_{ck} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	5x10	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M 2 A	48	355,5	313,2	417,6	379,4	369,2
M 2 B	39	343,8	222,8	389,6	286,5	357,8
MODELO	IDADE	σ_{tsk} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	5x10	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M 2 A	49	32,5	42,6	24,8	34,4	32,5
M 2 B	53	32,8	31,8	35,0	22,9	25,5

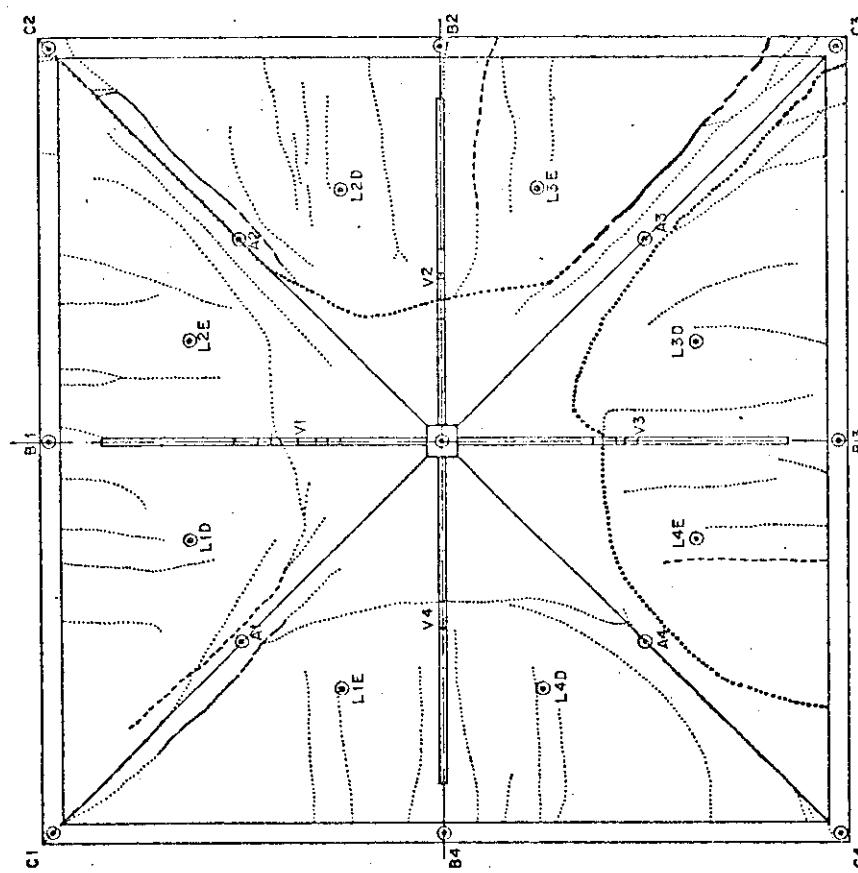


G 3.9 - Características do micro-concreto - Ensaios Simétricos - Série 2

VISTA INFERIOR.



VISTA SUPERIOR



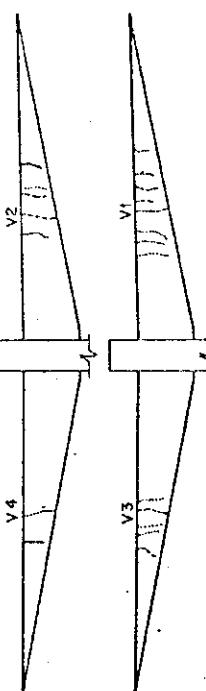
legenda

- 250 - 360 kg/m²
- 360 - 410 kg/m²
- 410 - 460 kg/m²
- 460 - 510 kg/m²
- > 510 kg/m²

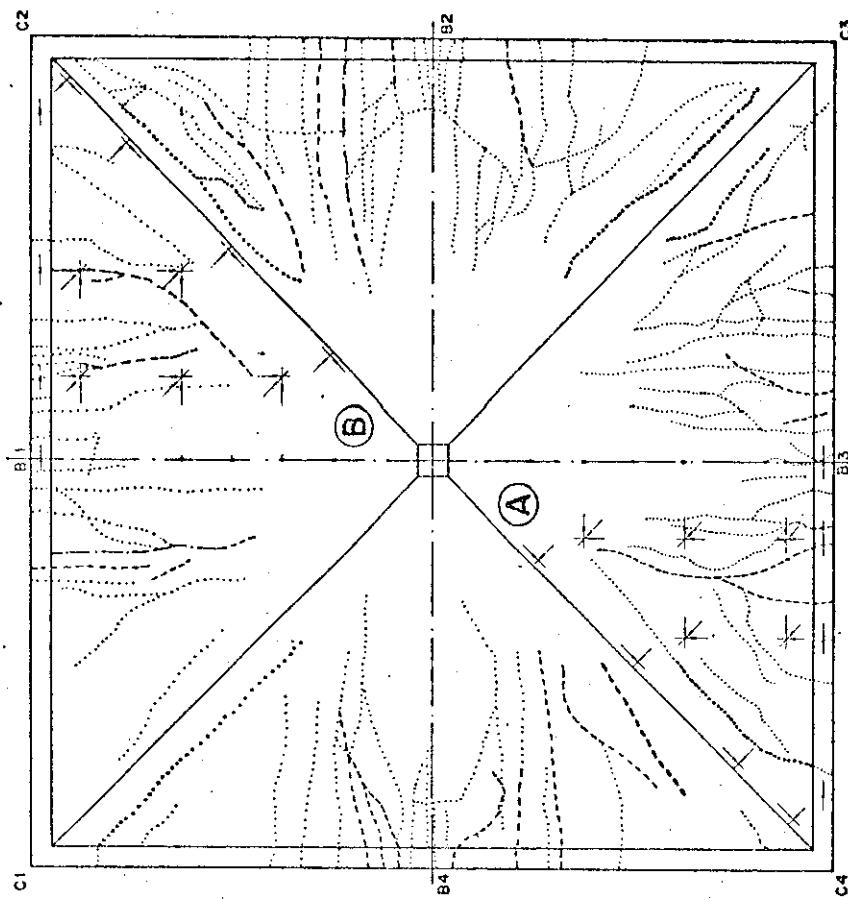
Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração da retícula

Escala 1:10
 $Q_R = 660 \text{ kg/m}^2$

D3.7 SÉRIE 2 - MODELO M2A EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

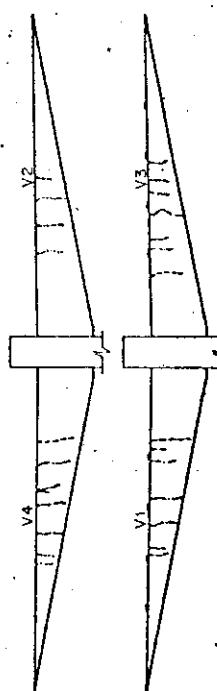
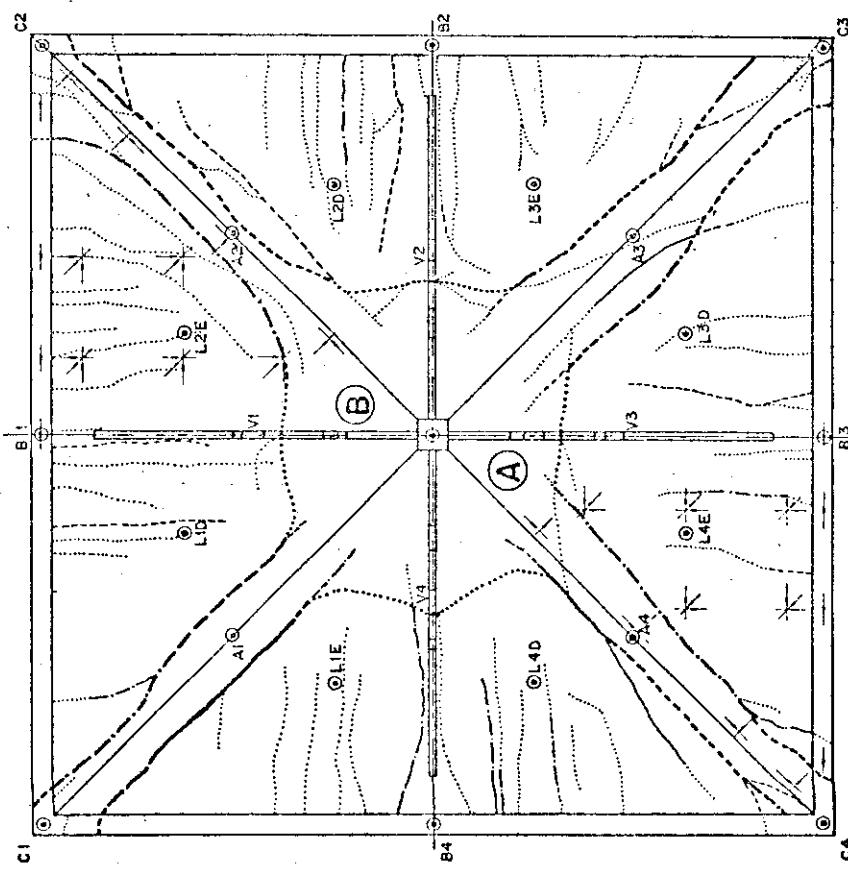


VISTA INFERIOR

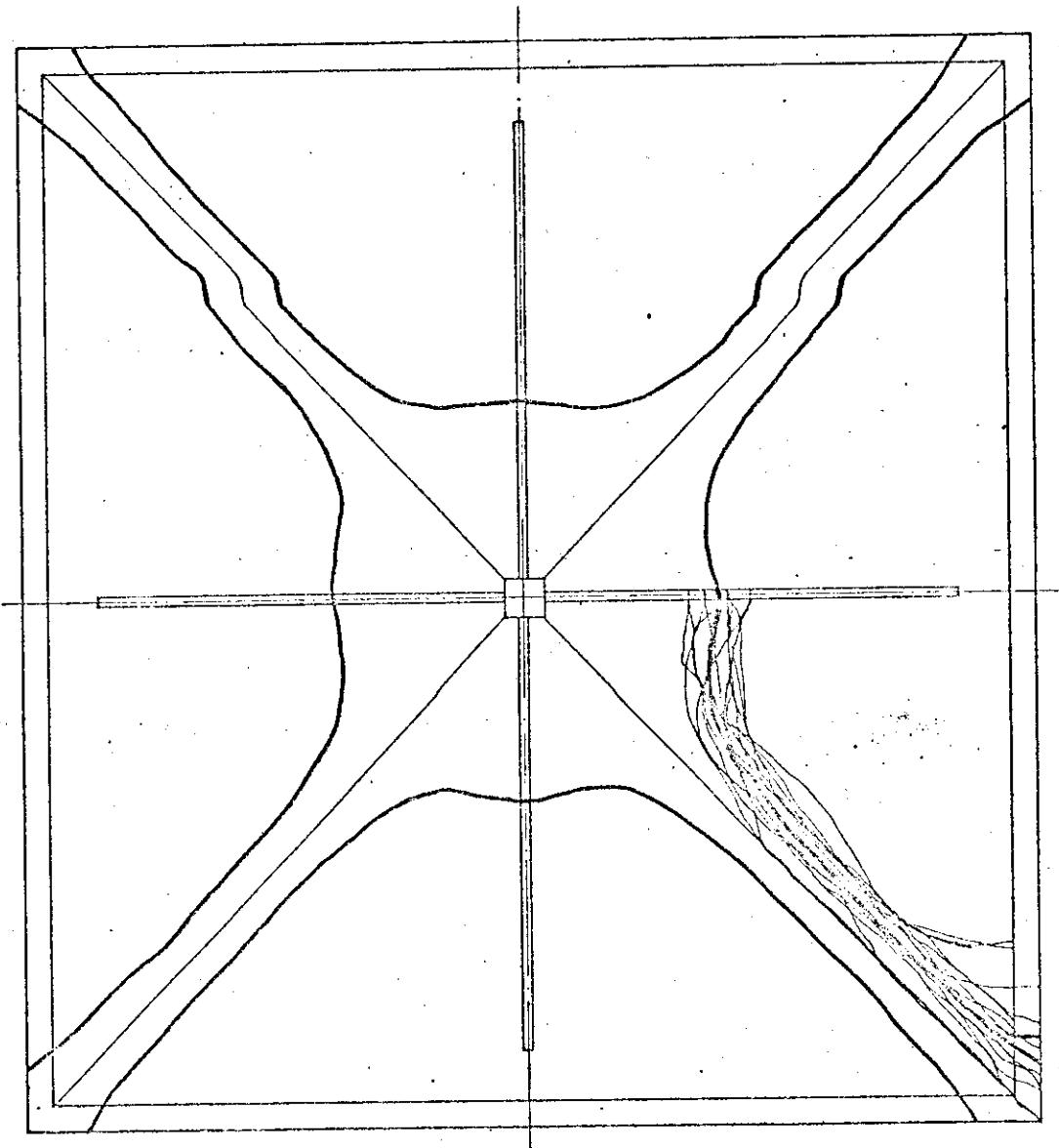


Legenda
Escala 1:10
250 - 310 kN/m^2
310 - 360 kN/m^2
360 - 410 kN/m^2
410 - 510 kN/m^2
-> 510 kN/m^2
Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura

VISTA SUPERIOR



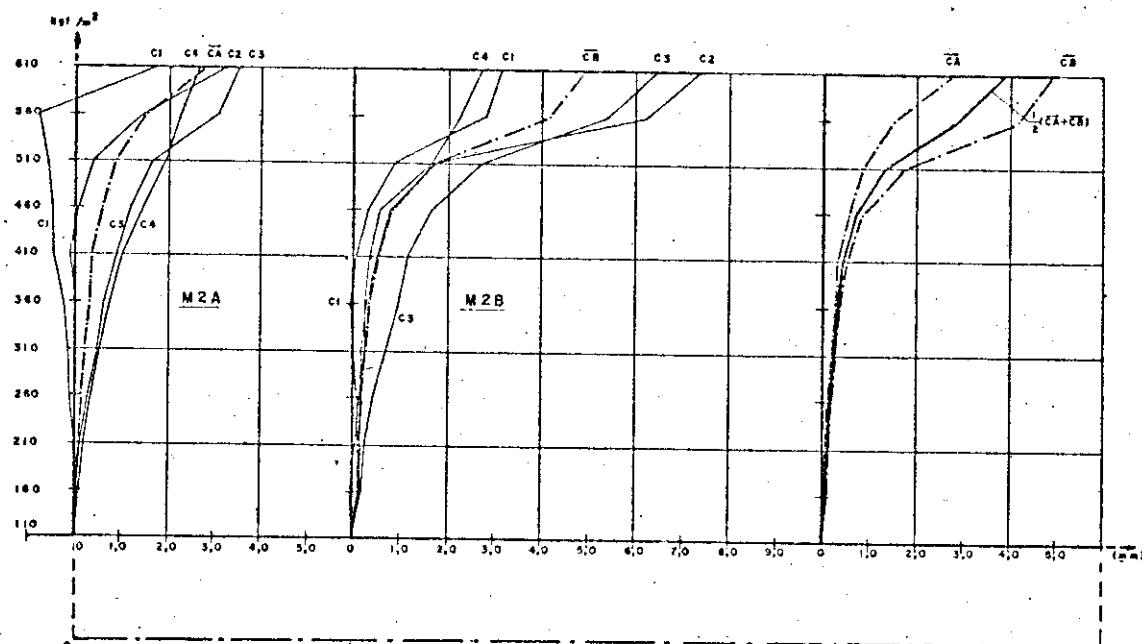
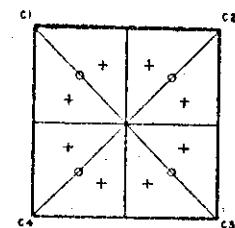
D 3.8 SÉRIE 2 - MODELO M2B EVOLUÇÃO DAS FISSURAS



$$Q_r = 640 \text{ kgf/m}^2$$

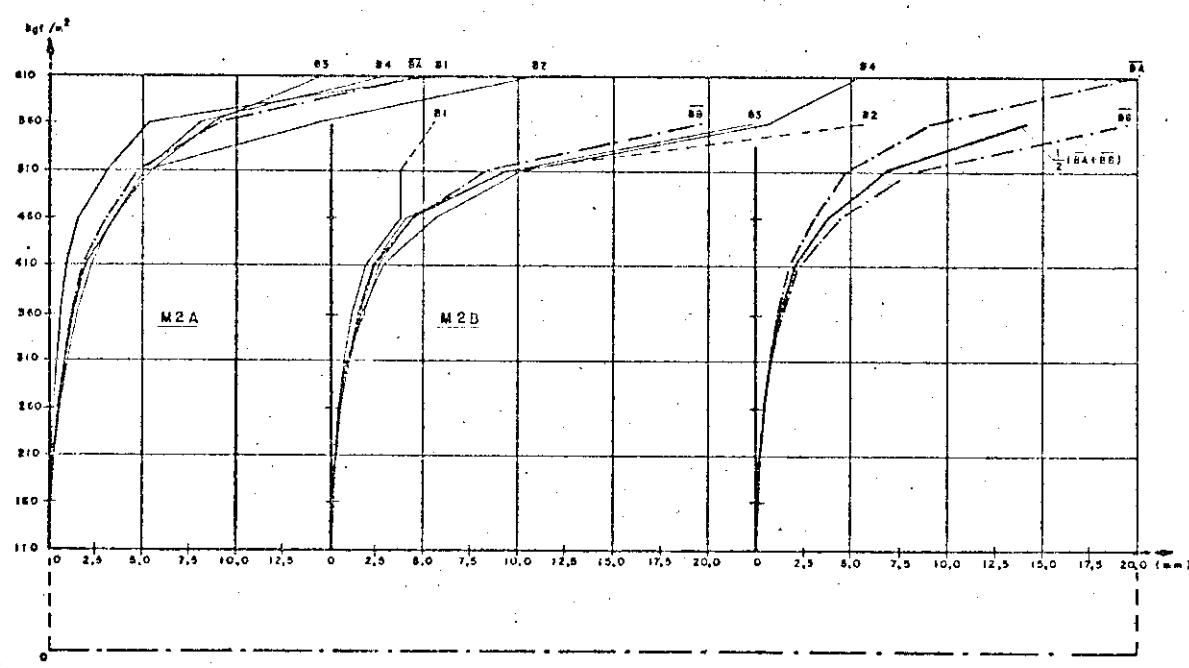
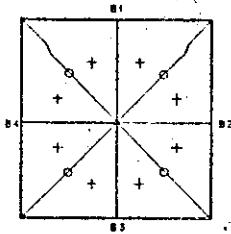
D 3.9
SÉRIE 2 - PROVÁVEL
CONFIGURAÇÃO DE RUPTURA

FASE	CARGA kN/m ²	DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (CI) SÉRIE 2 ENS. SIMÉTRICOS (mm)											
		M2A				M2B				$\frac{1}{2}(CA + CB)$			
		CI	C2	C3	C4	CA	CI	C2	C3	C4	CB		
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0	
1	160	0	0	0,04	0,12	0,04	0,15	0,19	0,22	-0,05	0,13	0,08	
2	210	0	0,02	0,15	0,23	0,10	0,12	0,19	0,23	0,08	0,17	0,15	
3	260	-0,11	0,03	0,31	0,39	0,13	0,10	0,19	0,45	0,17	0,23	0,19	
4	310	-0,15	-0,02	0,50	0,56	0,22	0,01	0,19	0,72	0,28	0,30	0,28	
5	360	-0,24	0,02	0,66	0,79	0,42	-0,06	0,32	0,99	0,24	0,38	0,34	
6	410	-0,47	-0,12	0,34	1,06	0,25	0,09	0,54	1,19	0,38	0,55	0,45	
7	460	-0,49	0,10	1,25	1,43	0,58	0,54	0,80	1,68	0,59	0,85	0,72	
8	510	-0,58	0,42	1,70	1,98	0,99	0,87	1,74	2,75	1,68	1,78	1,32	
9	560	-0,78	1,48	3,11	2,31	1,33	2,65	6,29	5,44	2,10	4,22	2,87	
10	610	1,64	3,22	3,56	2,71	2,72	3,19	2,78	4,52	2,74	4,98	3,89	



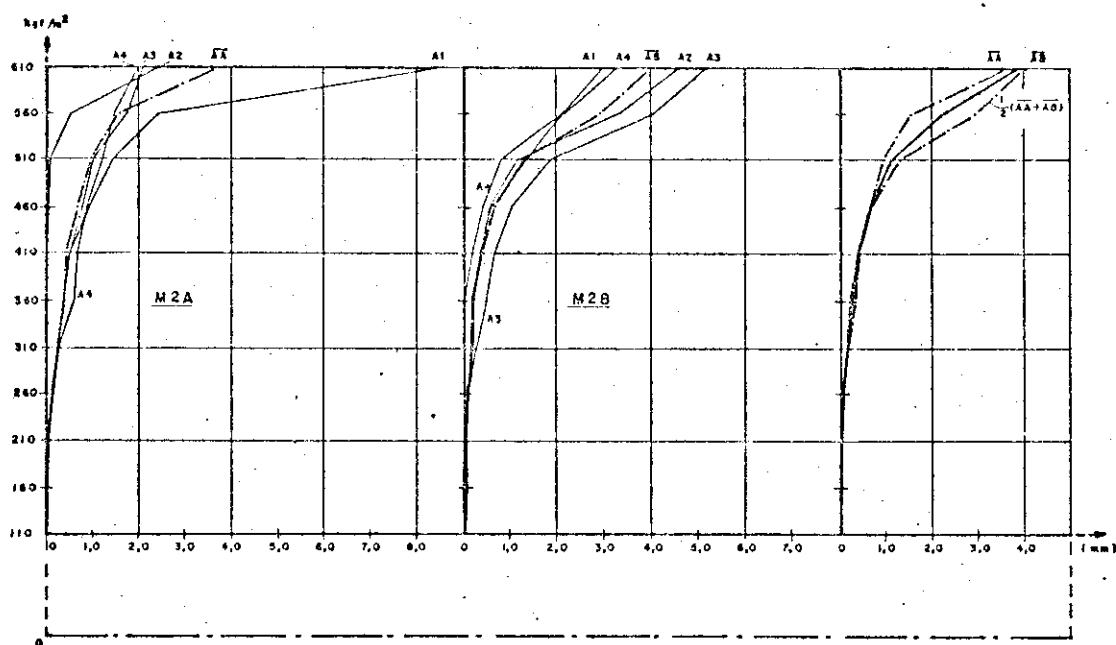
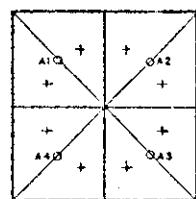
G3.10 SÉRIE 2 ENSAIOS SIMÉTRICOS
DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (CI)

DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1) SÉRIE 2											
FASE	CARGA kgf/m ²	M2A				M2B				$\frac{1}{2} (B4 + B8)$	
		B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B8	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0,05	0,09	0,15	0,13	0,11	0,23	0,13	0,04	0,12	0,12
2	210	0,17	0,25	0,35	0,29	0,26	0,35	0,31	0,77	0,30	0,28
3	260	0,28	0,48	0,60	0,47	0,46	0,43	0,31	0,52	0,33	0,30
4	310	0,43	0,82	1,03	0,91	0,80	0,70	0,63	0,98	1,05	0,88
5	360	0,62	1,27	1,51	1,33	1,18	1,12	1,76	1,44	1,64	1,45
6	410	0,93	1,94	2,30	2,00	1,79	1,84	2,51	2,21	2,71	2,07
7	460	1,64	3,63	3,53	3,56	3,09	3,70	4,31	3,99	5,51	4,38
8	510	3,15	5,24	5,48	5,04	4,74	3,70	9,30	9,27	9,94	8,05
9	560	5,34	14,63	8,79	8,13	9,17	9,38	27,36	22,24	23,05	19,31
10	610	20,66	24,00	14,63	18,08	19,84			27,90		



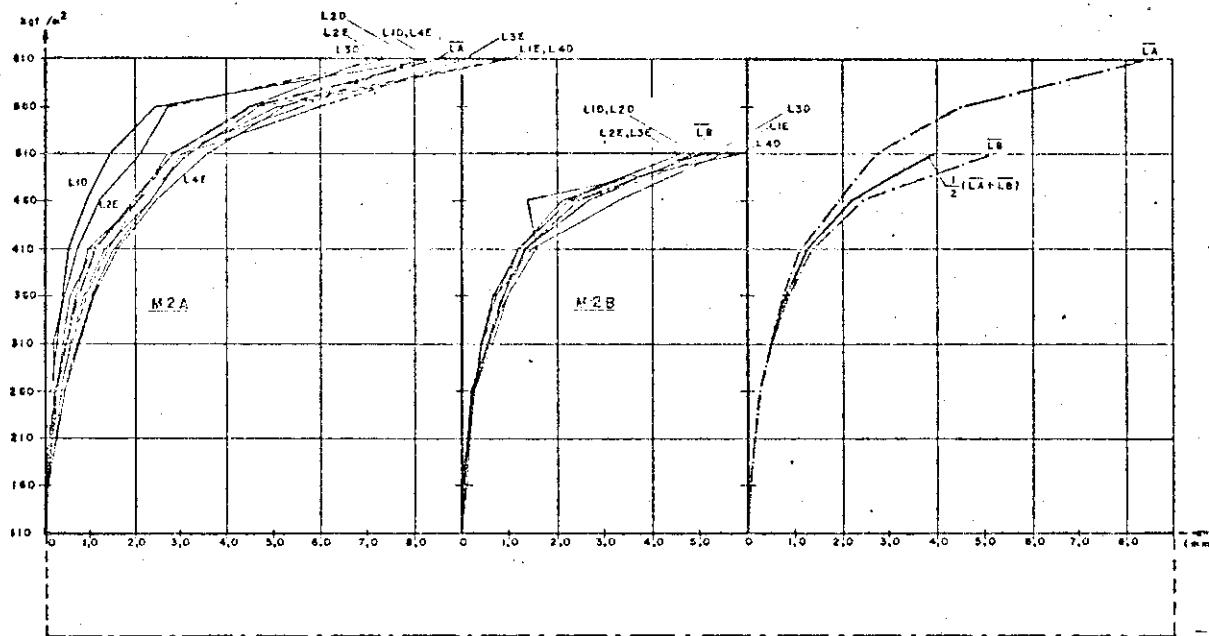
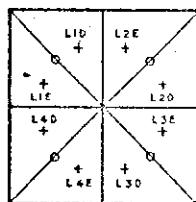
SÉRIE 2 ENSAIOS SIMÉTRICOS
G3.11 DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1)

FASE	CARGA kgf/m ²	M2A					M2B					$\frac{1}{2} (AA + AB)$
		A1	A2	A3	A4	AA	A1	A2	A3	A4	AB	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	150	0,04	0	0,02	0,06	0,03	0,01	0,09	-0,05	-0,03	0,01	0,02
2	210	0,08	0,01	0,03	0,03	0,06	0,01	0,09	0,04	0,05	0,04	0,03
3	260	0,13	0,03	0,19	0,19	0,15	0,01	0,11	0,13	0,03	0,09	0,11
4	310	0,27	-0,01	0,29	0,51	0,21	0,01	0,15	0,29	0,25	0,17	0,19
5	360	0,40	0	0,39	0,62	0,55	0,03	0,17	0,50	0,25	0,24	0,30
6	410	0,53	-0,03	0,50	0,67	0,42	0,21	0,37	0,67	0,58	0,41	0,41
7	460	0,92	0,06	1,73	0,87	0,66	0,43	0,57	1,05	0,66	0,68	0,67
8	510	1,44	0,09	1,01	1,21	0,94	0,81	1,17	1,03	1,35	1,29	1,12
9	560	2,41	0,52	1,73	1,47	1,33	2,12	3,32	4,10	2,16	2,32	2,23
10	610	8,31	2,45	2,09	1,97	3,70	3,02	4,66	5,24	3,30	4,05	3,69



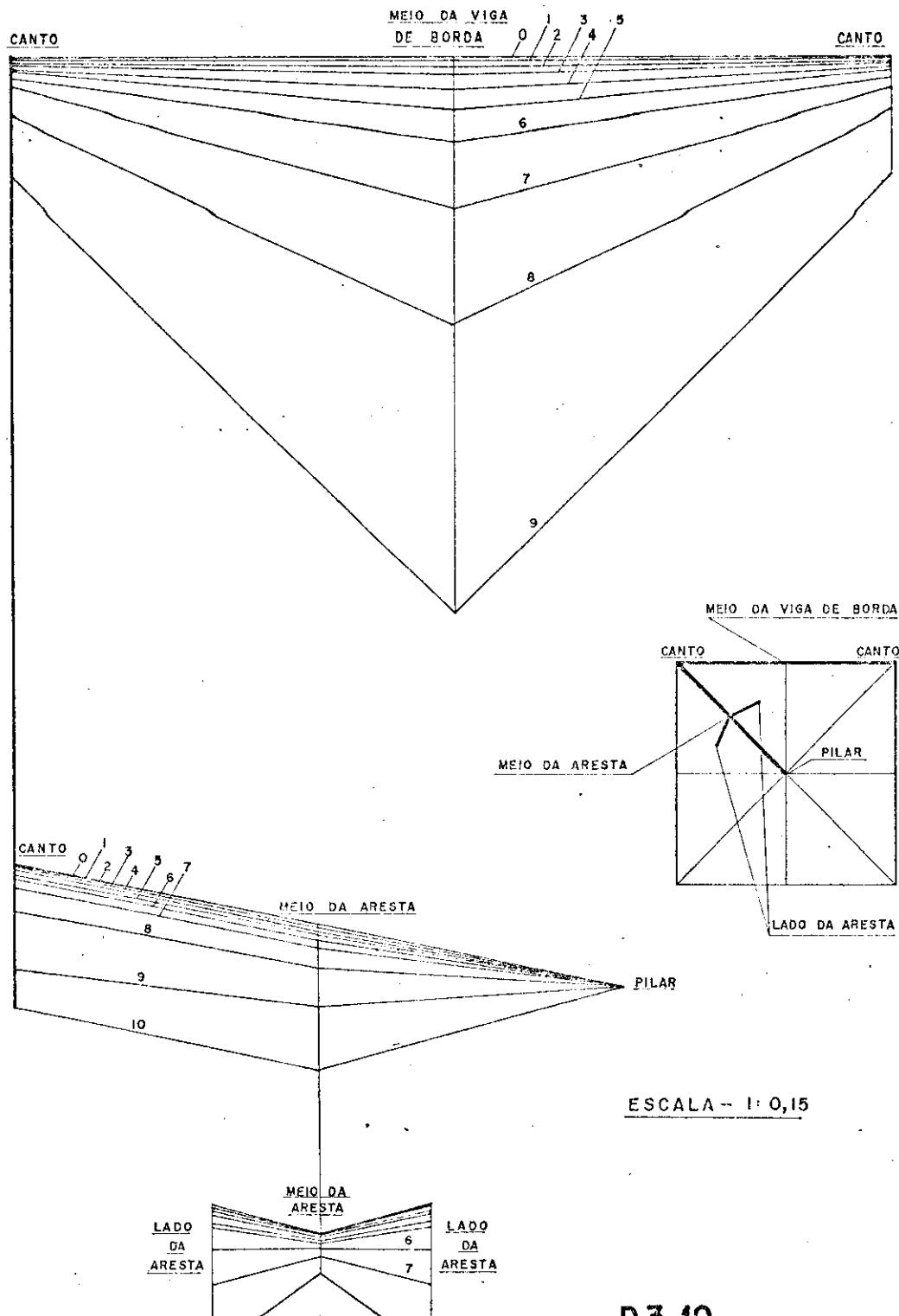
G 3.12 SÉRIE 2 ENSAIOS SIMÉTRICOS
DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (AI)

DESLOCAMENTOS DOS LADOS DAS ARESTAS (LEI,LDI) SÉRIE 2 ENSAIOS SIMÉTRICOS (mm)																			$\frac{1}{2}(LA+LB)$			
FASE	CARGA kgf/m ²	M2A										M2B										$\frac{1}{2}(LA+LB)$
		LIE	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	LA	LIE	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	LB			
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	160	0,07	0,04	0,05	0,05	0,07	0,08	0,11	0,10	0,07	0,09	0,16	0,16	0,12	0,05	0	0,02	0,07	0,04	0,08		
2	210	0,13	0,08	0,11	0,14	0,18	0,19	0,28	0,23	0,18	0,16	0,20	0,22	0,19	0,17	0,14	0,15	0,23	0,18	0,17		
3	260	0,22	0,13	0,16	0,25	0,34	0,35	0,45	0,40	0,28	0,23	0,29	0,28	0,28	0,30	0,30	0,28	0,33	0,28	0,28		
4	310	0,47	0,27	0,19	0,41	0,56	0,41	0,77	0,73	0,50	0,30	0,46	0,43	0,44	0,52	0,57	0,67	0,68	0,53	0,52		
5	360	0,69	0,40	0,44	0,57	0,86	0,92	1,09	1,04	0,75	0,76	0,71	0,77	0,91	1,00	0,98	0,91	1,00	0,98	0,64		
6	410	0,95	0,53	0,71	1,06	1,31	1,40	1,69	1,52	1,13	1,51	1,24	1,21	1,24	1,37	1,42	1,35	1,57	1,36	1,25		
7	460	2,09	0,92	1,20	2,02	2,33	2,09	2,43	2,35	1,93	3,34	2,70	2,53	2,15	2,26	2,36	2,74	1,37	2,41	2,17		
8	510	3,20	1,44	2,10	2,70	3,00	2,84	3,58	3,11	2,75	5,55	4,97	4,72	5,03	4,70	5,38	5,21	5,99	5,19	3,97		
9	560	4,67	2,41	2,71	3,57	5,86	4,47	5,20	5,06	4,51												
10	610	10,00	8,31	7,43	8,01	9,07	7,02	8,17	10,00	8,50												



SÉRIE 2 ENSAIOS SIMÉTRICOS
G 3.13
DESLOCAMENTOS DOS LADOS
DAS ARESTAS (LEI,LDI)

3.53



D 3.10

SÉRIE 2

EVOLUÇÃO DAS DEFORMADAS

M2B

CARGA kg/m ²	Ponto	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A01S	A01I	B01S	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I
160	124	125	10	-6	6	-7	-96	6	-1	8	-5	6	-7	11	-1	9	0
210	260	253	18	-12	16	-17	-384	16	-5	22	-11	15	-11	20	-1	19	-1
260	395	381	29	-20	26	-26	-563	24	-8	31	-17	25	-22	34	-1	26	-3
310	525	509	48	-31	41	-40	2242	45	-14	48	-30	42	-34	55	-13	47	-19
360	645	637	64	-47	66	-66	4233	62	-26	64	-47	59	-61	78	-32	74	-41
410	780	765	77	-68	83	-83	3419	62	-31	73	-133	753	-81	143	-34	95	-59
460	905	813	71	-69	75	-121	4164	106	-41	77	-169	1208	-89	209	-66	68	-194
510	1052	1021	83	-58	71	-124	4283	108	-155	1113	-150	1206	-316	789	-91	74	-305
560	1182	1149	54	-50	68	-122	*****	1144	-188	1574	-156	1304	-564	437	51	110	-265
610	1327	1277	41	-48	60	-112	*****	1551	-432	*****	-120	1320	-341	371	-739	61	215

valores negativos correspondem a encurtamentos

valores positivos correspondem a alongamentos

***** + valor superior a 9999

carga inicial: 110 kgf/m²

carga 2 + valores acusados por ponte analógica

carga 1 + valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados N.P.

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

T3.18 SÉRIE 2 - MODELO M2B

PONTOS DAS VIGAS DE BORDA

M2B

CARGA kg/m ²	Ponto	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A05S	A05I	B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I
160	124	125	26	-8	17	-5	24	8	27	-10	21	-8	27	-8	18	-10	16
210	260	253	60	-18	44	-10	50	15	52	-17	40	-10	48	-21	37	-21	33
260	395	381	68	-26	59	-18	79	23	82	-29	63	-19	76	-31	54	-36	54
310	525	509	106	-31	80	-18	88	33	196	-57	71	-19	383	-46	83	-52	83
360	645	637	108	-39	73	-18	136	55	265	-65	73	-25	660	-55	270	-76	130
410	780	765	132	-45	92	-29	180	61	433	-74	57	-48	929	-69	409	-99	195
460	905	813	207	-58	134	-50	300	74	711	-76	193	-244	*****	-183	521	-124	250
510	1052	1021	386	-68	179	-22	369	178	681	-111	164	-218	*****	-288	436	-179	243
560	1182	1149	215	-41	59	21	218	212	487	-12	-31	-204	*****	-244	352	-204	144
610	1327	1277	188	-43	55	31	224	216	523	3	-20	-208	*****	-229	348	-210	153

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

T3.19 SÉRIE 2 - MODELO M2B

PONTOS DAS VIGAS CENTRAIS

M2B

CARGA kg/m ² (kN/m)	2(kN)	DEFORMAÇÕES [x 10 ⁻⁶]																	
		A09S	A09I	A10S	A10I	809S	809I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	811S	811I	812S	812I		
160	124	125	9	-5	-9	5	8	-6	-4	3	13	-9	-6	4	10	-8	-3	1	
210	260	253	20	-11	-15	13	14	-5	-6	9	30	-19	-4	2	22	-13	-9	1	
260	395	381	32	-17	-24	15	26	-8	-12	17	41	-28	-10	0	35	-19	-13	1	
310	525	509	57	-20	-40	36	39	-10	-17	26	32	-22	-13	8	39	-17	-22	11	
360	645	637	80	-26	-62	70	64	-5	-31	40	41	-28	-21	10	26	-8	-40	19	
410	780	765	143	-34	-59	106	71	2	-33	53	-17	19	3	-5	26	-12	-38	20	
460	905	813	535	-93	-80	100	62	4	0	34	45	0	-15	59	47	-36	-57	70	
510	1052	102	2134	206	-97	57	289	8	-36	55	72	-28	-75	137	62	-36	-160	127	
560	1182	1149	3241	267	-267	240	*****	760	-23	45	97	-53	-153	275	87	-46	-284	167	
610	1327	1277	3754	236	-360	364	*****	793	-42	51	148	-57	-229	645	94	-63	-347	211	

T3.20 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

SÉRIE 2 - MODELO M2B

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M2B

CARGA kg/m ² (kN/m)	2(kN)	DEFORMAÇÕES [x 10 ⁻⁶]																	
		A13S	A13I	A14S	A14I	813S	813I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	815S	815I	816S	816I		
160	124	123	12	-9	-2	-8	8	-7	-3	-4	3	2	-10	-4	4	0	-3	-1	
210	260	253	22	-17	-6	-14	21	-15	-7	-12	9	4	-19	-4	12	1	-11	-5	
260	395	381	41	-26	-12	-24	34	-20	-9	-17	15	10	-29	-13	17	5	-19	-13	
310	525	509	31	-20	-12	-33	44	-28	-11	-23	22	8	-40	-23	29	3	-24	-13	
360	645	637	41	-26	-13	-52	36	-22	-24	-25	20	8	-48	-40	38	7	-38	-32	
410	780	765	58	-30	-23	-60	59	-32	-28	-34	20	12	-61	-54	50	7	-51	-47	
460	905	813	50	-32	-33	-43	31	-26	-34	-34	41	0	-55	-97	82	1	-68	-74	
510	1052	1021	43	-51	-33	-106	0	-19	-13	-40	53	19	-73	-143	107	28	-76	-127	
560	1182	1149	50	-70	-65	-102	-1	-61	-13	-48	9	42	-78	-239	44	91	-95	-271	
610	1327	1277	60	-83	-78	-87	-24	-57	13	-95	-11	55	-71	-305	-8	143	-93	-352	

T3.21 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

SÉRIE 2 - MODELO M2B

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M2B

CARGA			DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)															
kg/m ²	(kgf)	2(kg)	A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S	A21I
160	124	125	-4	1	0	4	0	8	0	0	2	4	3	4	2	-7	0	-1
210	260	253	-6	1	2	10	1	14	2	0	2	10	5	14	6	-9	8	-1
260	395	381	-8	0	2	16	-2	16	0	0	2	18	3	18	8	-15	12	-7
310	525	509	-10	-2	12	16	5	29	-2	1	4	29	7	36	-1	-7	-1	10
360	645	637	-21	-2	10	25	1	39	-8	1	0	39	9	52	-7	-7	-3	10
410	780	765	-33	15	10	45	0	39	-16	5	-4	51	15	15	-5	-13	0	12
460	905	813	-37	37	0	53	-6	31	-22	7	-2	63	7	97	-82	37	-33	81
510	1052	1021	-53	25	10	21	-43	39	-54	-39	-20	92	-73	144	-74	29	-60	96
560	1182	1149	-10	15	0	-1	-104	75	-105	-6	-38	139	-102	201	-141	23	-29	63
610	1327	1277	3	42	23	4	-157	106	-65	-45	36	138	-122	268	-155	23	-60	116

T3.22 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2B
PONTOS DOS PAINÉIS

M2B

CARGA			DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)															
kg/m ²	(kgf)	2(kg)	A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S	B23I
160	124	125	2	0	1	-5	6	-2	2	0	-8	6	3	0	4	691	0	0
210	260	253	2	2	5	-13	16	0	6	0	-14	10	13	0	4	700	-4	2
260	395	331	4	0	7	-19	23	-8	8	-4	-25	10	13	0	10	706	-4	0
310	525	509	-2	16	13	-23	35	-8	8	1	-39	20	23	4	16	712	-12	10
360	645	637	-10	16	3	-21	25	3	-4	9	-59	39	23	10	18	718	-22	14
410	780	765	-12	23	9	-23	39	5	2	11	-69	41	5	4	-87	763	-26	26
460	905	813	-26	41	-51	-1	-348	58	-52	70	-55	132	76	-44	-168	789	-32	34
510	1052	1021	-38	57	-86	0	-316	-21	-56	58	-116	177	107	-13	-209	796	-81	56
560	1182	1149	-69	63	-94	43	-137	-88	-59	58	-55	120	129	-31	-244	825	-136	148
610	1327	1277	-97	96	-21	232	-414	155	-101	145	-65	130	166	-48	-260	802	-191	235

T3.23 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2B
PONTOS DOS PAINÉIS

M2B

CARGA

			DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kN/m ²	1(kN)	2(kN)	B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I
160	124	125	-2	-2	0	7	-2	1	-4	4	-6	6	-2	-8	0	2	-1	11
210	260	253	0	-2	2	15	-2	0	-8	8	-4	14	-6	-10	2	8	-5	21
260	395	381	3	-4	0	19	-8	-6	-18	8	-12	20	-14	-16	0	6	-3	27
310	525	509	1	0	-2	35	-10	-4	-27	14	-18	31	-18	-18	-4	12	-13	33
360	645	637	-2	5	-4	44	-14	-6	-31	14	-33	41	-28	-22	0	14	-11	48
410	780	765	0	19	-10	62	-12	-14	-47	25	-45	65	-30	-14	-16	23	-29	74
460	905	813	-2	39	0	64	-29	-12	-75	41	-37	49	-36	0	-40	37	-29	88
510	1052	1021	-61	39	-34 *****	-86	-6	-84	-11	-25	59	-75	-10	-16	27	-21	54	
560	1182	1149	-114	96	-22 *****	-108	19	19	-66	3	71	-20 *****	81	2063	1840	60		
610	1327	1277	-90	31	-14 *****	-110	21	21	-56	-4	63	-101 *****	52	1639	1679	68		

T3.24 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2B
PONTOS DOS PAINÉIS

M2B

CARGA

			DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)														
kN/m ²	1(kN)	2(kN)	A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I			
160	124	125	0	-7	-3	3	-4	17	-3	-9	-2	2	-2	6			
210	260	253	-2	-13	-3	11	-2	35	-1	-13	5	4	-4	10			
260	395	381	-4	-21	-9	9	-10	46	-3	-29	3	-1	-8	14			
310	525	509	-4	-37	-13	13	-23	64	-7	-50	5	-1	-10	20			
360	645	637	-4	-42	-19	21	-31	82	-9	-70	-2	0	-26	22			
410	780	765	4	-54	-17	25	-39	86	-1	-90	-2	-3	-38	36			
460	905	893	79	-125	-23	52	-71	135	142	-196	78	-78	-42	58			
510	1052	1021	152	-208	-88	86	-151	300	301	-412	23	-48	-140	67			
560	1182	1149	1231	-528	273	92	-389	1283	3003	-528	103	446	-217	455			
610	1327	1277	1514	-603	447	70	-449	1320	3167	-558	48	1338	-306	918			

T3.25 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2B
PONTOS DOS PAINÉIS

3.3.2 - Modelo ensaiado assimetricamente: M2C

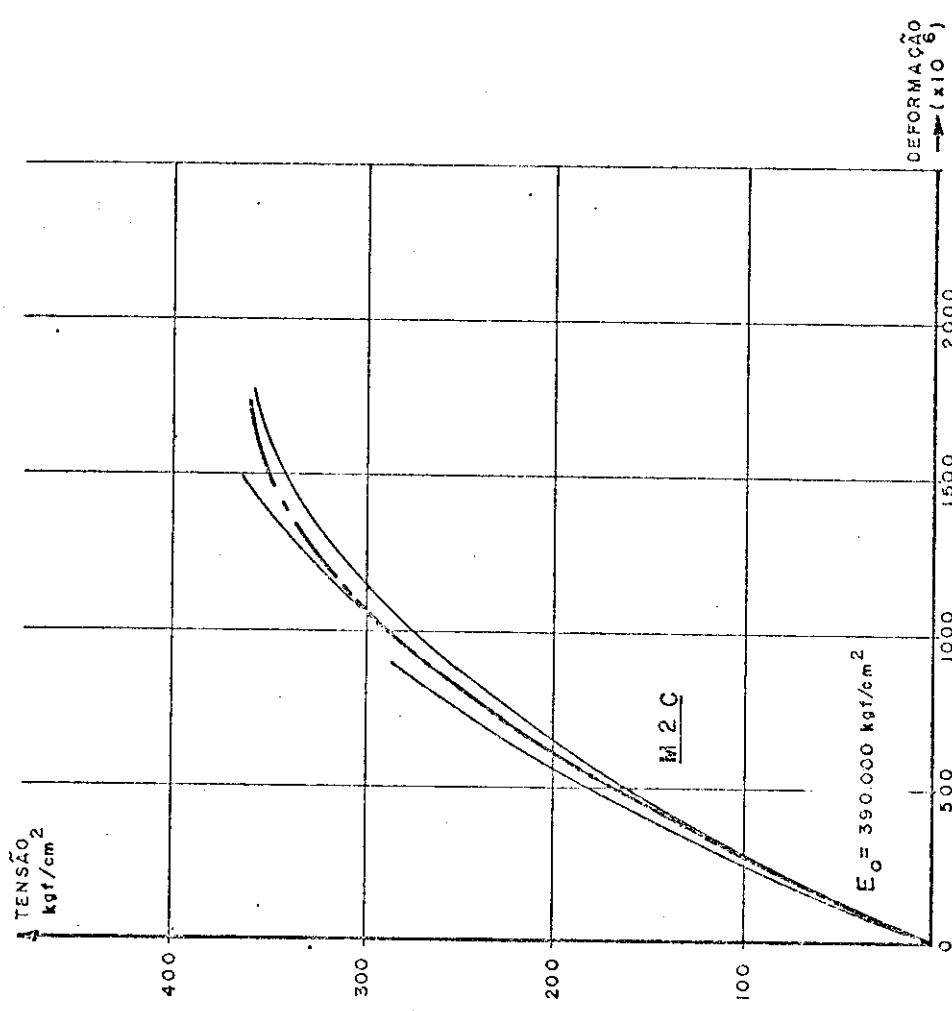
Apesar de já termos obtido, com o ensaio assimétrico do M1D, a informação desejada que esta estrutura se comportava muito bem a esta solicitação, pelo menos com relação à sua resistência à ruptura, pois que os deslocamentos são imprecisos devido à vinculação imperfeita do modelo, resolvemos realizar o ensaio assimétrico do modelo M2C por representar mais exatamente a estrutura protótipa.

Também aquela conclusão era resultado do ensaio de um único modelo e este agora poderia confirmá-la.

Realmente o M2C ensaiado aos 35 dias, suportou uma carga máxima de aproximadamente 660 kgf/m^2 , da mesma ordem das suportadas pelos modelos ensaiados simetricamente. E ainda este limite foi ditado pela danificação do pilar e consequente giro excessivo da estrutura, intensificado pela vinculação imperfeita, e não pela ruptura da casca. Tudo como no ensaio do M1D, da série anterior.

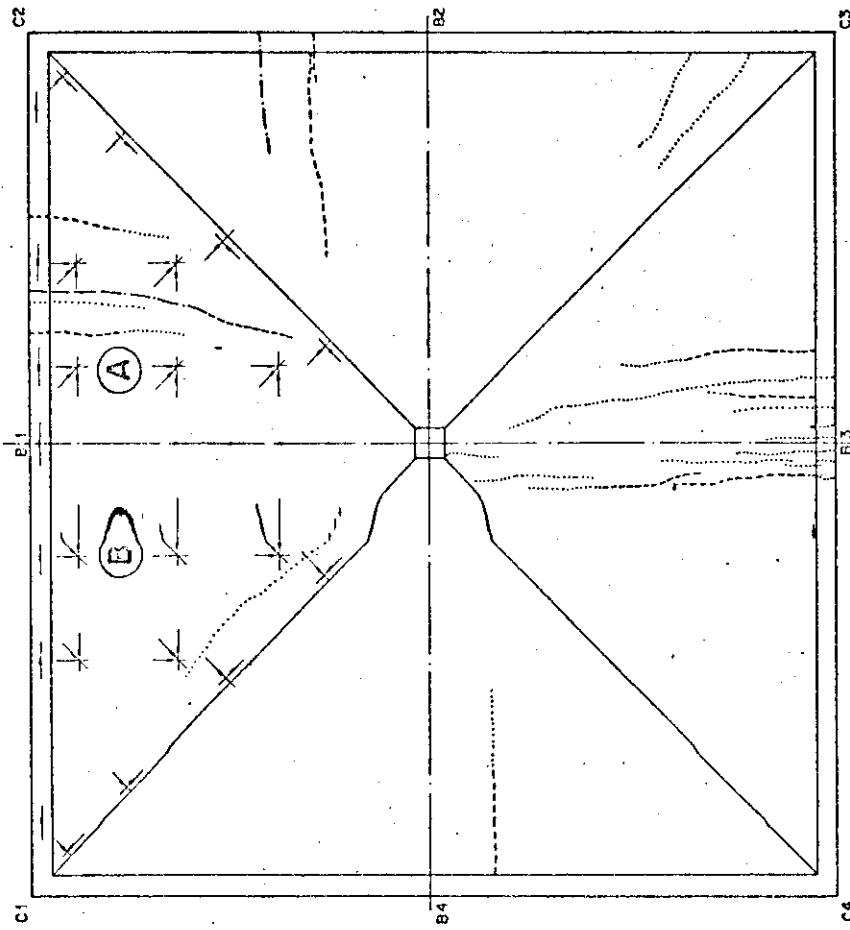
MODELO	IDADE	σ_{ck} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	5×10	MÉDIA	DESVIO
M 2 C	35	280,1	362,9	280,1	331,0	299,2
			331,0	331,0	305,6	305,6
				382,0	382,0	318,3
				305,6	305,6	318,3
				318,3	318,3	318,3
						30,3

MODELO	IDADE	σ_{ck} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	5×10	MÉDIA	DESVIO
M 2 C	46	15,0	27,1	34,1	26,0	32,1
			30,6	30,6	36,3	23,2
				23,2	23,2	25,5
				27,4	27,4	33,7
				28,6	28,6	22,3
				32,1	32,1	22,3
						28,3
						5,3

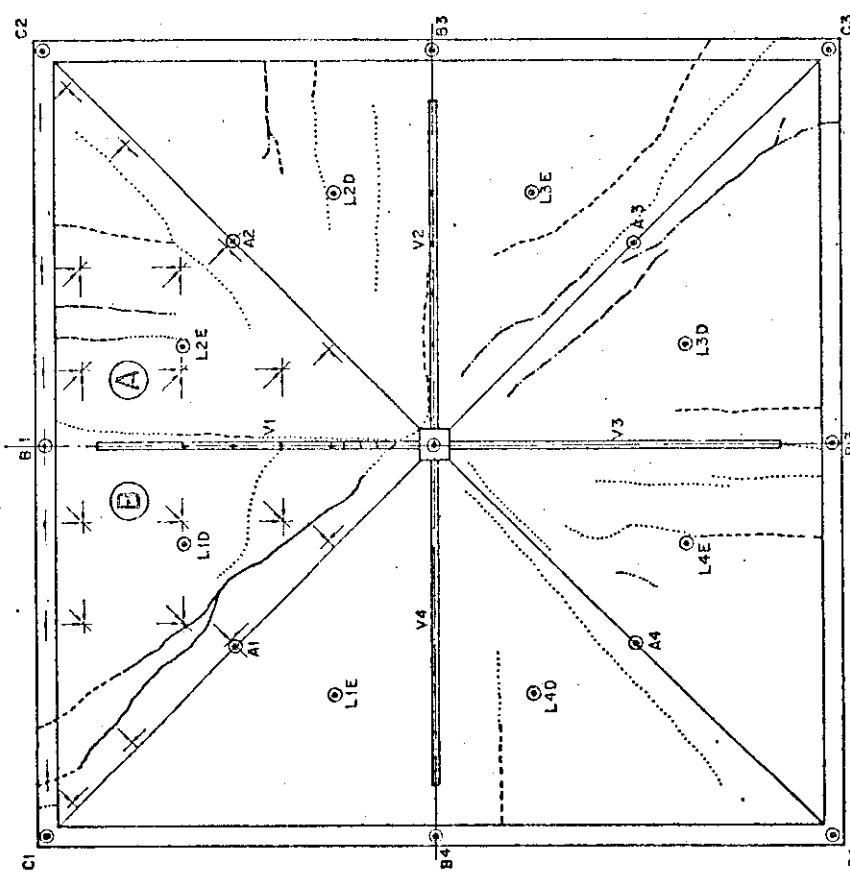


G 3.14 — Características do micro-concreto — Ensaios Assimétricos — Série 2

VISTA INFERIOR



VISTA SUPERIOR



Legend Escala 1:10
 — 410 - 460 kgf/m²
 — 460 - 510 kgf/m²
 — 510 - 560 kgf/m²
 - - - 560 - 610 kgf/m²
 > 610 kgf/m²

Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura

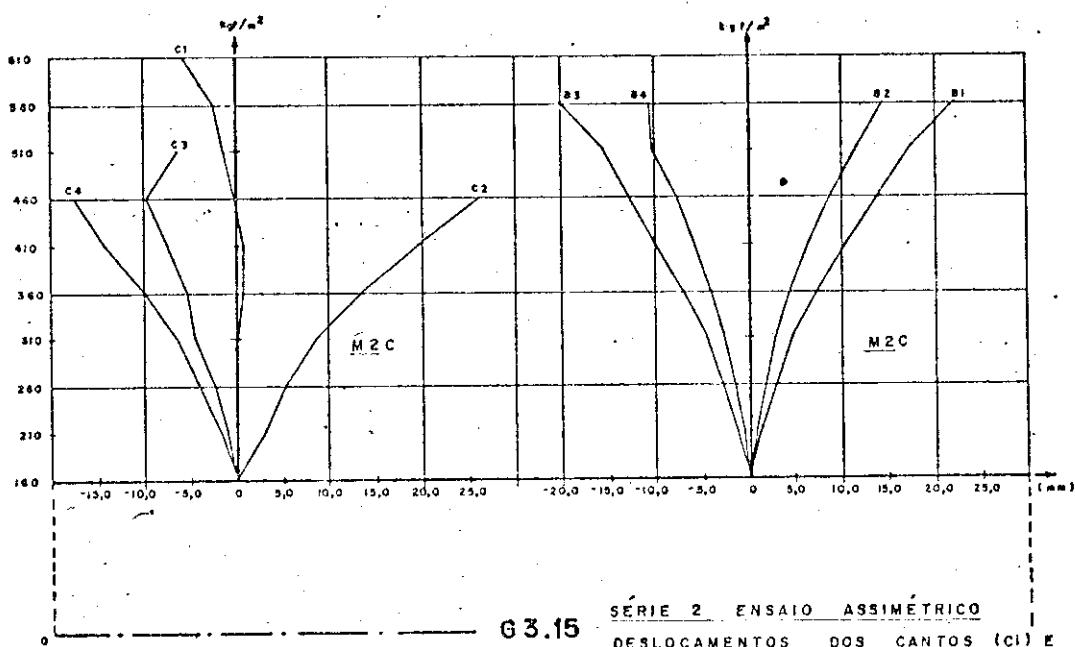
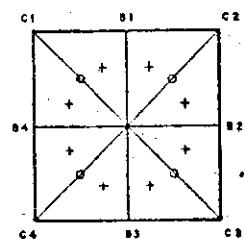
Legend Escala 1:10
 — 410 - 460 kgf/m²
 — 460 - 510 kgf/m²
 — 510 - 560 kgf/m²
 - - - 560 - 610 kgf/m²
 > 610 kgf/m²

Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura

D 3.11
SÉRIE 2 - MODELO M2C
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

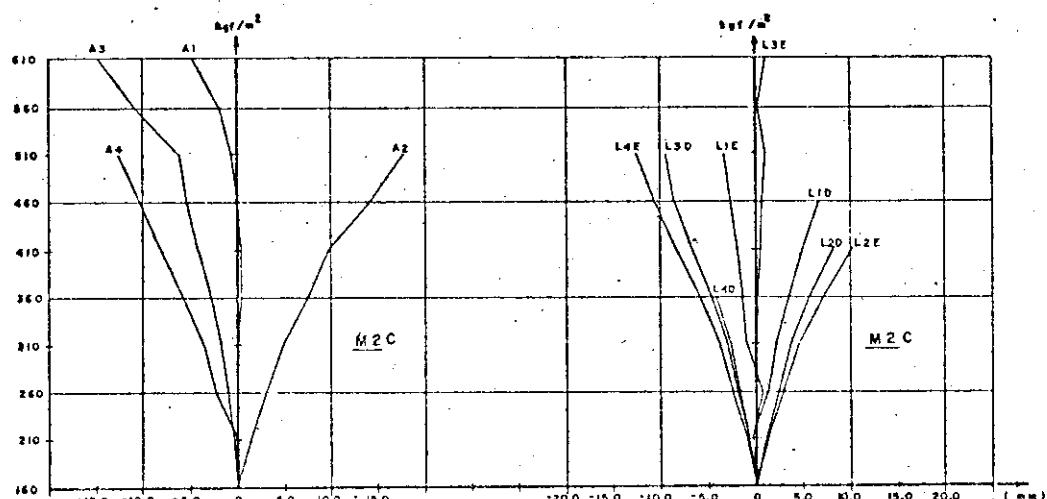
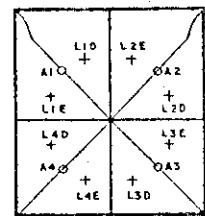
DESLOCAMENTOS - SÉRIE 2 - ENSAIO ASSIMÉTRICO (mm)									
FASE	CARGA kgf/m ²	CANTOS (C1)				MEIO DAS VIGAS DE BORDA (B1)			
		C1	C2	C3	C4	B1	B2	B3	B4
0	160	0	0	0	0	0	0	0	0
1	210	-0,04	0,04	-1,08	-1,71	1,43	0,88	-1,40	-0,73
2	260	0,08	3,34	-2,26	-3,96	3,08	1,88	-2,98	-1,70
3	310	0,24	8,49	-4,37	-6,38	4,83	3,00	-4,70	-2,92
4	360	0,68	13,51	-5,24	-9,88	7,52	4,55	-7,24	-4,19
5	410	0,80	19,60	-7,37	-14,04	10,60	6,59	-10,15	-5,96
6	460	-0,23	26,44	-9,37	-17,31	14,03	8,88	-12,94	-7,75
7	510	-1,33		-8,28		17,22	11,60	-13,04	-10,34
8	560	-2,23				22,23	14,47	-2,0,17	-0,67
9	610	-3,56							

M2C



DESLOCAMENTOS - SÉRIE 2 - ENSAIO ASSIMÉTRICO (mm)													
FASE	CARGA kN/m ²	MEIO DAS ARESTAS (Ai)				LADOS DAS ARESTAS (Lei, Ldi)							
		A1	A2	A3	A4	Lei	L1D	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D
0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	210	0,04	1,45	-0,44	0,06	-0,32	-0,46	1,39	1,15	0,03	-0,63	-1,02	0,77
2	260	0,17	3,18	-1,04	-2,29	0,70	1,36	2,92	2,42	0,05	-2,01	-2,46	-1,77
3	310	0,23	4,95	-1,71	-3,58	-1,10	2,15	4,62	3,80	0,21	-3,09	-3,84	-2,75
4	360	0,51	7,54	-2,79	-5,77	-1,50	3,58	7,15	5,74	0,33	-4,82	-6,06	-4,30
5	410	0,47	9,75	-4,13	-7,95	-1,97	4,59	10,17	8,23	0,57	-6,79	-8,47	
6	460	-0,03	14,27	-8,24	-10,28	-2,74	6,86			0,83	-8,60	-10,68	
7	510	-0,71	17,84	-6,15	-12,57	-3,47				1,26	-9,61	-12,59	
8	560	-1,88	-10,82							0,31			
9	610	-4,70	-14,51							1,18			

M2C



SÉRIE 2 ENSAIO ASSIMÉTRICO

DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (Ai)
E DOS LADOS DAS ARESTAS (Lei, Ldi)

G 3.16

M2C

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
kg/m ²	(kgf)	A01S	A01I	B01S	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I	
210	152	136	-11	1	5	-15	-19	11	7	-17	-7	-3	9	-11	-3	-11	5	-7
260	209	200	-20	11	15	-26	-28	20	19	-26	-7	3	24	-19	11	-17	11	-11
310	271	264	-19	22	32	-30	-30	41	34	-28	-5	15	36	-20	22	-13	17	-1
360	313	328	-32	20	38	-49	-53	49	39	-47	-19	17	38	-28	17	-19	11	-3
410	385	392	-43	30	47	-81	-74	72	49	-49	-30	32	43	-24	15	-15	11	-1
460	401	456	-58	19	51	-136	-106	104	39	-53	-49	47	36	-28	1	-11	0	-3
510	432	520	-60	17	39	-161	-161	159	38	-66	-70	51	28	-22	-9	-1	0	-11
560	545	534	-106	1	45	-138	-343	310	20	-79	-108	47	43	-34	-22	-39	-3	5
610	595	648	-128	-9	37	-136	-455	436	0	-77	-143	168	43	-43	-35	-73	-34	30

valores negativos correspondem a encurtamentos

valores positivos correspondem a alongamentos

***** + valor superior a 9999

carga inicial: 160 kgf/m²

carga 2 + valores acusados por ponte analógica

carga 1 + valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados H.P.

T3.26 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2C

PONTOS DAS VIGAS DE BORDA

M2C

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
kgf/m ²	(kgf)	A05S	A05I	B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I	
210	152	136	15	-9	15	-7	15	1	3	-13	15	-11	15	-13	11	-13	11	-13
260	209	200	30	-17	28	-17	36	7	7	-15	32	-20	30	-13	26	-20	28	-22
310	271	264	45	-13	36	-13	62	19	9	-13	53	-20	45	-13	49	-22	45	-26
360	313	328	47	-24	26	-32	76	19	0	-22	66	-36	51	-20	81	-34	62	-41
410	385	392	51	-24	26	-41	98	39	5	-28	106	-47	85	-22	138	-39	167	-77
460	401	456	43	-36	15	-53	106	36	3	-36	692	-159	384	-58	330	-53	232	-96
510	432	520	45	-43	11	-60	131	39	9	-43	401	-228	553	-81	408	-60	279	-114
560	545	534	104	-64	18	-70	242	79	-3	-30	273	-487	*****	-100	1016	-70	434	-146
610	595	648	155	-81	28	-77	253	81	5	-24	274	-614	*****	-111	*****	-119	584	-198

T3.27 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2C

PONTOS DAS VIGAS CENTRAIS

M2C

CARGA				DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kgf/m ²	(kgf)	2(kg)		A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I
210	152	136		-1	1	-1	-1	1	-7	-3	-1	-3	1	-7	-7	7	-11	0	-1
260	209	200		-5	7	-1	-7	11	-15	-1	3	-5	1	-7	-11	11	-19	1	0
310	271	264		-1	13	5	0	24	-17	1	9	3	5	-5	-9	26	-20	3	5
360	313	328		-3	11	0	-7	28	-32	-5	9	-1	1	-13	-19	34	-39	0	5
410	385	392		-9	19	-1	-11	51	-53	-7	15	0	5	-15	-26	62	-60	5	9
460	401	456		-20	15	-9	-17	119	-102	-26	24	-1	-1	-22	-32	-5	7	0	5
510	432	520		-17	9	-13	-15	159	-133	-45	41	-3	-11	-28	-41	-13	1	-5	-1
560	545	584		-22	0	-1	-1	202	-132	-53	36	11	-5	5	-37	-17	-15	34	-18
610	595	648		-15	-9	15	13	276	-130	-37	17	34	-5	34	-22	-18	-16	66	-35

T3.28 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2C
PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M2C

CARGA				DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kgf/m ²	(kgf)	2(kg)		A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I
210	152	136		5	-5	0	-7	3	-7	-3	-1	-15	9	-13	-13	9	-11	-1	0
260	209	200		5	-3	-5	-11	9	-11	-1	-1	-26	9	-22	-20	19	-17	-1	1
310	271	264		15	1	-3	-9	15	-9	1	3	-32	22	-26	-24	32	-20	3	-5
360	313	328		11	-3	-11	-20	20	-20	-1	-1	-43	22	-39	-38	47	-38	3	0
410	385	392		19	-7	-17	-28	-1	0	-7	-1	-57	39	-49	-43	-11	13	5	-9
460	401	456		17	-11	-28	-38	0	-9	-11	-9	-85	41	-72	-57	-30	24	-1	-24
510	432	520		19	-22	-30	-53	0	-15	-17	-17	-106	49	-77	-51	-34	26	-13	-20
560	545	584		32	-18	-36	-1	32	-34	-15	-3	-102	15	-49	-28	-22	30	-26	-22
610	595	648		35	-1	-30	18	32	-35	-9	1	-117	0	-24	-43	-24	34	-43	-28

T3.29 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2C
PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M2C.

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
kg/m ² (lb/ft ²)	2(kgf)	A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S	A21I	
210	152	130	0	-12	-2	-2	-4	4	-16	-2	0	-8	-4	-4	-8	-4	-10	4
260	209	200	6	-18	2	0	-6	10	-16	0	4	-10	-2	-8	-14	-4	-12	10
310	271	264	10	-22	2	4	-2	20	-16	6	8	-8	0	-8	-14	0	-10	18
360	313	328	14	-30	4	8	-4	22	-28	6	6	-12	-2	-12	-16	-4	-16	22
410	385	392	14	-34	0	18	-6	34	-40	14	-4	-8	-4	-12	-18	-2	-20	34
460	401	456	18	-44	-18	30	-44	20	-68	32	-20	-12	-14	-26	-30	-22	-28	4
510	432	520	16	-46	-10	38	-46	28	-89	42	-22	-6	-14	-28	-30	-18	-24	2
560	545	584	14	-58	-66	12	-38	16	-123	40	-34	2	-12	-34	-24	-16	12	32
610	595	648	4	-42	-139	44	-72	16	-122	0	-8	-16	-12	-32	-44	-2	16	104

T3.30 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2C
PONTOS DOS PAINÉIS

M2C

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
kg/m ² (lb/ft ²)	2(kgf)	A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S	B23I	
210	152	130	-8	0	-2	-10	4	-14	-4	-8	-4	-6	0	-10	-6	-4	-10	-6
260	209	200	-12	6	6	-16	16	-24	2	-14	-6	-10	2	-12	-6	0	-12	-4
310	271	264	-12	10	10	-16	28	-28	8	-16	0	-12	8	-12	-6	6	-16	0
360	313	323	-20	14	18	-24	48	-46	18	-30	-2	-18	10	-14	-6	10	-20	6
410	385	392	-28	18	-32	8	-20	24	-16	-2	-4	-20	10	-14	-6	10	-24	6
460	401	456	-18	10	-40	12	-42	42	-20	4	-12	-18	-2	-28	-24	4	-46	10
510	432	520	-12	10	-38	22	-44	60	-18	-2	-12	-24	2	-22	-24	12	-46	12
560	545	584	-4	-6	-48	28	-52	74	-14	-8	38	-42	22	-28	-44	8	-36	4
610	595	648	-64	-40	-2	-22	-88	54	-80	62	74	-76	42	-44	-62	12	-28	6

T3.31 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2C
PONTOS DOS PAINÉIS

M2C

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
		B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I	
210	152	136	-6	-10	-4	-12	-6	-10	-6	-4	-6	-6	-12	-4	-10	-4	-12	
260	209	200	2	-12	-6	-12	-12	-14	-10	-10	-6	-8	-4	-14	-2	-14	-2	-18
310	271	264	4	-16	-2	-12	-16	-20	-12	-6	-44	0	0	-22	0	-16	2	-20
360	313	320	2	-14	-2	-16	-16	-20	-16	0	-14	6	-2	-22	10	-18	6	-24
410	385	392	8	-22	-4	-16	-14	-28	-18	-2	-16	10	-8	-26	4	-12	-8	-24
460	401	456	4	-28	-8	-18	-24	-32	-20	4	-32	6	-16	-32	-6	-12	-12	-26
510	432	520	2	-24	-16	-16	-2025	-40	1976	4	-38	6	-22	-54	-4	-30	-22	-28
560	545	584	30	-14	-10	-14	-2021	-78	1974	22	-72	40	12	-68	-2	-26	-30	-24
610	595	648	64	-20	-10	-18	-2031	-120	1973	32	-84	64	36	-86	2	-56	-20	-30

T3.32 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2C
PONTOS DOS PAINÉIS

M2C

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I				
210	152	136	-10	-14	-14	2	-20	0	-6	-14	6	-16	-2	-18			
260	209	200	-20	-22	-28	8	-28	12	0	-16	22	-24	4	-28			
310	271	264	-26	-24	-38	16	-34	22	6	-18	36	-34	10	-36			
360	313	320	-30	-32	-50	26	-48	38	18	-22	62	-50	20	-52			
410	385	392	-40	-40	-70	42	-70	52	44	-30	66	-16	-18	-10			
460	401	456	-28	-56	-95	54	-111	85	20	-50	16	2	-81	8			
510	432	520	-32	-72	-117	68	-145	113	10	-54	4	8	-95	2			
560	545	584	4	-107	-107	66	-173	119	32	-72	10	-2	-125	0			
610	595	648	42	-157	-112	82	-251	193	68	-94	34	-30	-149	-8			

T3.33 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)
SÉRIE 2 - MODELO M2C
PONTOS DOS PAINÉIS

3.4 - Série 3: painéis com espessura variável e vigas centrais altas

3.4.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M3A e M3B

Seguindo a orientação de modificar os elementos constituintes da estrutura, para assim podermos observar as suas participações no comportamento geral, e considerando que a ruína de todos os modelos, nos ensaios anteriores, foi sempre ditada pela ruptura das vigas centrais de encrjecimento, uma modificação que se mostrava interessante era a destas vigas, com aumento da altura e uma conveniente alteração de sua armadura. As dimensões dos painéis foram mantidas idênticas às dos modelos da série 2.

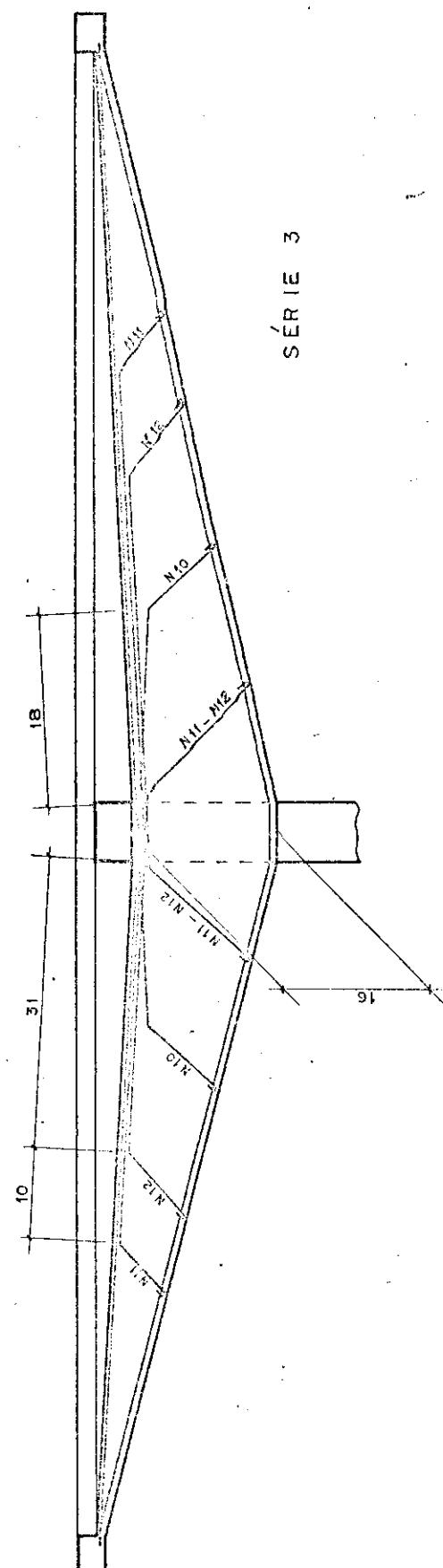
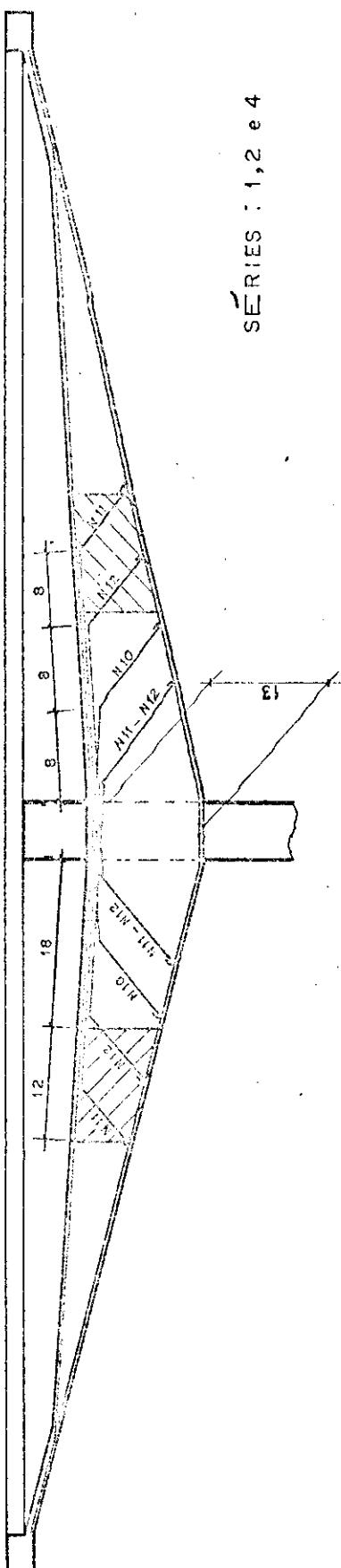
Apresentamos a seguir o desenho D3.12 ilustrando as dimensões e detalhes da armadura das vigas anteriores e das adotadas nos modelos desta série.

Também pudemos observar nos ensaios realizados, que as seções de ruptura destas vigas se localizavam com grande frequência na região assinalada, daí o motivo de termos prolongado algumas barras até ultrapassarem aquela região.

Nesta série construímos apenas dois modelos M3A e M3B para ensaios simétricos, pois que a indicação desejada do comportamento desta estrutura sob solicitação assimétrica já tinha sido obtida e o atual aumento de resistência das vigas centrais só poderia confirmá-la.

Também nesta série a execução da moldagem, cura e ensaio dos modelos seguiu a mesma orientação das séries anteriores.

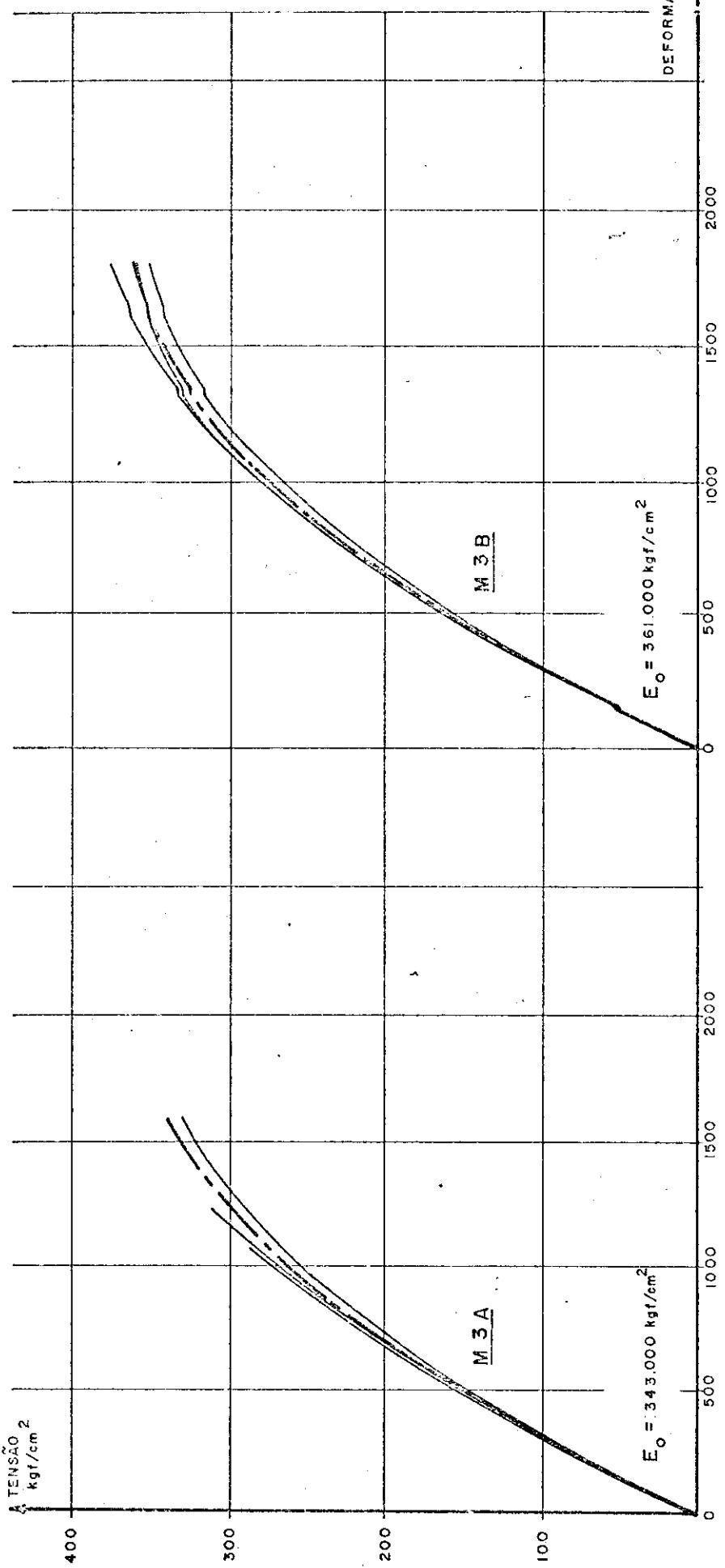
Os modelos M3A e M3B, ambos ensaiados aos 28 dias, acusaram carga de ruptura, respectivamente, de 710 kgf/m^2 e 760 kgf/m^2 . Aqui também esta diferença pode em



D 3.12 - Fôrmas e armaduras das vigas centrais de enrijecimentos . Esc. 1:7,5

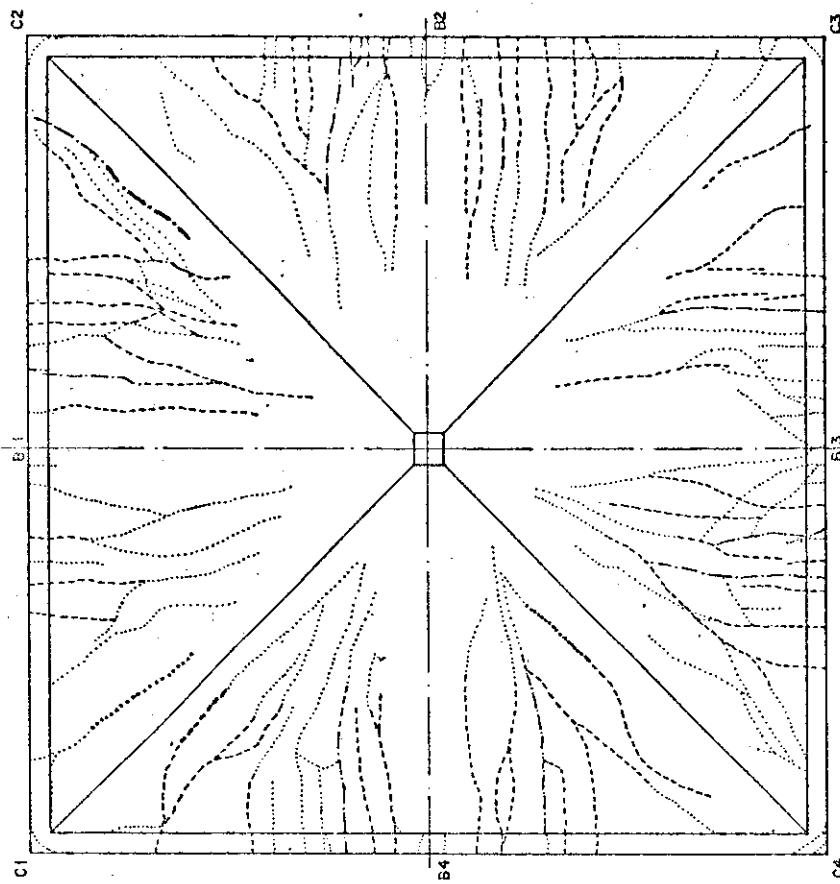
parte ser compreendida pelas diferentes resistências acusadas pelos seus corpos de prova, que ensaiados aos 29 dias apresentaram respectivamente uma resistência média de 308 kgf/cm² e 354 kgf/cm² à compressão e 28 kgf/cm² e 34kgf/cm² à tração.

MODELO	IDADE	σ_{ck} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS 5 x 10	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M 3 A	29	325,9	324,4	291,6	338,7
M 3 A	29	345,0	350,1	392,0	362,9
M 3 B	29	350,0	350,1	392,0	362,9
			356,5	356,5	356,5
MODELO	IDADE	σ_{tsk} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS 5 x 10	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M 3 A	31	24,8	22,9	18,8	24,5
M 3 B	32	35,4	34,4	39,6	35,3
			33,0	33,0	33,0

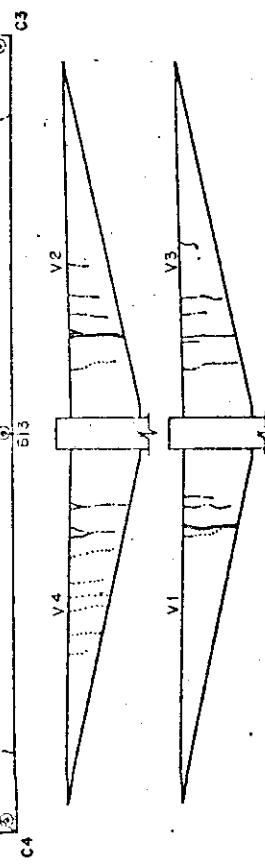
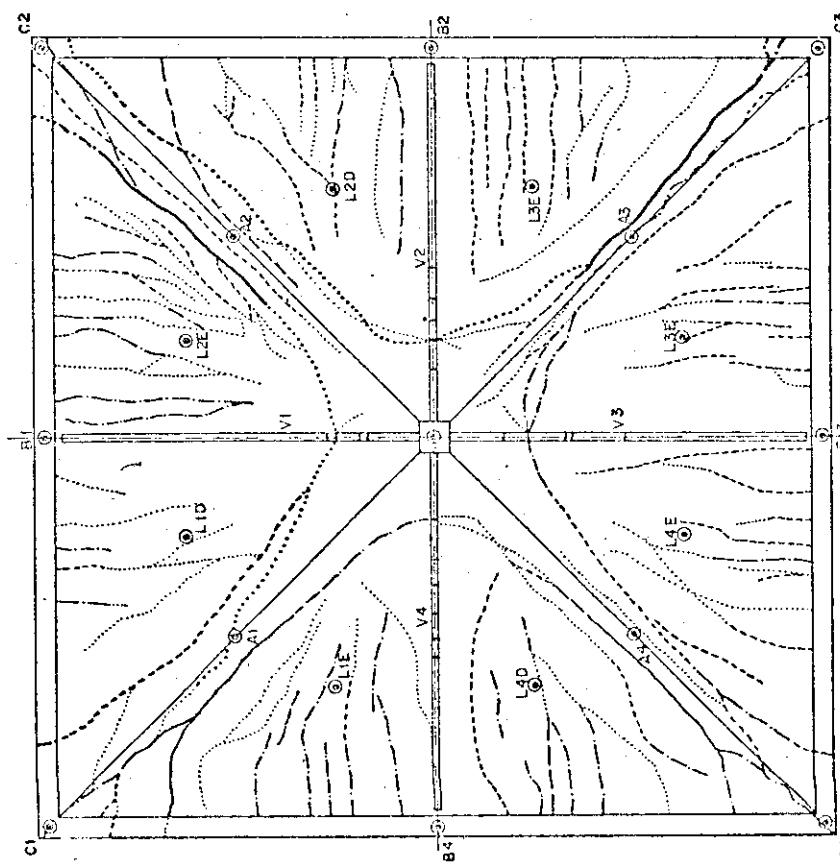


G 3.17 - Características do micro-concreto — Ensaios Simétricos — Série 3

VISTA INFERIOR



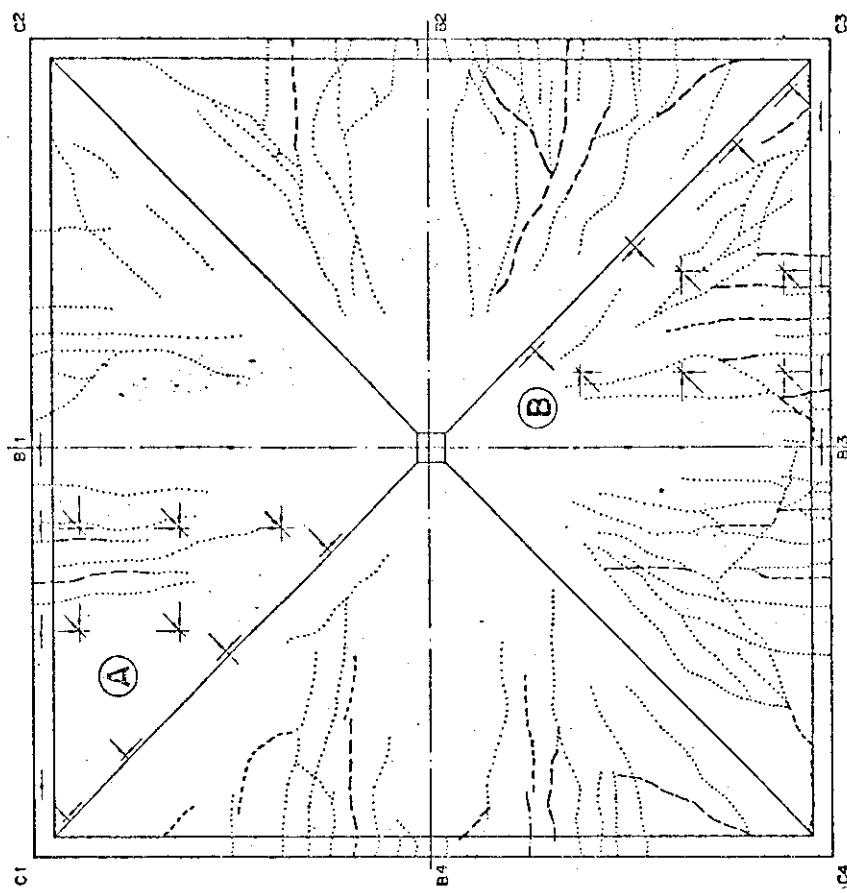
VISTA SUPERIOR



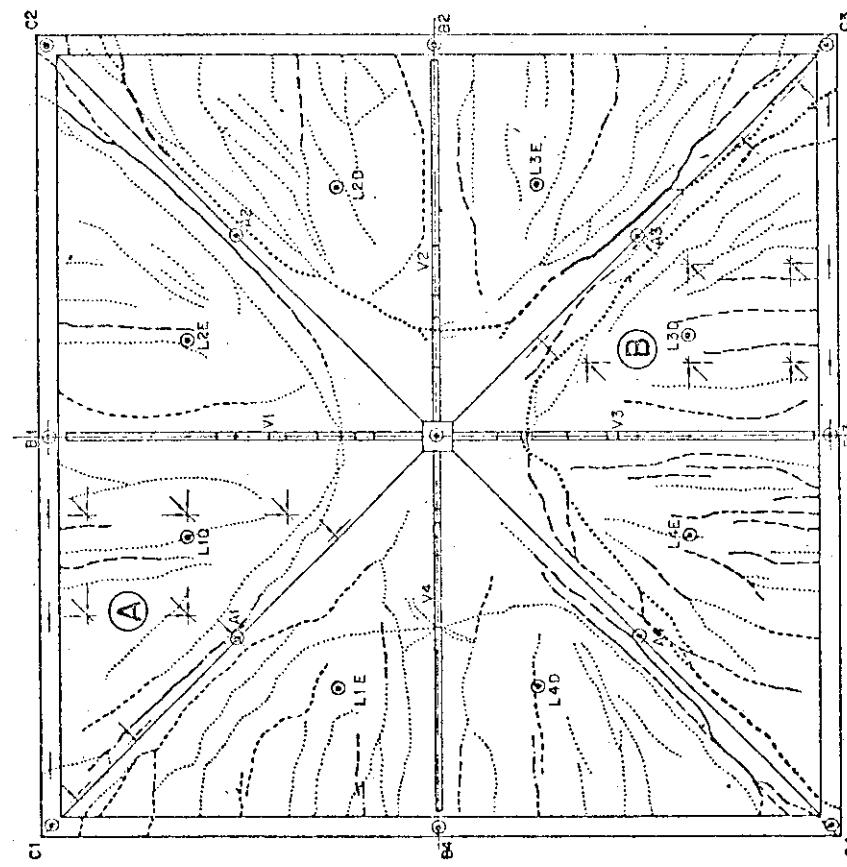
D 3.13

SÉRIE 3 - MODELO M3A
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

VISTA INFERIOR



VISTA SUPERIOR



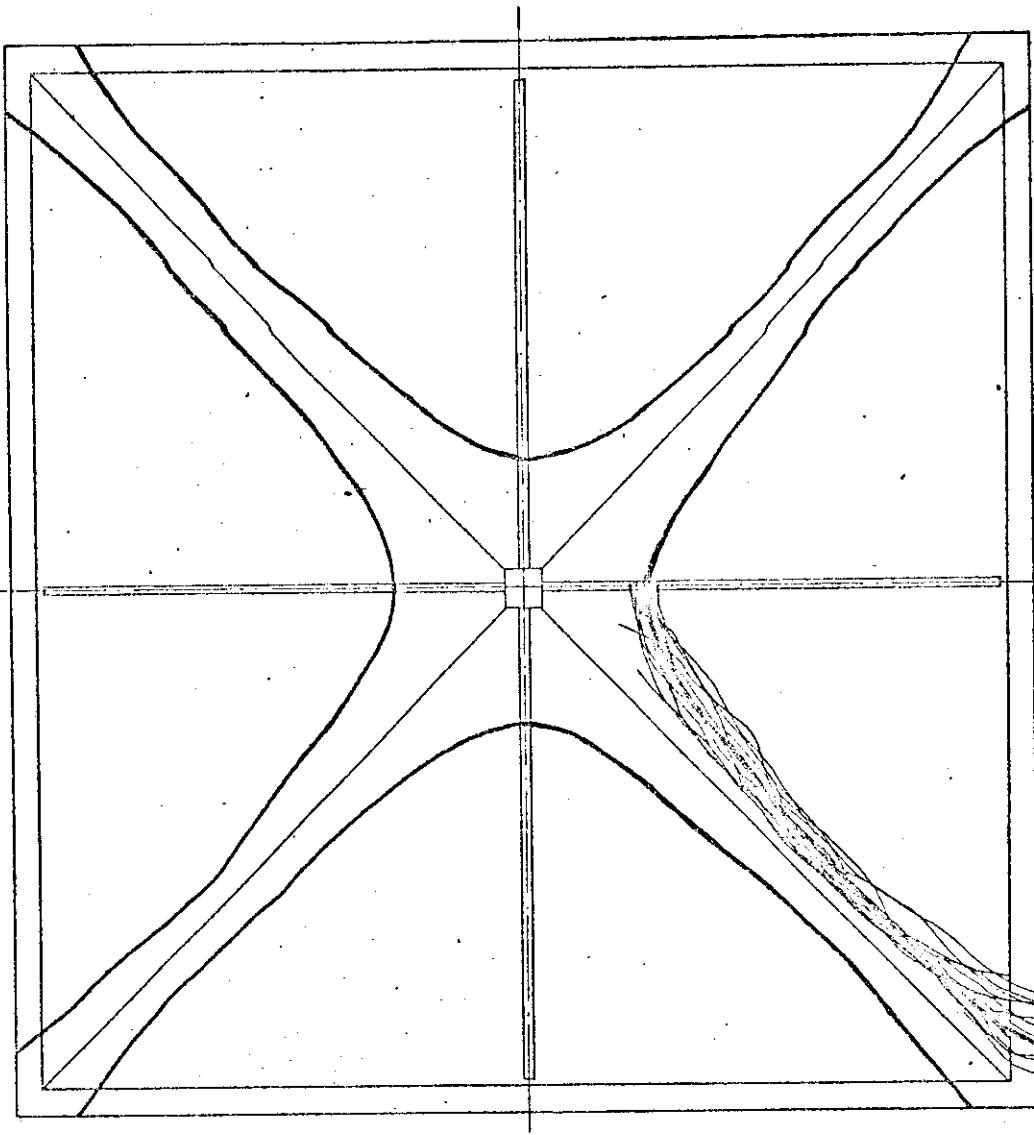
Legenda

—	310 - 360 kgf/m^2
—	360 - 410 kgf/m^2
—	410 - 460 kgf/m^2
—	460 - 510 kgf/m^2
.....	> 510 kgf/m^2

Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura.

Escala 1:10
 $Q_R = 760 \text{ kgf/m}^2$

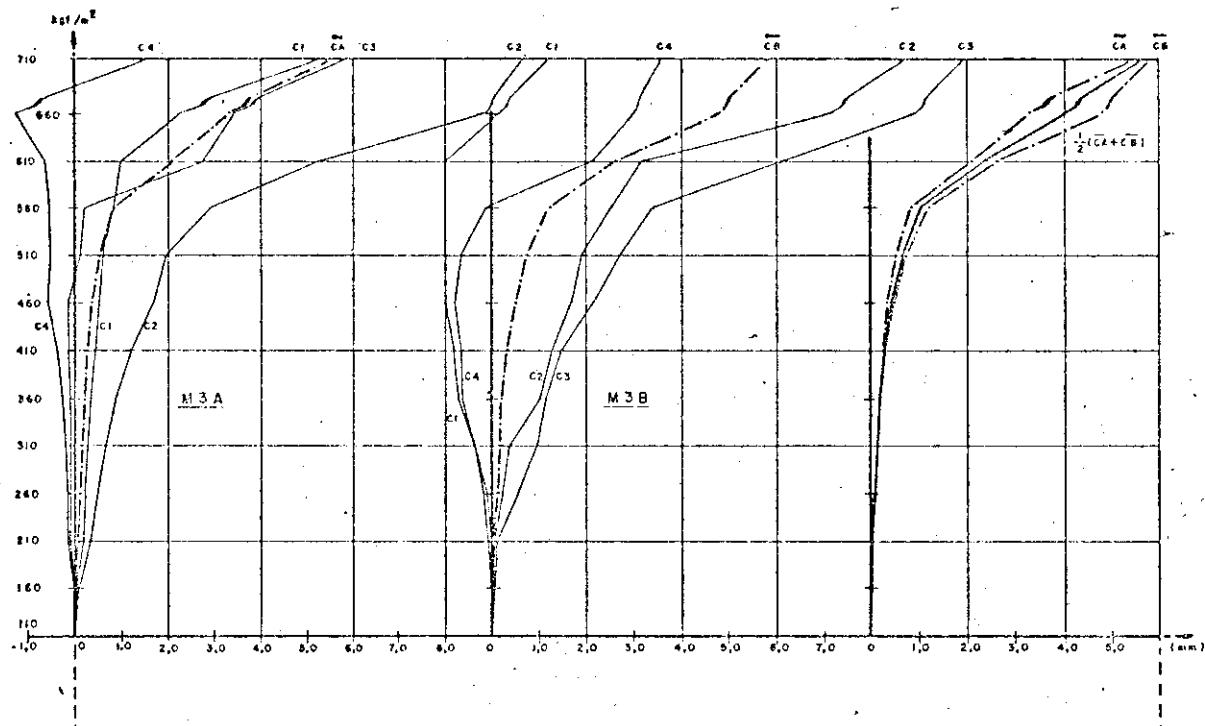
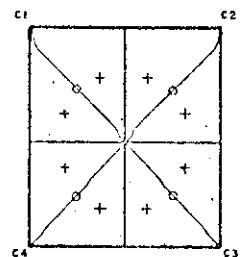
D3.14
SÉRIE 3 - MODELO M3B
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS



$$Q_R = 740 \text{ kgf/m}^2$$

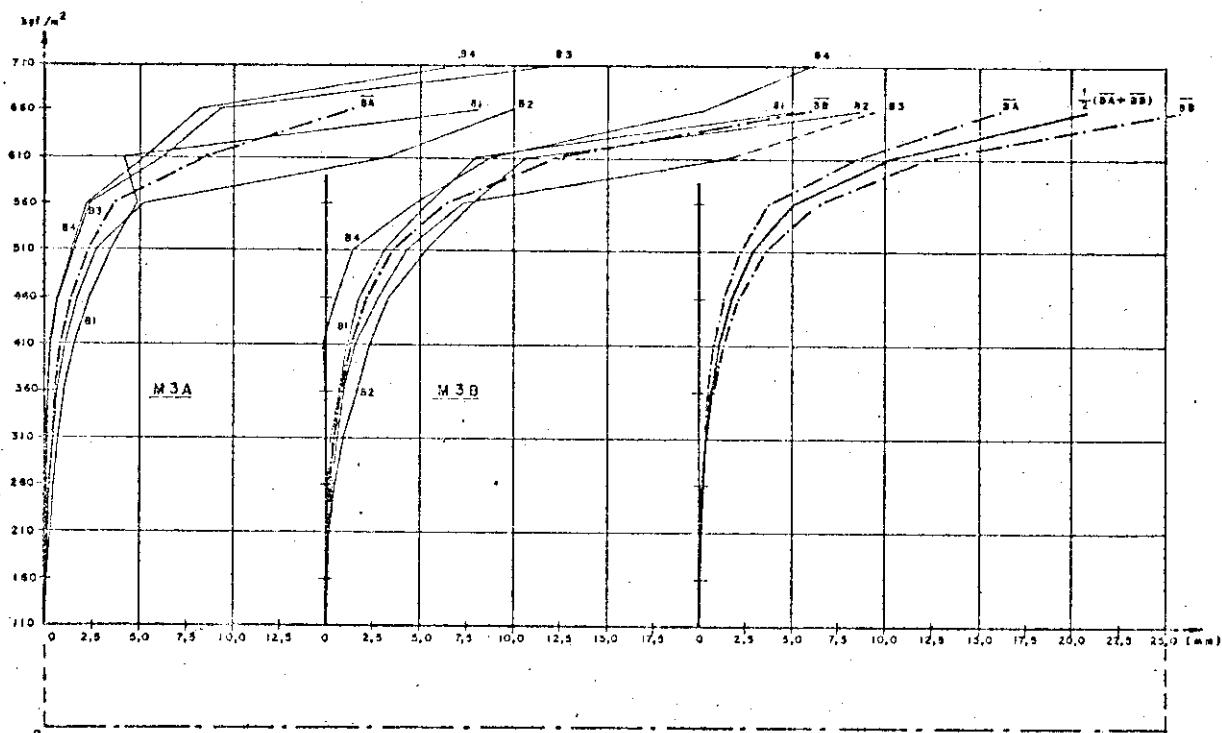
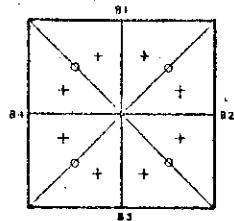
D 3.15
SÉRIE 3 - PROVÁVEL
CONFIGURAÇÃO DE RUPTURA

FASE	CARGA kgf/m	DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (CI) SÉRIE 3 ENS. SIMÉTRICOS (mm)									
		M3A					M3B				
		C1	C2	C3	C4	\bar{C}_A	C1	C2	C3	C4	\bar{C}_B
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0,61	0,13	-0,02	-0,03	0,04	0	-0,01	0,12	0,05	0,04
2	210	0,21	0,36	-0,09	-0,15	0,02	-0,06	0,10	0,15	0,01	0,05
3	260	0,27	0,31	-0,05	-0,15	0,12	-0,17	0,28	0,59	-0,09	0,15
4	310	0,31	0,71	-0,08	-0,20	0,18	-0,31	0,43	1,00	-0,34	0,19
5	360	0,38	0,91	-0,03	-0,26	0,24	-0,69	1,06	1,19	-0,61	0,24
6	410	0,43	1,24	-0,10	-0,39	0,29	-0,81	1,32	1,32	-0,69	0,34
7	460	0,55	1,72	-0,14	-0,59	0,36	-0,99	1,74	2,18	-0,79	0,53
8	510	0,65	1,97	0,13	-0,50	0,16	-0,99	1,95	2,75	-0,63	0,77
9	560	0,87	2,81	0,22	-0,55	0,86	-1,00	3,58	3,44	-0,11	1,22
10	610	1,03	5,28	2,77	-0,65	2,11	-1,00	3,21	6,18	2,17	2,57
11	660	2,29	8,91	3,44	-1,26	3,34	0,20	7,25	9,60	3,06	4,88
12	710	5,29	9,70	5,86	1,54	5,60	1,22	8,78	10,00	3,64	5,91



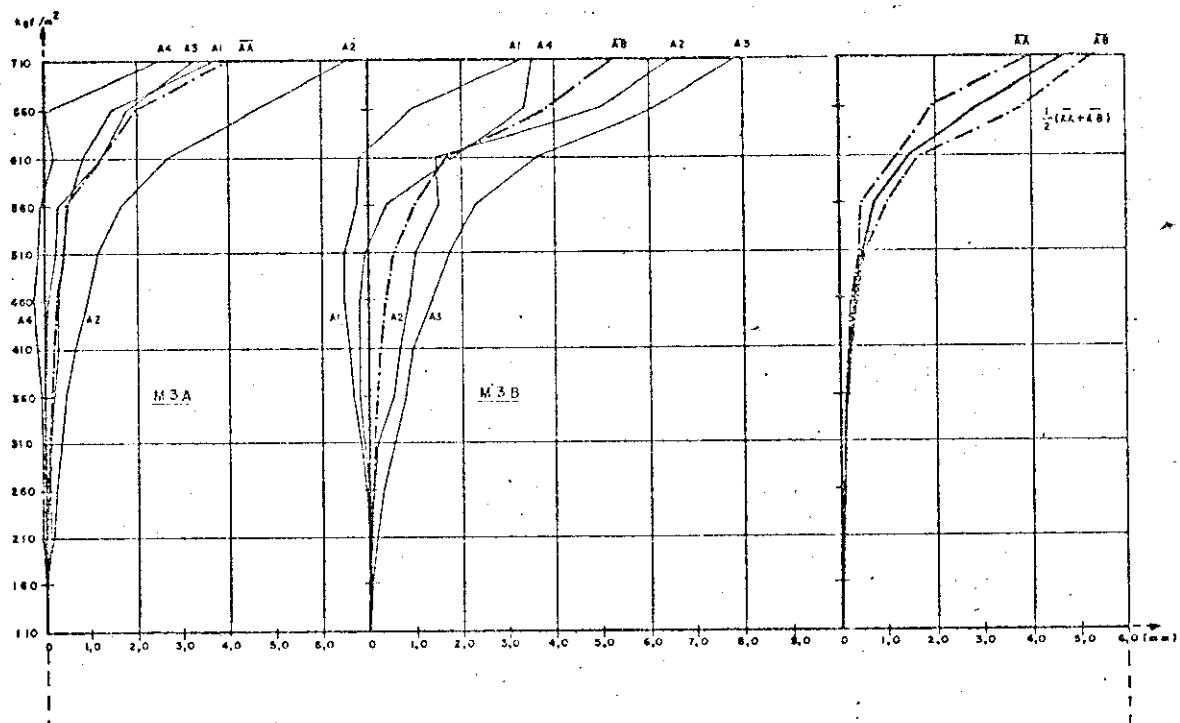
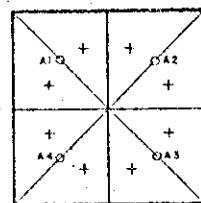
G3.18 SÉRIE 3 ENSAIOS SIMÉTRICOS
DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (CI)

DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1) SÉRIE 3												
FASE	CARGA kg/m^2	M3A					M3B					$\frac{1}{2}(B4 + B8)$
		B1	B2	B3	B4	B8	B1	B2	B3	B4	B8	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0,14	0,10	0,02	0,02	0,06	0,05	0,13	0,13	0,07	0,09	0,09
2	210	0,39	0,22	-0,02	0,11	0,17	0,13	0,32	0,28	0,08	0,20	0,18
3	260	0,54	0,34	0,02	0,17	0,27	0,21	0,57	0,41	0,06	0,31	0,29
4	310	0,74	0,51	0,09	0,23	0,39	0,34	0,99	0,67	-0,03	0,49	0,44
5	360	1,04	0,69	0,20	0,29	0,55	0,78	1,74	1,03	-0,06	0,87	0,71
6	410	1,56	1,12	0,40	0,51	0,85	1,26	2,43	1,65	0,21	1,39	1,12
7	460	2,39	1,77	0,76	0,75	1,42	1,85	3,43	2,07	0,62	2,19	1,83
8	510	3,51	2,75	1,57	1,44	2,32	3,18	5,39	4,36	1,46	3,60	2,95
9	560	4,97	5,17	2,42	2,27	5,71	5,51	7,90	7,33	4,73	8,37	5,04
10	610	4,21	10,34	5,32	5,35	6,06	5,07	10,78	21,64	8,91	12,35	10,46
11	660	23,27	25,01	9,01	8,21	16,35	25,81	29,16	29,51	20,42	26,17	24,27
12	710			27,75	22,65				26,41			



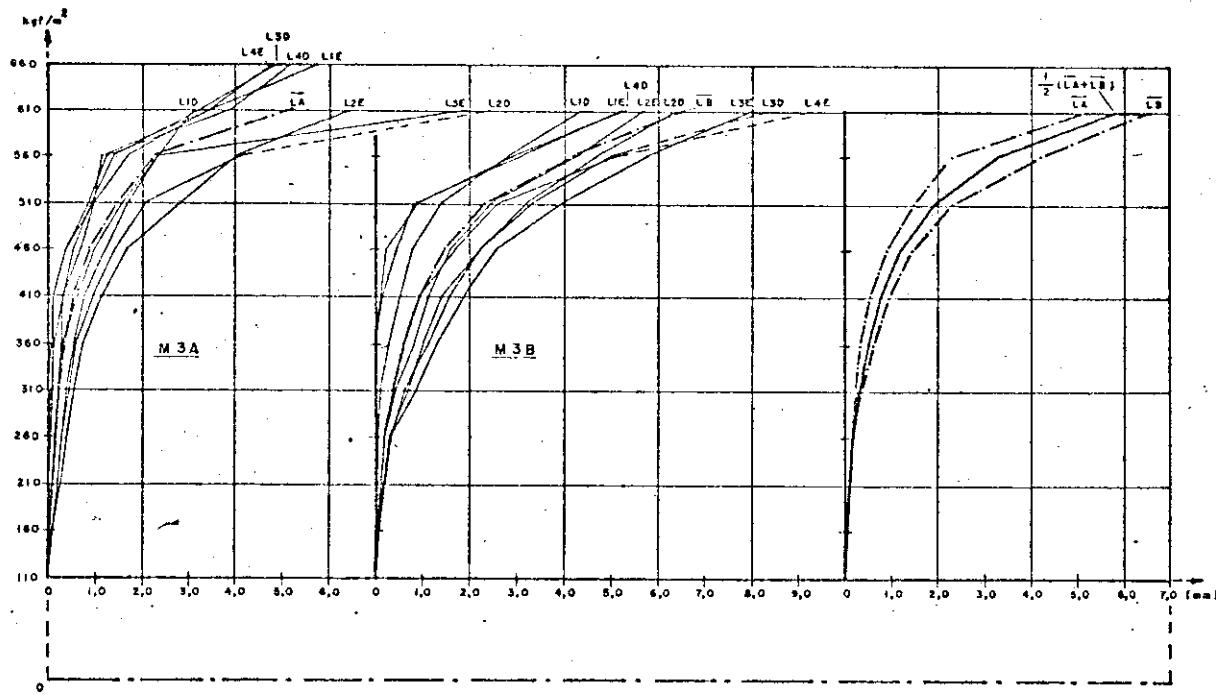
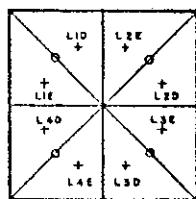
SÉRIE 3 ENSAIOS SIMÉTRICOS
G3.19 DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1)

DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (Ai) SÉRIE 3 (mm)											
FASE	CARGA kgf/m ²	M3A				M3B				$\frac{1}{2}(AA + AB)$	
		A1	A2	A3	A4	AA	A1	A2	A3	A4	AB
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0,01	0,06	0	0	0,02	0,01	0,02	0,08	0,02	0,03
2	210	0,12	0,19	-0,02	-0,07	0,05	-0,02	0,04	0,16	0,02	0,05
3	260	0,11	0,26	-0,07	-0,07	0,07	-0,07	0,15	0,35	-0,02	0,09
4	310	0,14	0,36	0,01	0,08	0,10	0,18	0,21	0,48	0,11	0,13
5	360	0,22	0,47	0,01	-0,10	0,15	-0,33	0,56	0,81	-0,20	0,21
6	410	0,31	0,66	0,04	-0,19	0,20	-0,42	0,70	0,98	-0,18	0,27
7	460	0,31	0,93	0,08	-0,26	0,26	-0,53	0,90	1,38	-0,18	0,39
8	510	0,42	1,16	0,25	-0,14	0,42	-0,53	1,04	1,76	-0,06	0,49
9	560	0,52	1,66	0,30	-0,09	0,47	-0,23	1,53	2,51	0,40	1,00
10	610	0,62	2,66	1,24	0,20	1,23	-0,18	1,48	3,64	1,87	1,70
11	660	1,43	4,56	1,76	0,01	1,94	0,92	4,98	6,15	3,59	3,86
12	710	3,78	6,66	3,32	2,56	4,08	3,40	6,61	7,94	3,58	5,38

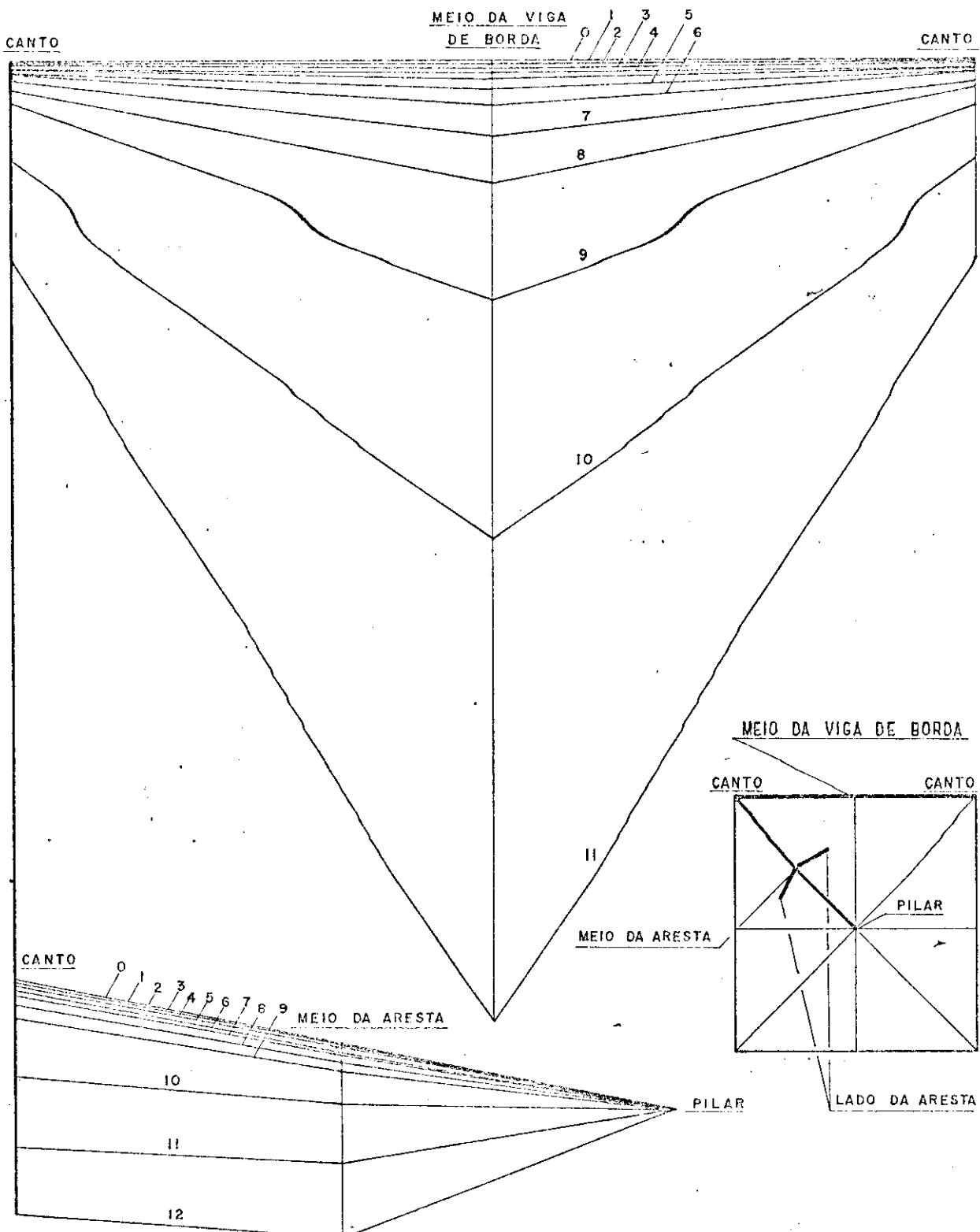


SÉRIE 3 ENSAIOS SIMÉTRICOS
G3.20 DESLOCAMENTOS DOS MEIOS
DAS ARESTAS (Ai)

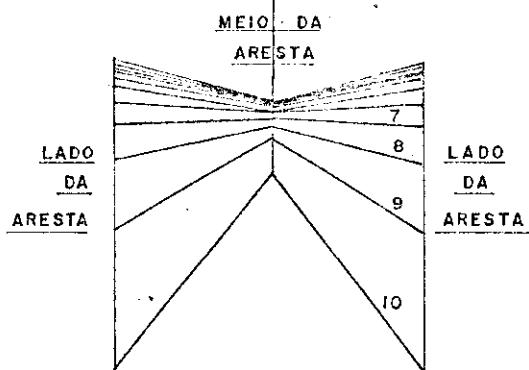
DESLOCAMENTOS DOS LADOS DAS ARESTAS (LEI,LDI) SÉRIE 3 ENSAIOS SIMÉTRICOS (mm)																			
FASE	CARGA kgf/m ²	M3A							M3B							$\frac{1}{2}(L_A+L_B)$			
		LIE	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	L _A	LIE	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	L _B
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0,06	0,10	0,12	0,08	0,04	0,01	0	0,03	0,06	0,00	0,03	0,06	0,07	0,09	0,11	0,08	0,05	0,07
2	210	0,14	0,22	0,30	0,23	0,10	0	0	0,04	0,13	0,09	0,06	0,14	0,18	0,23	0,22	0,14	0,04	0,14
3	260	0,19	0,31	0,42	0,33	0,15	0,03	0	0,07	0,20	0,05	0,08	0,23	0,34	0,32	0,36	0,20	0,04	0,20
4	310	0,24	0,41	0,57	0,47	0,24	0,08	0,02	0,10	0,27	0	0,12	0,44	0,64	0,68	0,72	0,58	-0,02	0,39
5	360	0,30	0,57	0,77	0,62	0,34	0,14	0,07	0,13	0,37	-0,03	0,30	0,84	1,15	1,33	1,03	0,62	-0,02	0,65
6	410	0,34	0,80	1,18	0,99	0,67	0,35	0,13	0,12	0,57	0,16	0,53	1,16	1,52	1,90	1,43	0,96	0,11	0,76
7	460	0,72	1,26	1,70	1,46	1,02	0,57	0,39	0,39	0,94	0,46	0,81	1,62	2,25	2,60	2,25	1,70	0,25	1,49
8	510	1,03	1,72	2,86	2,10	1,60	0,96	0,59	0,88	1,52	0,84	1,47	2,48	3,23	3,97	3,36	2,82	0,91	2,33
9	560	1,71	2,39	4,08	4,19	2,41	1,42	1,18	1,28	2,83	3,13	2,84	4,32	4,76	5,83	5,04	5,18	2,93	4,73
10	610	3,32	3,15	6,54	6,53	6,94	5,29	5,50	5,99	6,30	6,24	4,43	5,78	6,48	8,07	8,44	9,34	8,33	6,65
11	660	3,91				5,01	4,87	5,31											



G3.21 SÉRIE 3 ENSAIOS SIMÉTRICOS
DESLOCAMENTOS DOS LADOS
DAS ARESTAS (LEI,LDI)



ESCALA - 1:0,15



D 3.16

SÉRIE 3

EVOLUÇÃO DAS DEFORMADAS

M3B

CARGA			DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kN/m ²	(kN)	(kgf)	A01S	A01I	B01S	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I
160	106	125	-1	-7	9	-7	0	-15	-1	-1	5	3	3	0	15	-6	4	3
111																2	7	0
210	236	253	17	-3	19	-7	3	13	9	11	3	1	22	4	19	8	9	9
241																8	3	11
260	365	381	17	-1	24	-15	9	17	9	15	-3	30	-4	27	16	-9	17	9
376																7	20	15
310	484	509	32	-9	36	-20	7	26	0	32	3	32	-4	48	19	17	36	17
495																9	28	9
360	619	637	55	-24	49	-39	-3	51	-5	39	-18	64	-23	67	2	32	22	32
614																0	34	20
410	816	765	104	-17	89	-37	11	87	7	72	-17	129	-27	120	2	85	15	85
811																2	81	15
460	935	893	168	-21	105	-57	179	61	19	80	-45	118	-63	161	0	175	-1	137
940																0	171	141
510	1060	1021	161	-34	119	-47	22	93	18	85	-75	74	-52	204	-10	132	-43	915
1060																-10	131	-41
560	1188	1149	109	0	115	-60	-160	152	16	86	-86	73	-27	333	-48	35	50	1660
1188																35	50	1659
610	1298	1277	76	-7	60	-101	-350	202	5	99	-71	71	-117	852	-70	-63	-30	*****
1298																-70	-65	-28
660	1476	1405	114	-16	46	519	-350	215	-7	155	50	61	53	179	-76	862	****	1108
1477																231	-78	1108
710	1604	1533	80	-5	52	605	-463	250	-1	175	136	57	724	985	-132	1758	****	*****
1604																1056	-132	1904
110	119	0	-9	0	18	618	-615	204	26	50	74	27	359	329	-254	453	*****	*****

Valores negativos correspondem a encurtamentos
valores positivos correspondem a alongamentos

***** → valor superior a 9999

carga inicial: 110 kgf/m²

carga 2 → valores acusados por ponte analógica

carga 1 → valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados H.P.

T3.34 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 3 - MODELO M3B

PONTOS DAS VIGAS DE BORDA

M3B

CARGA			DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kN/m ²	(kN)	(kgf)	A05S	A05I	B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I
160	106	125	21	0	16	-4	9	12	18	-3	17	-9	20	-4	19	-9	19	-4
111			10	-4	16	-8	13	0	19	-3	15	-7	19	-4	17	-11	17	-16
210	236	253	37	-6	37	-12	30	16	38	-9	30	-11	36	-10	32	-19	32	-18
241			35	-10	35	-12	32	16	40	-9	30	-13	36	-8	32	-17	30	-16
260	365	381	52	-8	50	-14	47	23	65	-17	43	-20	51	-19	47	-34	49	-35
376			52	-10	52	-14	43	23	67	-15	45	-19	53	-18	53	-26	47	-31
310	484	509	75	-10	71	-21	43	35	116	-22	62	-20	64	-25	178	-37	66	-42
495			69	-14	65	-23	39	33	113	-30	62	-34	58	-33	163	-43	56	-44
360	619	637	75	-14	71	-25	45	37	135	-30	311	-30	60	-35	254	-100	66	-65
614			76	-16	71	-27	47	37	143	-34	315	-28	60	-31	254	-98	62	-63
410	816	765	94	8	90	-12	83	56	183	-36	461	-13	491	-31	307	-112	106	-65
811			94	8	90	-12	81	57	185	-34	461	-15	493	-31	307	-112	106	-65
460	935	893	54	-8	79	-23	105	77	505	-68	809	0	700	-37	506	-152	108	-180
940			50	-8	73	-21	105	79	505	-68	811	-3	700	-39	507	-150	106	-180
510	1060	1021	103	-2	73	-31	913	92	639	-68	1035	-64	774	-46	807	-207	64	-291
1060			105	0	75	-33	917	92	637	-68	1036	-64	776	-48	803	-207	64	-293
560	1188	1149	102	-12	70	-20	1055	112	578	-84	1996	-177	898	-57	528	-324	45	-418
1188			104	-10	72	-24	1055	110	578	-84	1999	-177	900	-57	528	-324	47	-418
610	1298	1277	265	4	23	6	1065	107	391	-63	*****	-150	744	-51	287	-420	22	-1770
1298			263	4	23	6	1063	107	393	-63	*****	-151	746	-53	287	-418	20	-1770
660	1476	1405	195	-94	17	32	811	94	392	-61	*****	-142	750	-47	153	-2087	20	-2193
1477			195	-94	21	34	813	96	398	-61	*****	-142	755	-51	151	-2109	22	-2219
710	1604	1533	225	-88	15	40	824	88	406	-54	*****	-175	754	-51	194	-2438	24	-2454
1604			223	-88	14	42	818	86	408	-54	*****	-175	758	-51	194	-2483	22	-2482
110	119	0	212	97	-106	129	53	-47	-15	105	*****	-52	-13	39	-269	-1674	7	-1578

T3.35 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 3 - MODELO M3B

PONTOS DAS VIGAS CENTRAIS

M3B

CARGA kg/m ²	(kg)	(kg)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																	
			A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I		
160	106	125	8	-4	3	5	10	-10	0	2	10	-8	-1	0	8	-3	-3	-2		
111			6						-1						12	-9	-5	0		
210	236	253	18	-2	1	11	18	-2	0	6	25	-10	0	0	23	-7	0	0		
241			14						-3	8	25	-12	3	0	21	-13	-1	0		
260	365	381	25	-16	-3	0	16	-10	-7	8	33	-21	0	0	33	-17	-1	-2		
376			23						-3	12	38	-21	0	0	37	-15	-3	4		
310	484	509	38	-10	-1	26	42	-4	-3	18	63	-27	1	2	33	-3	3	6		
495			38						-9	18	59	-33	0		31	-7	0	6		
360	619	637	122	-63	-18	56	63	-6	-13	27	99	-219	-11	19	190	-41	3	12		
614			122						-15	27	97	-223	-11	19	192	-41	3	8		
410	816	765	846	-56	-7	87	84	23	-11	59	90	-287	-1	35	595	-49	62	31		
811			851						-11	61	88	-287	-1	37	595	-49	66	27		
460	935	893	1532	-69	-68	80	107	65	-45	86	*****	-396	-66	18	747	-36	21	54		
940			1534						-47	88	*****	-392	-64	16	749	-38	21	56		
510	1060	1021	2245	-86	-62	140	137	44	-41	158	*****	-483	-17	0	760	-75	56	107		
1060			2245						-43	156	*****	-483	-17	0	758	-74	55	105		
560	1188	1149	2722	-106	-1	177	99	10	-28	186	40	-474	20	125	718	-92	83	99		
1188			2720						-3	179	99	12	-26	189	40	-474	20	125	716	
610	1298	1277	2635	-89	-31	221	130	0	-16	235	70	-576	52	190	710	-131	121	104		
1293			2633						-31	223	130	0	-16	237	70	-576	54	192	710	
660	1476	1405	1572	-79	-106	240	55	47	-78	186	*****	-1424	-67	379	*****	-765	-123	207		
1477			1555						-77	-108	236	57	47	-80	192	*****	-1443	-67	394	*****
710	1604	1533	1458	-92	-99	257	62	19	-95	202	*****	-1561	-61	533	*****	-791	-117	262		
1604			1450						-90	-100	256	64	17	-99	206	*****	-1564	-67	563	*****
110	119	0	1188	-75	44	204	25	-43	-18	138	51	-1223	89	452	*****	-483	48	183		

T3.36 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 3 - MODELO M3B
PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M3B

CARGA kg/m ²	(kg)	(kg)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
			A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I
160	106	125	15	-5	0	-3	13	-6	0	0	0	7	-4	4	2	-9	-1	
111			15	-5	0	-3	11	-14	-8	2	-2	3	-5	0	-2	-11	-9	
210	236	253	34	-11	-3	-5	24	-18	0	0	8	5	-10	5	4	-19	-9	
241			32	-13	-1	-1	28	-19	-4	-2	10	5	-8	-1	8	2	-17	-7
260	365	381	57	-24	-9	-9	36	-25	-14	-14	8	3	-16	-11	8	6	-28	-13
376			55	-22	-7	-7	39	-27	-4	-6	8	3	-12	-13	8	6	-22	-13
310	484	509	1234	-155	-9	-13	9	14	-19	4	18	9	-16	-17	23	0	-26	-20
495			1234	-153	-9	-13	9	8	-21	4	19	5	-16	-15	25	0	-26	-18
360	619	637	2987	-292	-30	-9	11	10	-27	0	37	-7	-21	-18	35	2	-32	-28
614			2993	-294	-32	-11	13	10	-27	0	35	-9	-23	-20	35	0	-32	-28
410	816	765	3831	-360	-24	-1	36	18	-19	14	90	-18	-10	-17	57	12	-24	-30
811			3831	-360	-20	0	37	19	-19	12	88	-20	-12	-15	57	10	-26	-30
460	935	893	4964	-458	-19	-114	19	37	-25	-29	113	22	-88	-24	67	-4	-17	-26
940			4964	-458	-21	-112	17	37	-27	-29	115	24	-86	-26	67	-6	-17	-26
510	1060	1021	****	-450	-32	3	****	-361	-16	-10	90	-17	-27	-45	105	-8	-53	-56
1060			****	-450	-32	1	****	-363	-18	-8	88	-17	-27	-43	105	-8	-53	-58
560	1188	1149	****	-466	-9	117	****	-593	-23	31	70	-56	29	-84	93	21	-88	-100
1188			****	-466	-9	115	****	-595	-23	31	70	-56	29	-83	91	21	-88	-100
610	1298	1277	****	-559	-37	240	****	-862	-30	64	42	-86	92	-106	53	62	-110	-200
1298			****	-559	-37	242	****	-862	-29	64	40	-84	92	-106	53	64	-108	-200
660	1476	1405	****	-678	-9	264	****	-914	-70	100	12	-54	107	-206	79	57	-114	-303
1477			****	-678	-9	264	****	-914	-72	107	12	-56	107	-208	77	55	-108	-313
710	1604	1533	****	-659	-26	369	****	-942	-86	105	-2	-72	137	-289	55	60	-108	-422
1604			****	-652	-24	356	****	-935	-90	111	-2	-72	137	-295	53	62	-106	-437
110	119	0	****	-380	46	488	****	-710	13	155	-54	-130	320	-122	2	73	-20	-217

T3.37 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 3 - MODELO M3B
PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M3B

CARGA

				DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
				A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S	A21I	
160	106	125	0	-6	1	-9	3	1	-3	-3	-7	1	10	4	-2	5	5	0	-4	
	111															-3	9	3	-4	
210	236	253	0	-4	3	1	15	1	15	-1	3	7	14	6	2	9	5	-4	15	
	241															3	15	4	2	
260	365	381	-2	-4	-5	1	3	15	1	19	-5	1	9	20	4	11	3	-8	17	
	376										-3	-7	3	20	2	13	7	-8	17	
310	484	509	4	0	-3	9	23	-3	29	13	-7	17	20	-4	33	-9	10	3	22	
	495														25	-13	4	5	16	
360	619	637	0	-2	-1	9	25	1	39	7	-7	19	30	6	43	-17	12	-15	48	
	614														41	-19	10	-11	50	
410	816	765	6	6	27	19	57	15	61	11	17	27	54	20	73	-9	24	-3	76	
	811														29	54	24	-3	74	
460	935	893	16	12	64	64	98	13	104	33	70	31	83	18	64	-17	40	-66	61	
	940														93	18	62	-17	40	
510	1060	1021	-34	-32	65	11	100	13	75	-17	73	11	95	-16	71	-1	8	1	78	
	1060														95	-16	69	-3	6	
560	1188	1149	-76	-74	69	-43	101	23	55	-63	63	5	98	-38	75	13	-14	65	114	
	1188														5	-38	73	13	-12	
610	1293	1277	-114	-112	67	-99	89	3	21	-93	-19	-17	-41	94	-232	293	33	-66	141	
	1298														297	31	-64	137	120	
660	1476	1405	-219	-227	16	-196	122	-64	50	-108	16	-80	169	-315	728	-48	471	4930	937	
	1477														18	-104	173	-315	5178	849
710	1604	1533	-286	-296	32	-261	216	-50	16	-108	2	-84	149	-356	851	-194	*****	9978	609	
	1604														865	-198	*****	*****	563	
110	119	0	-283	36	-313	123	-36	-90	-193	24	-115	81	-299	519	-98	*****	8399	326		

T3.38

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 3 - MODELO M3B
PONTOS DOS PAINÉIS

M3B

CARGA

				DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
				A22S	A22I	B20S	B20I	S21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S	B23I
160	106	125	3	3	2	-2	1	6	0	-3	3	-4	3	2	1	4	3	2	1
	111		-3	3	2	-2	1	6	0	-3	3	-4	3	2	1	4	5	6	1
210	236	253	3	5	1	6	0	9	6	1	7	-2	5	6	1	6	9	0	3
	241															11	2	1	
260	365	381	1	3	5	4	-8	13	11	-2	-5	5	-10	-5	4	8	9	0	-1
	376														11	-6	8	11	-1
310	484	509	-9	-13	19	-16	24	-15	50	-25	41	-8	11	16	5	14	19	8	5
	495														10	3	12	33	39
360	619	637	-27	-29	37	-18	26	-17	58	-31	47	-16	15	22	5	16	29	-2	11
	614														15	22	3	16	29
410	816	765	-19	-21	61	-2	38	-3	80	-23	69	-14	37	10	9	-14	33	-2	39
	811														8	9	12	33	39
460	935	893	9	9	78	38	36	9	103	-7	88	-120	98	8	17	6	45	-36	76
	940														10	17	6	47	-38
510	1060	1021	-33	-33	86	-38	50	-35	123	-59	130	-83	84	16	17	-36	67	-22	108
	1060														18	15	-36	69	-24
560	1188	1149	-77	-75	109	-66	32	-35	86	-83	151	-102	210	8	73	-80	228	-34	232
	1188														8	75	-82	228	-32
610	1293	1277	-121	-121	119	-156	36	77	102	-67	151	-44	311	-16	119	-112	429	16	197
	1298														119	-112	429	14	197
660	1476	1405	4704	3203	-237	85	84	155	-10	92	95	146	-7	120	-265	480	-57	262	
	1477		4914	3439	-241	89	84	151	-10	88	95	148	-5	118	-267	482	-39	244	
710	1604	1533	8986	7763	-372	107	72	131	-20	50	137	122	-5	120	-292	496	-13	257	
	1604		9203	8134	-372	107	70	129	-20	48	131	128	-5	122	-292	495	-11	253	
110	119	0	7448	6068	-277	47	82	-39	-38	56	267	-50	-83	127	-233	268	65	159	

T3.39

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 3 - MODELO M3B
PONTOS DOS PAINÉIS.

M3B

CARGA kg/m ² (1(kg))	2(kg))	DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)																
		B24S	B24I	B29S	B29I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I	
160	106	3	4	7	7	0	0	0	9	4	6	-1	8	-5	6	-66	7	
111	125	9	2	7	7	-2	2	0	9	4	6	-1	4	-5	8	-4	15	
210	236	9	2	5	7	-2	-4	-4	11	2	8	-1	4	-5	8	-4	15	
241	253	15	2	5	11	-4	-2	-4	13	2	10	-1	4	-5	8	-4	15	
260	365	11	2	3	13	-8	-8	-4	15	0	14	-3	4	-7	12	-8	17	
376	381	13	4	7	17	-4	-6	-4	15	0	14	-3	4	-7	12	-16	17	
310	484	35	4	5	25	-8	-6	-8	21	4	16	-9	12	-15	16	-16	25	
495	509	29	2	3	27	-6	-8	-8	19	4	16	-11	12	-13	18	-16	25	
360	619	37	10	3	37	-12	-4	-16	29	-2	18	-13	12	-21	22	-22	33	
614	637	35	8	1	37	-14	-4	-16	25	-4	18	-13	12	-21	22	-22	35	
410	816	55	32	11	71	0	6	-6	47	4	40	-1	26	-13	40	-24	55	
811	765	57	30	13	73	0	6	-6	45	2	40	-1	24	-15	36	-24	57	
460	935	7	12	1	64	20	75	-16	55	32	61	-21	36	15	63	-24	100	
993	993	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
510	1060	65	32	-21	71	4	-8	2	63	18	58	-13	38	-29	76	-36	86	
1060	1021	61	34	-23	71	6	-10	2	65	16	60	-11	40	-29	70	-36	80	
560	1188	95	44	-49	69	-22	-78	-6	59	-36	48	-3	20	-71	70	-74	91	
1188	1149	95	44	-49	71	-22	-80	-8	57	-32	50	-3	20	-69	72	-74	89	
610	1298	89	62	-105	109	-60	-166	-12	69	-66	46	41	-28	-99	60	-82	55	
1298	1277	91	52	-107	109	-48	-166	-10	69	-68	46	41	-26	-97	58	-80	59	
660	1476	90	119	-94	94	-117	-161	-95	152	-131	115	0	25	-108	75	-53	32	
1477	1405	136	97	-108	104	-111	-161	-97	154	-131	115	2	37	-142	89	-61	30	
710	1604	124	97	-124	104	-119	-237	-101	164	-163	121	14	33	-140	77	-65	22	
1604	1533	162	93	-126	108	-117	-239	-99	164	-165	121	14	31	-140	81	-65	22	
110	119	0	149	116	-135	58	-73	-309	-37	92	-194	61	60	-7	-151	37	-55	-38

T3.40 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)
SÉRIE 3 - MODELO M3B
PONTOS DOS PAINEIS

M3B

CARGA kg/m ² (1(kg))	2(kg))	DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)															
		A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I	B3II	B3II	B3II	B3II
160	106	1	-7	-1	-18	1	5	2	0	-2	-2	-11	-3	5			
111	125	5	-7	3	4	3	5	0	-2	-2	-5	-1	3				
210	236	1	-9	5	4	1	9	-2	-6	2	7	-1	9				
241	253	3	-11	5	4	1	9	-2	-6	2	7	-3	9				
260	365	3	-17	9	6	1	11	-2	-12	2	11	-5	13				
376	381	1	-17	7	2	3	11	-4	-12	-2	11	-5	13				
310	484	1	-31	11	6	3	15	-4	-18	-14	23	-11	19				
495	509	3	-25	11	4	5	15	-4	-16	-14	27	-11	19				
360	619	25	-51	25	0	3	23	-4	-26	-16	31	-15	23				
614	637	23	-51	27	0	5	21	-4	-26	-18	29	-15	23				
410	816	43	-47	31	20	9	39	10	-26	-10	45	-17	41				
811	765	41	-49	31	20	9	39	12	-28	-8	43	-17	43				
460	935	21	-23	-43	59	-35	60	24	-50	0	66	-11	82				
940	893	21	-25	-41	61	-35	60	22	-54	0	64	-11	82				
510	1060	67	-64	29	18	-19	63	54	-64	-22	63	-63	77				
1060	1021	65	-81	29	20	-17	63	54	-66	-24	63	-63	81				
560	1188	151	-154	81	12	-31	105	100	-110	-60	73	-107	95				
1168	1149	151	-151	81	14	-33	107	100	-110	-60	73	-107	97				
610	1298	233	-163	123	50	25	125	188	-158	76	-53	-165	169				
1298	1277	231	-165	119	50	25	125	190	-156	76	-53	-165	171				
660	1476	220	-198	58	85	-20	138	153	-147	-15	0	-190	154				
1477	1405	218	-200	52	87	-22	138	155	-157	-3	-14	-176	152				
710	1604	263	-242	94	73	-36	158	187	-191	-19	-30	-214	156				
1604	1533	265	-244	92	73	-42	162	189	-191	-17	-32	-214	160				
110	119	0	230	-145	236	-47	-10	119	83	0	-17	-58	-201	62			

T3.41 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)
SÉRIE 3 + MODELO M3B
PONTOS DOS PAINEIS

3.5 - Série 4: painéis com espessura variável e vigas de borda protendidas

Após a construção dos modelos das séries 1, 2. e 3 e a realização dos ensaios das duas primeiras séries, com desenvolvimentos totalmente regulares e fornecendo resultados que inspiravam grande confiança pela coerência das cargas de ruptura e pela simetria e repetição da formação das charneiras, já concluímos ter atingido uma técnica construtiva e de realização de ensaios definitiva. Daí para a frente, a continuação do trabalho se prendeu em vasculhar ainda mais o comportamento da estrutura em estudo, procurando quando possível explorar aspectos que representassem um enriquecimento para aquela técnica.

Uma vez que os painéis planos e as vigas centrais já tinham sido objetos de modificações, pensamos, nesta quarta série, em alterar as características das vigas de borda. Diminuir as suas dimensões, já mínimas, resultaria em sua supressão, o que poderia determinar o aparecimento de flechas indesejáveis e não apresentava interesse nem econômico e nem arquitetônico. Um seu enrijecimento já se mostrava mais conveniente, pois, embora as flechas centrais acusassem valores razoáveis para as cargas de serviço, poderia melhorar as condições de trabalho das vigas centrais, que como já vimos é o elemento que determina a ruína da estrutura. As vigas de borda passariam a representar um apoio menos recalcável para as vigas centrais.

O aumento de rigidez conseguido pelo aumento de sua altura iria prejudicar o aspecto de grande esbeltez da estrutura. Assim a solução que se mostrou mais interessante foi o uso da protensão, que atendia também o outro propósito de enriquecimento da nossa técnica.

A protensão de cada viga foi conseguida pelo estiramento de um fio de 3mm introduzido dentro de um duto deixado no interior da viga por ocasião da moldagem. A ob-

tenção deste duto está descrita em 2.5. Tinha a forma poligonal, com excentricidade constante no terço médio da viga e terminando a meia altura da viga nas seções de extremidade. O estiramento dos fios foi executado por dispositivos análogos aos usados na protensão de fixação do modelo e que é descrito em 2.7.1. A cada viga foi aplicada uma protensão de 800 kgf - 20.000 kgf no protótipo - executada em quatro etapas e sempre pela extremidade oposta àquela em que instalávamos o dinamômetro de controle da carga, para que este ficasse isolado da perturbação provocada pelo acionamento do macaco.

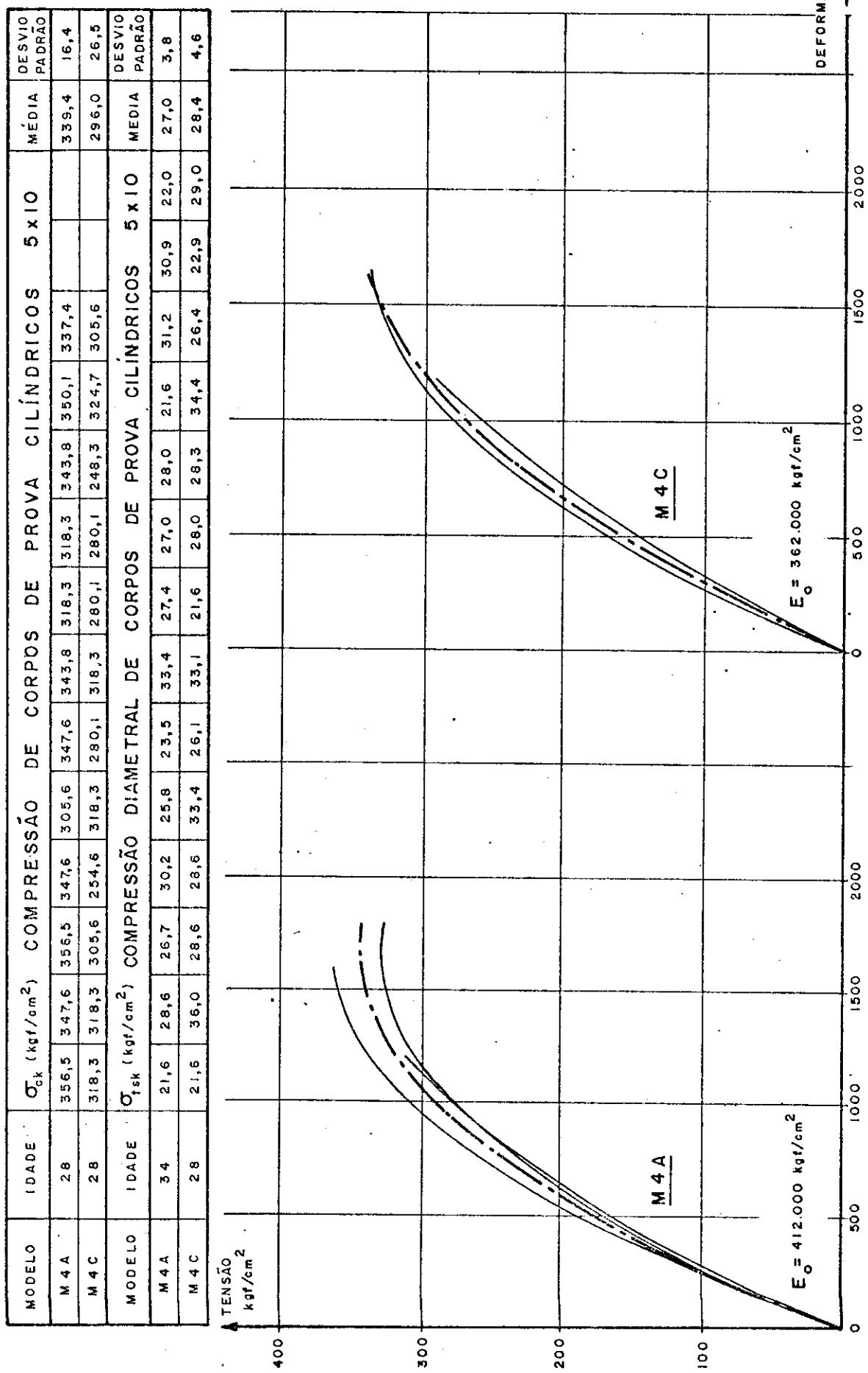
Como era nossa intenção estudar o efeito da protensão sobre a estrutura, sempre a executamos no início do ensaio, e portanto não pudemos utilizar a injeção de argamassa. Seus efeitos - deslocamentos e deformações - são apresentados a parte, após a apresentação dos efeitos correspondentes ao carregamento.

3.5.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M4A e M4C

Os ensaios simétricos eram iniciados com o escorramento, como nos ensaios anteriores e com o modelo sem protensão. Em seguida era aplicada a protensão, em etapas de 200 kgf. Após completada a protensão iniciava-se o carregamento seguindo também a mesma orientação dos ensaios anteriores, em etapas de 50 kgf/m^2 .

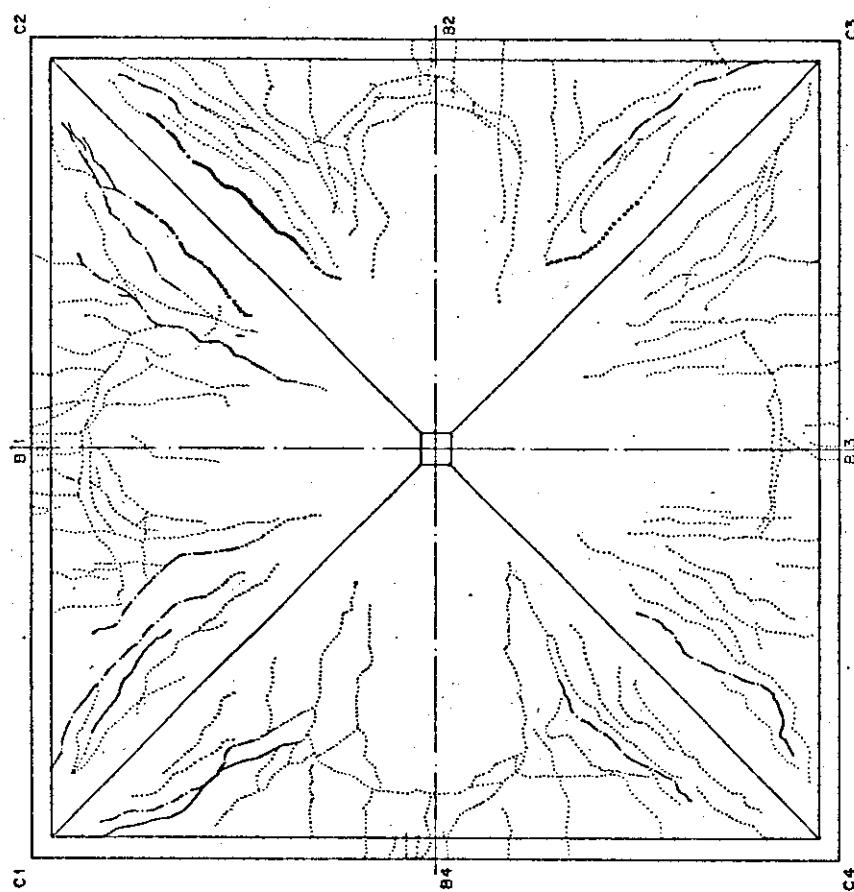
Para esta série pretendíamos construir apenas os modelos M4A e M4B para ensaios simétricos, mas durante a cura do M4B notamos fissuras em um de seus quadrantes e resolvemos, então, construir um novo modelo, o M4C, para o ensaio simétrico, deixando o M4B para o ensaio assimétrico, uma vez que as fissuras se localizavam em único quadrante em nada prejudicariam este ensaio.

Estes modelos M4A e M4C, ensaiados aos 28 dias, suportaram carga de ruptura de, respectivamente, 760 kgf/m^2 e 780 kgf/m^2 .

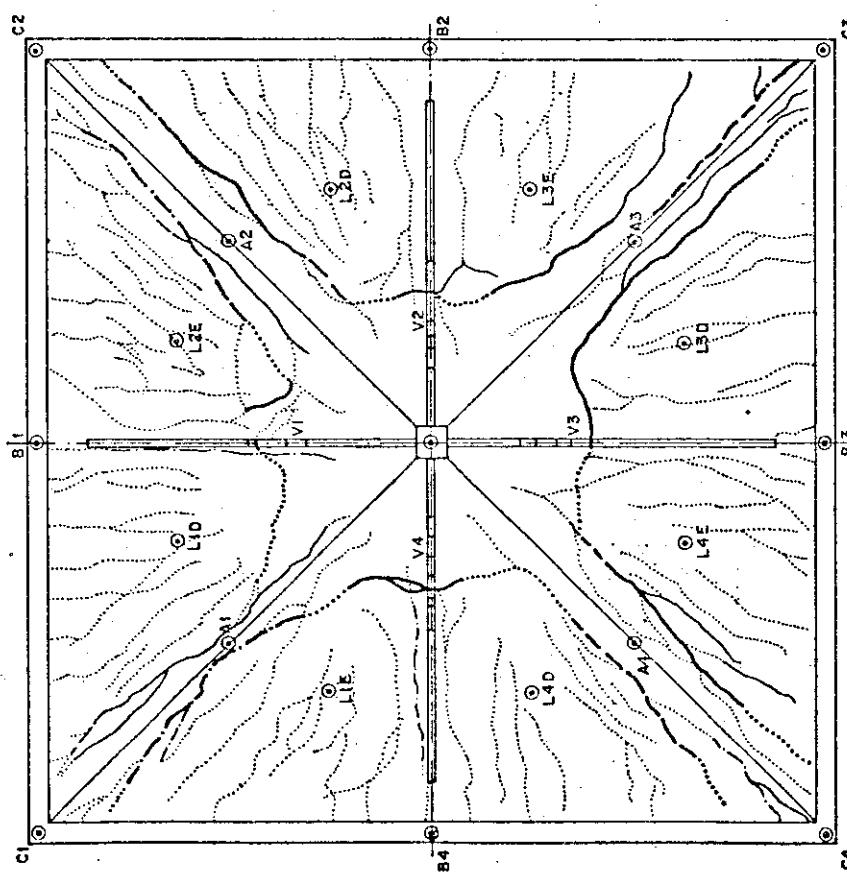


G 3 . 2 2 -Características do micro-concreto - Ensaio Simétrico - Série 4

VISTA INFERIOR



VISTA SUPERIOR



Escala 1:10
 $Q_n = 760 \text{ kN/m}^2$

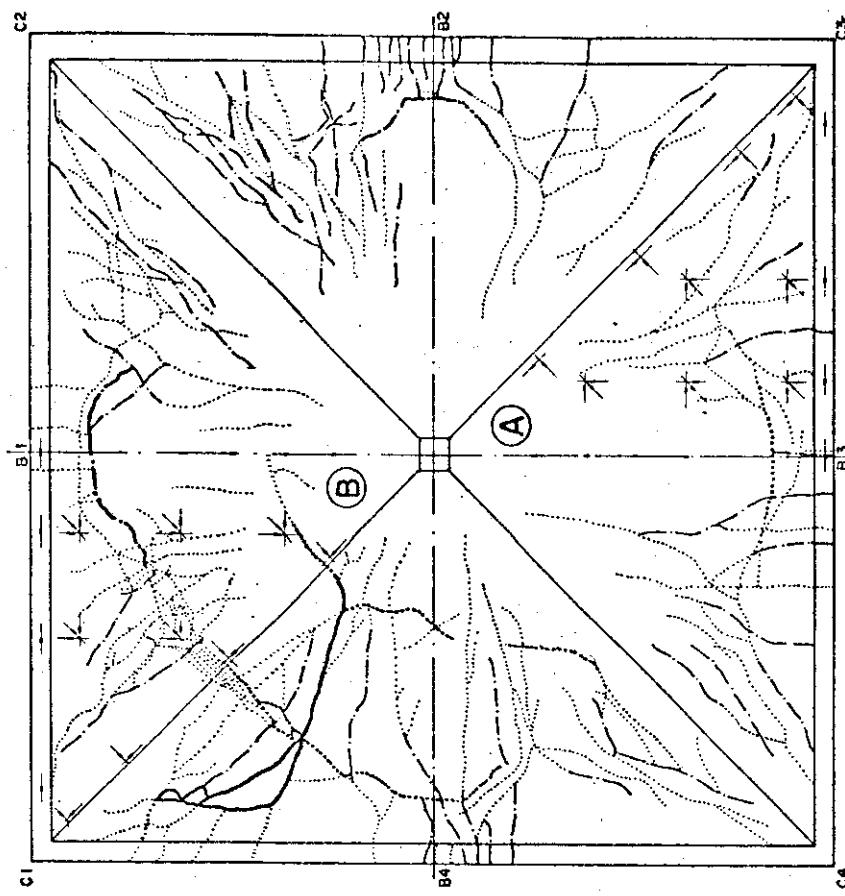
legenda

- 310 - 460 kN/m^2
- 460 - 560 kN/m^2
- 560 - 610 kN/m^2
- 610 - 660 kN/m^2
- > 660 kN/m^2

Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura

D 4.17
SÉRIE 4 - MODELO M4A
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

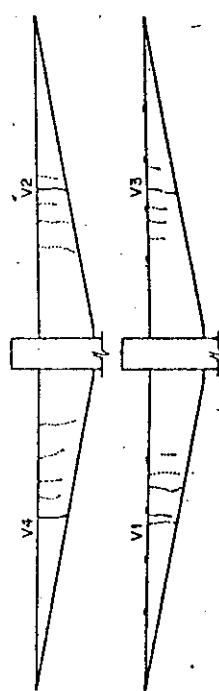
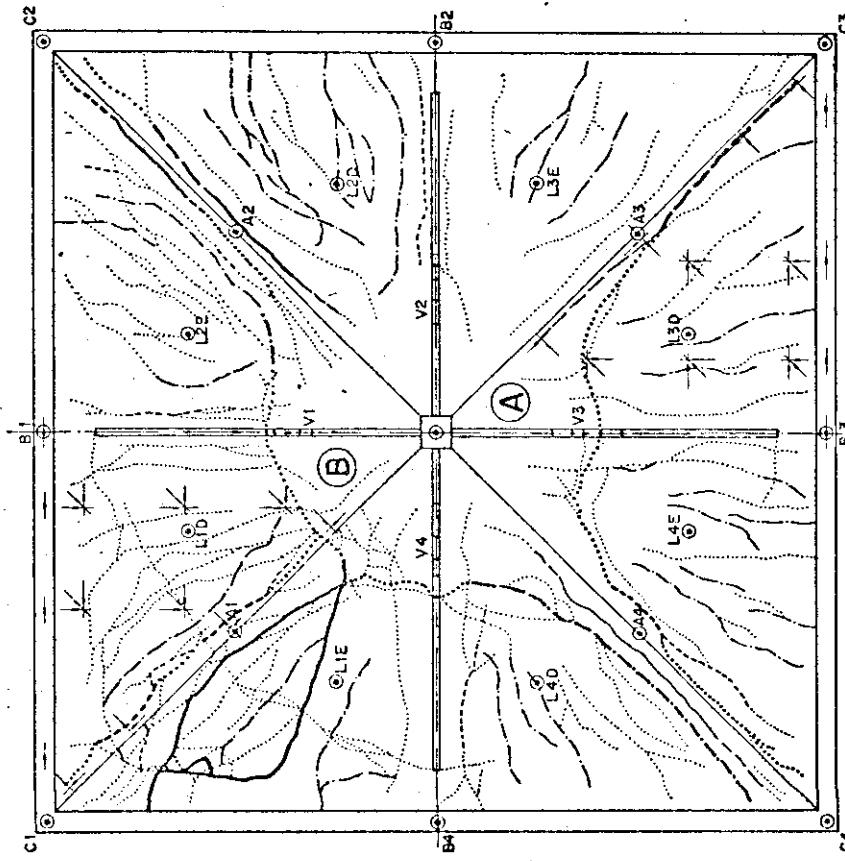
VISTA INFERIOR

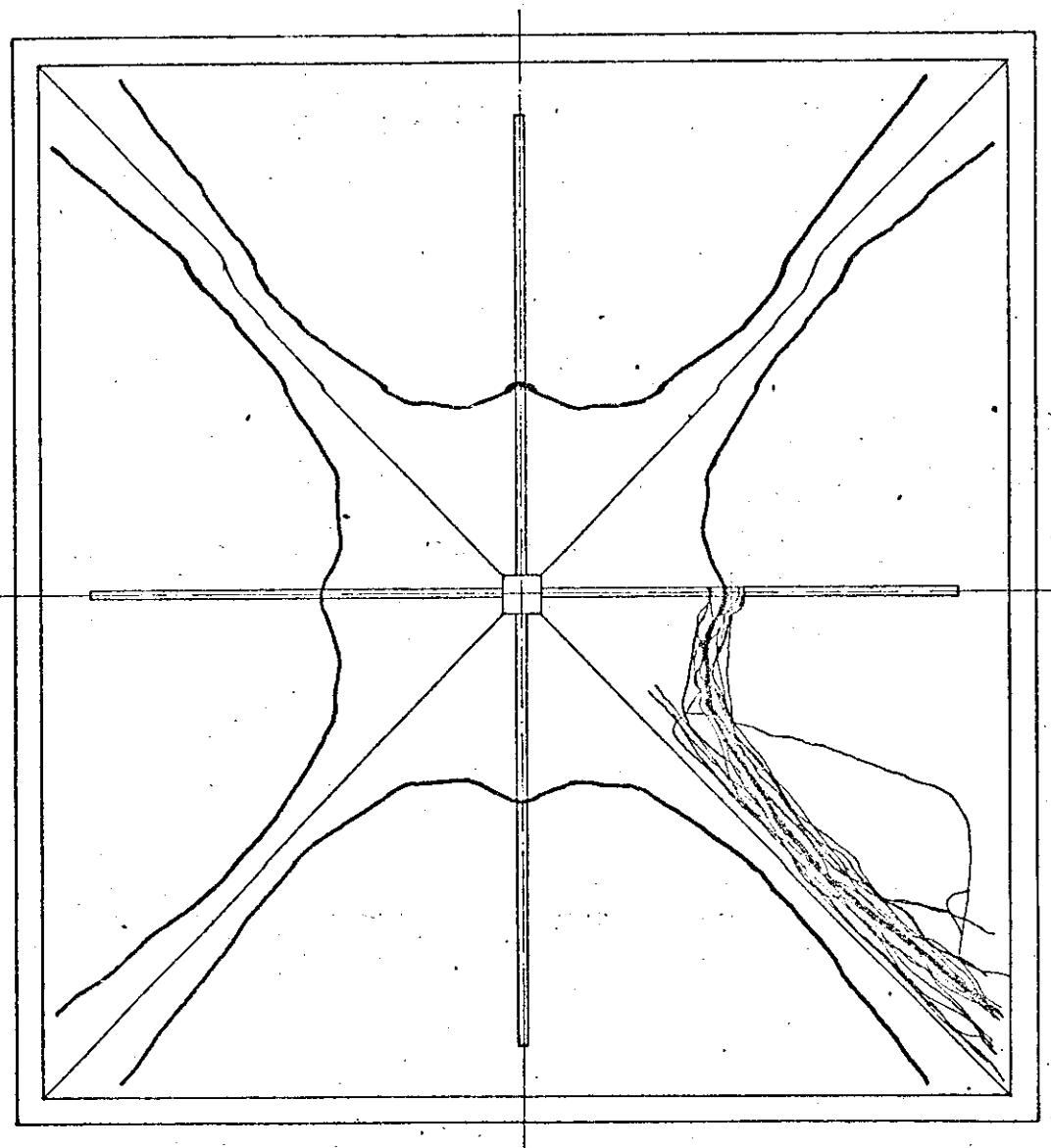


D 4.18
SÉRIE 4 - MODELO M4C
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura

VISTA SUPERIOR

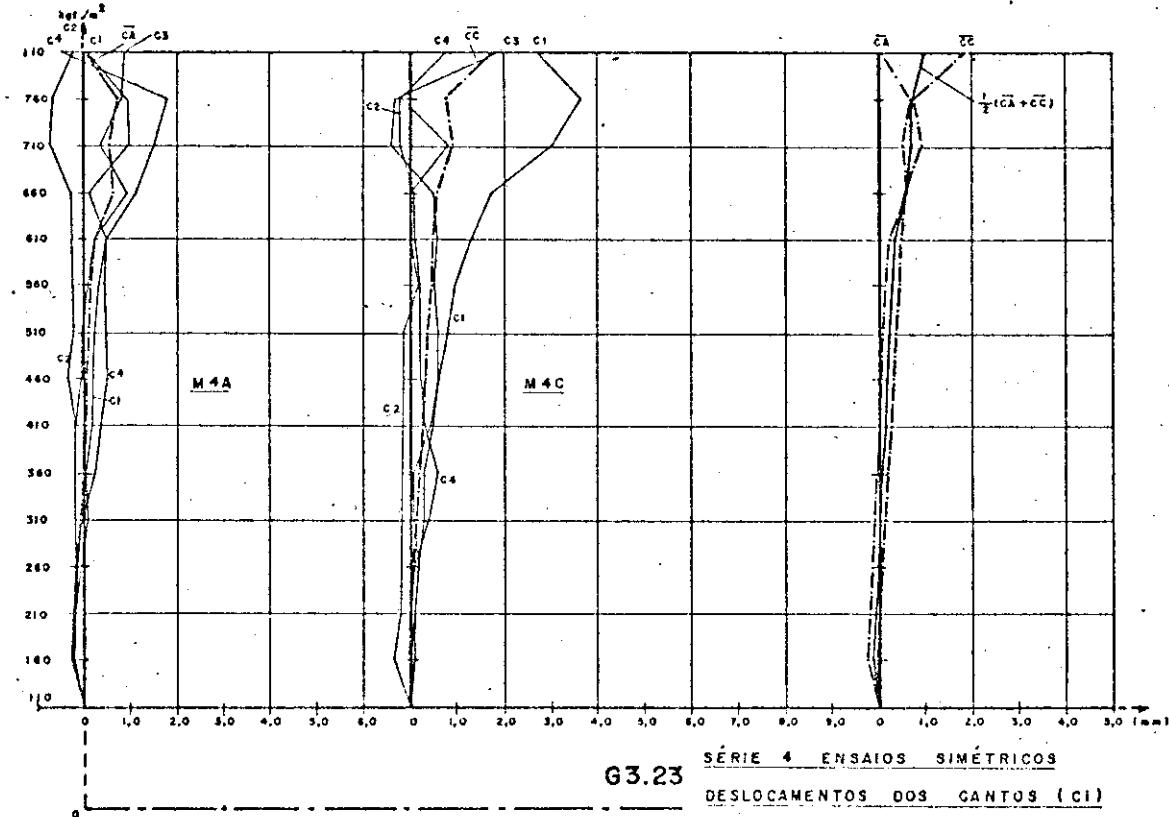
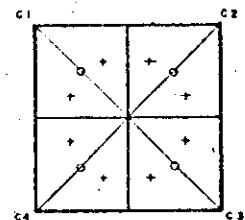




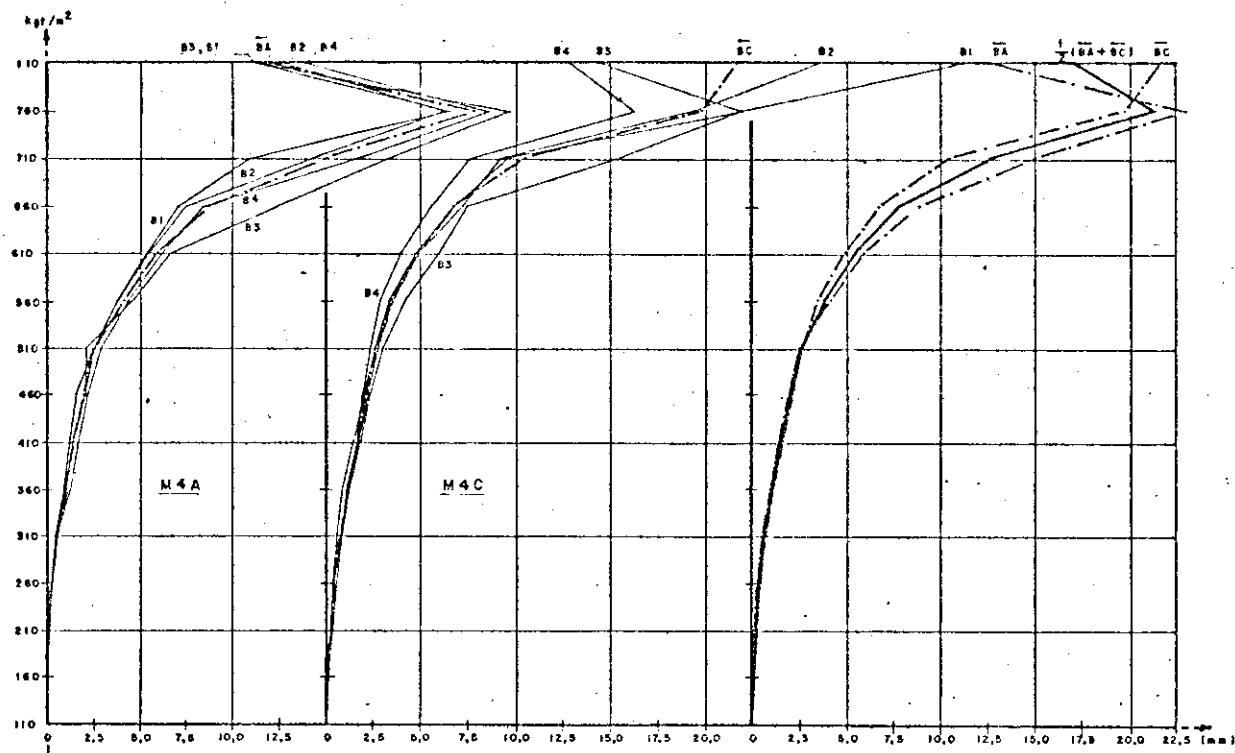
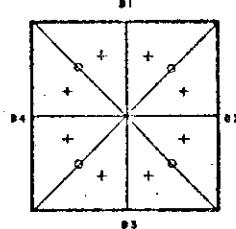
$$\bar{Q}_r = 770 \text{ kgf/m}^2$$

D3.19
SÉRIE 4 - PROVÁVEL
CONFIGURAÇÃO DE RUPTURA

DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (ci) SÉRIE 4 ENS. SIMÉTRICOS (mm)												
FASE	CARGA kgf/m ²	M 4 A					M 4 C					$\frac{1}{2}(\bar{c}_A + \bar{c}_C)$
		c1	c2	c3	c4	ca	c1	c2	c3	c4	cc	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	160	-0,30	-0,24	-0,22	-0,28	-0,26	0,02	-0,36	0,10	0	-0,05	+ 0,16
2	210	-0,18	-0,24	-0,21	-0,17	-0,20	0,12	-0,21	0,10	0	0	-0,10
3	260	-0,14	-0,18	-0,18	-0,08	-0,14	0,19	-0,21	0,20	0,10	0,07	-0,03
4	310	-0,02	-0,18	-0,23	0,10	-0,08	0,05	-0,18	0,30	0,40	0,14	0,03
5	360	0,24	-0,19	-0,21	0,04	-0,03	0,08	-0,16	0,30	0,60	0,20	0,09
6	410	0,34	-0,18	-0,21	0,18	0,03	0,44	-0,15	0,50	0,30	0,27	0,15
7	460	0,50	-0,37	-0,06	0,18	0,05	0,63	-0,14	0,60	0,20	0,32	0,19
8	510	0,45	-0,23	-0,05	0,23	0,10	0,81	-0,14	0,60	0,20	0,37	0,23
9	560	0,42	-0,26	0,10	0,32	0,14	0,98	-0,18	0,50	0,20	0,46	0,30
10	610	0,50	-0,26	0,23	0,40	0,24	1,32	-0,08	0,60	0	0,50	0,37
11	660	0,10	-0,31	0,93	1,12	0,81	1,75	0,08	0,50	0	0,58	0,60
12	710	0,95	-0,75	0,34	1,31	0,31	3,05	-0,22	-0,40	0,80	0,92	0,72
13	760	0,92	-0,68	0,79	1,81	0,71	3,67	-0,22	-0,30	-0,20	0,74	0,72
14	810	0,06	-0,22	0,84	-0,47	0,05	2,70		1,90	0,80	1,80	0,92



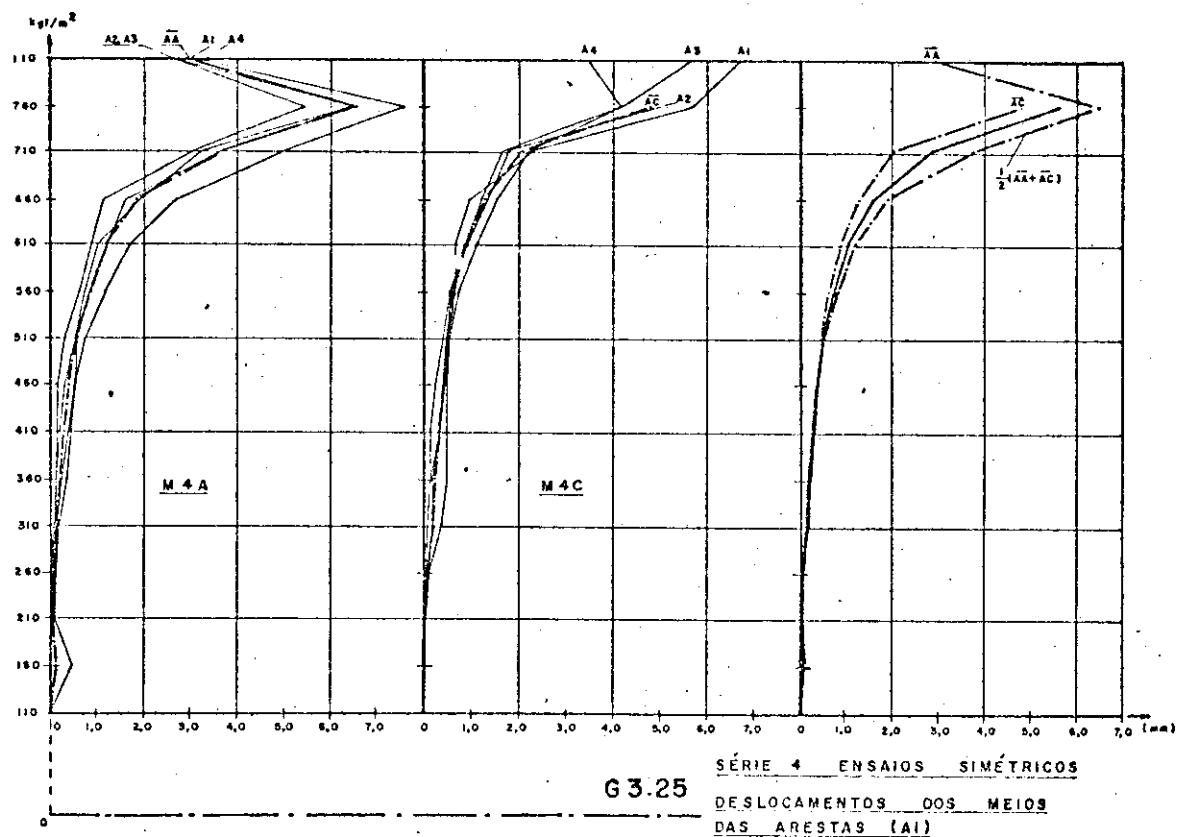
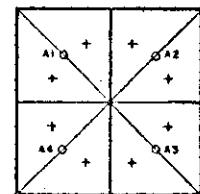
DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1) SÉRIE 4												
FASE	CARGA kg/m ²	M4 A					M4 C					$\frac{1}{2} (BA + BC)$
		B1	B2	B3	B4	BA	B1	B2	B3	B4	BC	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	-0,03	0,05	0	-0,08	-0,01	0	0,20	0,20	0,20	0,15	0,07
2	210	0,15	0,17	0,19	0,16	0,17	0,30	0,40	0,30	0,30	0,32	0,20
3	260	0,32	0,32	0,36	0,34	0,33	0,40	0,60	0,50	0,50	0,50	0,42
4	310	0,52	0,54	0,66	0,60	0,58	0,60	0,90	0,90	0,80	0,82	0,70
5	360	1,03	0,94	0,94	1,31	1,05	0,90	1,20	1,30	1,30	1,17	1,11
6	410	1,45	1,26	1,39	1,75	1,46	1,50	1,60	1,70	1,80	1,72	1,59
7	460	2,08	1,64	2,15	2,25	2,03	2,10	2,30	2,00	2,40	2,20	1,88
8	510	2,64	2,57	2,21	2,95	2,60	2,80	2,40	3,00	2,70	2,65	
9	560	3,87	3,85	4,68	4,43	4,21	3,40	3,60	2,90	4,20	3,92	3,87
10	610	5,46	5,26	6,69	6,23	5,98	4,80	5,00	4,00	6,00	4,95	5,47
11	660	7,14	7,49	12,36	8,47	8,87	6,80	7,20	5,60	7,50	6,77	7,82
12	710	10,89	14,16	16,23	17,67	14,86	9,60	9,20	7,60	15,30	10,42	12,70
13	760	21,60	21,37	24,64	23,50	22,78	21,90	19,30	16,20	21,80	19,80	21,28
14	810	10,91	12,61	11,05	13,57	12,03	33,90	26,10	12,70	14,20	21,72	16,88



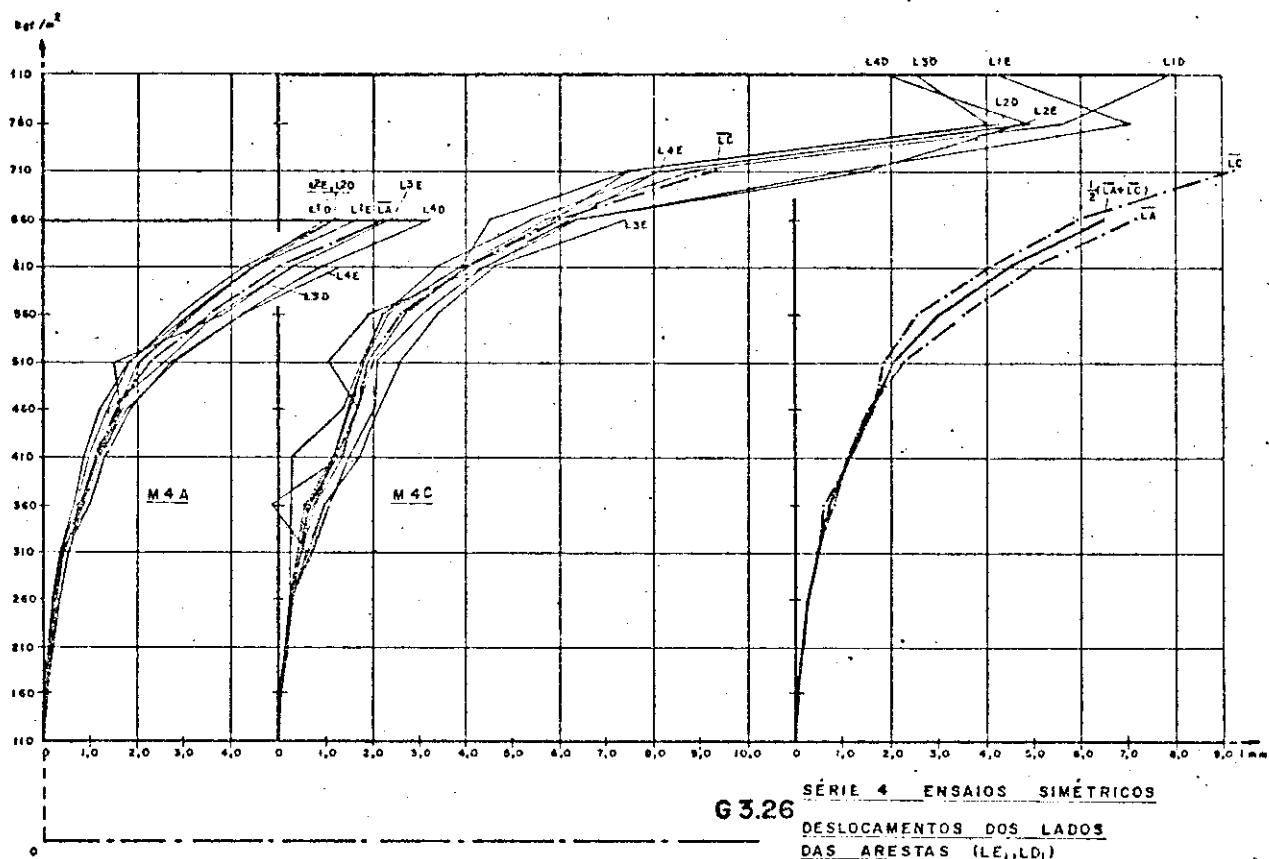
SÉRIE 4 ENSAIOS SIMÉTRICOS

G3.24
DESLOCAMENTOS DOS MEIOS
DAS VIGAS DE BORDA (B1)

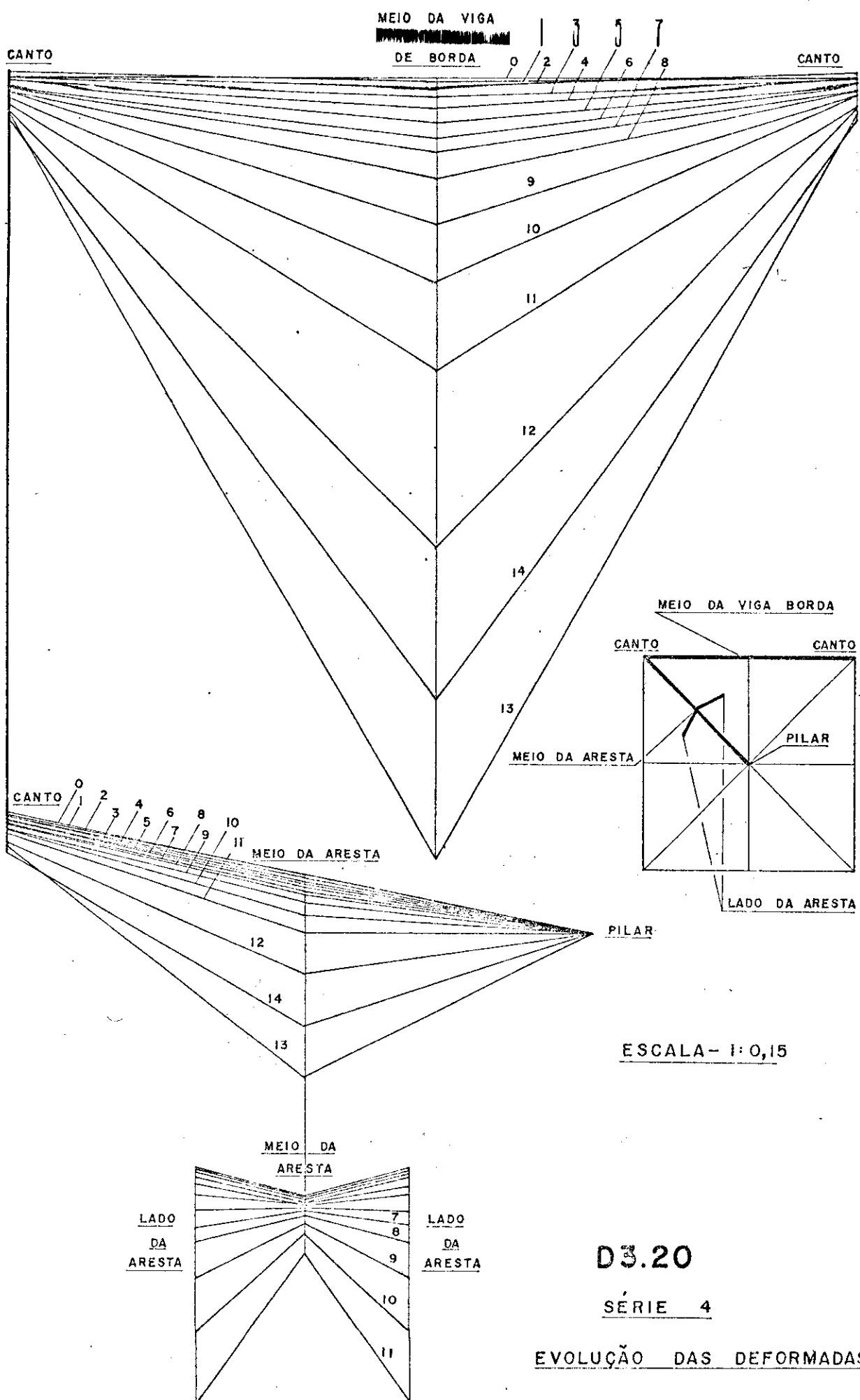
DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (AI) SÉRIE 4 (mm)												
FASE	CARGA kg/m ²	M 4 A					M 4 C					$\frac{1}{2} (AA + AC)$
		A1	A2	A3	A4	AA	A1	A2	A3	A4	AC	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0,02	0,04	0,47	-0,01	0,13	0,01	0	0,03	0,01	0,01	0,07
2	210	0,03	0,04	0,10	0,05	0,03	0,06	0,07	0,06	0,01	0,05	0,05
3	260	0,05	0,08	0,13	0,14	0,09	0,08	0,07	0,10	0,13	0,09	0,09
4	310	0,18	0,11	0,13	0,22	0,16	0,11	0,21	0,21	0,39	0,23	0,19
5	360	0,36	0,15	0,14	0,26	0,23	0,16	0,14	0,23	0,31	0,28	0,24
6	410	0,44	0,16	0,22	0,39	0,30	0,35	0,15	0,37	0,51	0,34	0,32
7	460	0,53	0,19	0,33	0,53	0,40	0,47	0,27	0,45	0,51	0,41	0,41
8	510	0,59	0,34	0,34	0,74	0,56	0,57	0,43	0,50	0,51	0,50	0,53
9	560	0,85	0,63	0,70	1,19	0,88	0,76	0,57	0,81	0,49	0,66	0,76
10	610	1,23	0,89	1,03	1,70	1,21	1,14	0,94	0,88	0,69	0,91	1,06
11	580	1,64	1,14	1,93	2,70	1,85	1,59	1,57	1,23	1,01	1,30	1,58
12	710	3,54	2,93	3,75	4,86	3,63	2,14	1,67	1,61	2,20	1,90	2,77
13	760	6,54	5,44	6,44	7,05	6,49	5,76	5,06	4,28	4,21	4,83	5,66
14	110	3,06	2,74	2,72	3,25	2,94	6,81	—	5,37	3,94	—	—



DESLOCAMENTOS DOS LADOS DAS ARESTAS (LE, LD) SÉRIE 4 ENSAIOS SIMÉTRICOS (mm)																			$\frac{L}{2}(L_A + L_C)$	
PASE	CARGA kg/m ²	M 4 A									M 4 C									$\frac{L}{2}(L_A + L_C)$
		LIE	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	L4	LIE	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	LC	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	140	-0,02	0,07	0,04	0,04	0,11	0,13	0,03	0,11	0,06	0,05	0,01	0,05	0,07	0,10	0,08	0,10	0,08	0,07	0,08
2	210	0,12	0,20	0,15	0,11	0,16	0,20	0,15	0,24	0,17	0,17	0,16	0,22	0,21	0,23	0,19	0,17	0,16	0,19	0,18
3	260	0,24	0,27	0,22	0,20	0,28	0,34	0,32	0,38	0,28	0,28	0,25	0,27	0,27	0,34	0,31	0,29	0,27	0,28	0,28
4	310	0,38	0,41	0,41	0,37	0,58	0,59	0,47	0,53	0,47	0,60	0,44	0,30	0,40	0,65	0,74	0,56	0,54	0,53	0,50
5	360	0,91	1,00	0,73	0,67	0,68	0,80	0,78	1,03	0,85	-0,11	0,72	0,30	0,60	0,99	1,08	0,79	0,79	0,64	0,75
6	410	1,24	1,31	0,99	0,87	1,12	1,17	1,17	1,35	1,15	1,32	1,15	0,30	1,16	1,72	1,50	1,20	1,37	1,21	1,18
7	460	1,63	1,71	1,39	1,23	1,43	1,66	1,81	1,89	1,59	1,70	1,54	1,58	1,49	2,15	2,06	1,84	1,66	1,69	1,64
8	510	2,03	2,10	1,62	1,87	2,60	2,49	2,82	2,73	2,31	1,04	2,02	1,76	1,84	2,61	2,10	1,83	2,05	1,91	2,11
9	560	3,18	3,25	3,15	2,92	3,72	3,85	4,26	4,22	3,57	1,93	2,73	2,28	2,36	3,43	3,10	2,27	2,72	2,60	3,09
10	610	4,44	4,44	4,31	4,27	5,28	5,28	6,23	5,85	5,04	4,47	3,95	3,91	4,00	4,64	4,44	3,42	4,08	4,11	4,58
11	660	6,39	6,34	6,17	6,14	7,28	8,50	8,85	8,13	7,20	6,32	5,58	4,50	5,85	7,43	6,20	5,59	6,42	5,97	6,08
12	710										12,05	8,81	7,47	7,45		8,72	8,05	12,49	9,27	
13	760										18,01	16,71	15,87	15,32		18,00		15,82		
14	810										18,18	18,96				18,50		12,83		



3.93



M4C

CARGA kg/m ² (kgf)	DEFORMAÇÕES BOIS [X 10 ⁻⁶]	CARGA kg/m ² (kgf)																
		A01S	A01I	BOIS	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I	
162	114	121	3	-3	7	-10	-12	6	-2	10	-5	7	-6	6	-3	-7	0	10
212	238	253	12	-11	18	-22	-11	14	-6	19	-12	17	-13	17	-6	1	-2	20
262	373	381	23	-22	26	-33	-9	18	-6	24	-21	25	-20	27	-6	10	-5	33
312	487	509	31	-29	37	-42	-8	34	-10	38	-30	37	-26	40	-14	19	-9	35
362	625	637	51	-48	59	-74	2	42	-22	54	-53	59	-50	60	-40	51	-30	54
412	746	765	78	-120	98	-119	-93	75	-42	49	-98	92	-49	91	-84	93	-63	108
462	876	893	101	-152	127	-146	-133	97	-47	53	-125	120	-50	116	-119	130	-85	171
512	992	1021	116	-173	146	-169	-149	111	-58	62	-155	143	-71	139	-157	155	-114	219
562	1123	1149	125	-214	173	-201	-234	135	-69	50	-206	265	-67	168	-226	218	-198	287
612	1250	1277	138	-231	181	-211	-251	161	-114	88	-274	625	-134	426	-344	666	-298	226
662	1379	1405	135	-233	192	-216	-306	198	-123	85	-403	1561	-152	638	-435	912	-322	110
712	1498	1533	179	-266	176	-196	-300	197	-155	118	-488	1937	-206	903	-573	1053	-394	-167
712	1574	1533	180	-266	176	-197	-294	197	-155	122	-491	1956	-210	921	-580	1044	-400	-159
762	1641	1661	187	-273	209	-219	-287	203	-182	153	-493	2071	-315	990	-581	1067	-604	-263
762	1642	1661	169	-265	200	-207	-330	210	-186	141	-502	2145	-310	963	-613	1039	-683	-259
780	1672	1711	150	-263	173	-176	-458	263	-251	322	-525	2274	-355	767	-649	1041	-792	****
111	23	0	14	-190	29	-48	-406	78	-200	354	-256	817	-216	568	-427	229	-462	****

valores negativos correspondem a encurtamentos

valores positivos correspondem a alongamentos

*** → valor superior a 9999

carga inicial: 110 kg/m²

carga 1 + valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados H.P.

carga 2 + valores acusados por ponte analógica

carga de protensão nas vigas de borda: 300 kgf

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

T3.42 SÉRIE 4 - MODELO M4C

PONTOS DAS VIGAS DE BORDA

M4C

CARGA kg/m ² (kgf)	DEFORMAÇÕES BOIS [X 10 ⁻⁶]	CARGA kg/m ² (kgf)																
		A05S	A05I	BO5S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I	
162	114	125	24	-5	14	-1	23	6	34	-6	15	-11	20	-4	5	-9	10	-17
212	238	253	54	-11	24	-8	44	13	63	-17	39	-21	48	-17	24	-25	36	-33
262	373	381	89	-25	36	-14	63	23	93	-28	63	-29	72	-30	43	-36	55	-46
312	487	509	118	-28	48	-20	85	29	149	-35	73	-38	97	-43	58	-47	75	-68
362	625	637	114	-34	47	-23	90	36	193	-47	581	-48	105	-55	94	-62	239	-98
412	746	765	139	-31	47	-50	91	31	368	-66	1106	-87	451	-90	117	-67	400	-92
462	876	893	154	-31	54	-71	95	32	385	-72	1351	-112	813	-129	235	-78	516	-91
512	992	1021	145	-32	56	-76	137	30	476	-79	1600	-120	960	-156	325	-86	641	-107
562	1123	1149	177	-30	61	-106	146	41	461	-77	*****	-116	991	-181	466	-94	799	-117
612	1250	1277	198	-42	65	-116	166	63	474	-85	*****	-251	813	-242	1134	-147	895	-140
662	1379	1405	182	-45	69	-131	165	92	457	-81	*****	-379	774	-280	1270	-162	930	-164
712	1498	1533	112	0	65	-124	53	54	456	-74	*****	-355	1076	-305	1169	-151	920	-197
712	1574	1533	107	1	66	-121	52	53	454	-72	*****	-347	1098	-303	1162	-151	921	-201
762	1641	1661	61	17	8	-67	100	26	300	3	*****	-335	1028	-255	1172	-146	812	-189
762	1642	1661	63	29	0	-66	90	11	302	30	*****	-338	981	-234	1155	-136	780	-170
780	1672	1711	195	41	10	-39	89	-7	357	53	*****	-286	1016	-216	1149	-121	786	-160
111	23	0	149	72	17	-33	-76	-70	-32	70	*****	-188	268	-87	288	10	122	-1

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

T3.43 SÉRIE 4 - MODELO M4C

PONTOS DAS VIGAS CENTRAIS

MAC

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
kN/m ²	2(kNf)	A095	A09I	A105	A10I	B095	B09I	B105	B10I	A115	A11I	A125	A12I	B115	B11I	B125	B12I	
102	114	125	8	-5	-7	6	8	-5	-2	2	21	-4	4	3	15	-6	3	-2
212	238	253	19	-12	-14	10	18	-10	-7	6	33	-12	1	4	33	-17	0	-3
262	373	381	30	-18	-19	13	29	-17	-12	12	45	-22	-3	6	53	-29	0	-3
312	487	509	41	-23	-27	21	40	-18	-13	29	63	-29	-3	10	80	-44	-2	-1
362	625	637	61	-37	-38	29	69	-34	-25	43	82	-47	-11	10	741	-253	-15	2
412	746	765	149	-99	-17	91	160	-120	-27	71	6265	-291	-31	-2	1828	-314	3	5
462	876	893	98	-148	-16	117	254	-190	-31	91	*****	-305	-29	5	2388	-354	0	15
512	992	1021	96	-185	11	129	315	-219	-39	105	*****	-319	-35	9	2673	-382	-75	72
562	1123	1149	14	-210	5	148	397	-278	-38	121	*****	-309	-32	-127	*****	-433	-102	96
612	1250	1277	-24	-217	-46	174	739	-419	-88	228	*****	-267	-52	-103	*****	-495	-122	89
662	1379	1405	-42	-295	-82	200	*****	-497	-171	426	*****	-366	-80	-23	*****	-480	-51	68
712	1498	1533	-50	-390	-151	253	*****	-558	-190	463	*****	-367	-137	89	*****	-531	-94	108
	1574		-54	-391	-156	254	*****	-561	-195	470	*****	-363	-141	94	*****	-536	-98	109
762	1641	1661	-61	-450	-211	293	*****	-845	-371	874	*****	-380	-172	223	*****	-339	-104	170
	1642		-59	-430	-193	289	*****	-831	-423	944	*****	-365	-176	241	*****	-317	-84	187
780	1672	1711	-63	-424	-200	302	*****	-904	-452	1046	*****	-358	-205	361	*****	-429	-97	262
610	23	0	-55	-205	3	185	*****	-73	-116	94	*****	-166	12	132	*****	542	134	-75

T 3.44 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SERIE 4 - MODELO MAC
PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MAC

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
kN/m ²	2(kNf)	A135	A13I	A145	A14I	B135	B13I	B145	B14I	A155	A15I	A165	A16I	B155	B15I	B165	B16I	
162	114	125	12	-12	-3	13	14	-12	-2	-2	1	0	0	-6	4	6	-7	-5
212	238	253	27	-27	-6	-4	26	-23	-6	-6	5	-4	-6	-13	6	5	-15	-10
262	373	381	43	-39	-9	-12	38	-32	-8	-7	10	-4	-13	-19	8	4	-23	-15
312	487	509	58	-52	-14	-16	245	-45	-11	-6	13	-5	-17	-23	15	8	-30	-20
362	625	637	83	-70	-19	-32	287	-168	-19	-15	19	-8	-29	-31	29	1	-40	-24
412	746	765	****	-164	-50	0	*****	-624	-86	3	541	-164	7	-42	121	-44	-50	-35
462	876	893	****	-221	-56	4	*****	-734	-100	30	1128	-216	10	-47	119	-28	-62	-43
512	992	1021	****	-286	-61	-6	*****	-851	-112	35	1807	-303	8	-57	102	-11	-74	-45
562	1123	1149	****	-343	-65	13	*****	-998	-122	42	2800	-350	13	-67	97	8	-96	-51
612	1250	1277	****	-291	-59	13	*****	-1167	-149	116	3816	-391	4	-97	102	7	-107	-100
662	1379	1405	****	-466	-24	-7	*****	-1420	-166	144	4017	-382	23	-127	32	48	-131	-131
712	1498	1533	****	-639	-19	28	*****	-1495	-172	146	4389	-399	1	-189	32	70	-149	-137
	1574		****	-644	-19	26	*****	-1695	-171	148	4405	-398	1	-190	32	72	-150	-138
762	1641	1661	****	-808	-26	93	*****	-2052	-217	232	4172	-343	-5	-297	-19	87	-147	-326
	1642		****	-855	-54	142	*****	-2124	-231	236	3674	-294	-9	-340	-23	105	-150	-370
780	1672	1711	****	-1055	-117	249	*****	-2233	-243	277	2837	-154	24	-480	-43	125	-122	-602
610	23	0	****	-631	29	301	*****	-2135	-346	236	-2358	-173	175	-144	-29	-157	****	-379

T 3.45 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SERIE 4 - MODELO MAC
PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M4C

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
g/m ²	(kgf)	A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S	A21I	
162	114	125	-4	0	-6	9	-2	-2	-6	-4	-1	6	0	6	2	-4	14	0
212	236	253	-8	0	-5	12	0	8	-9	6	-1	16	1	15	6	-9	21	-2
262	373	381	-7	0	-3	16	0	14	-12	8	-3	24	0	23	6	-15	28	-6
312	487	509	-14	2	-6	19	1	21	-15	11	-5	37	1	34	12	-19	36	-6
362	625	637	-20	6	-4	27	2	27	-12	13	-3	45	4	47	15	-26	46	-12
412	746	765	-13	-5	-14	23	-2	45	-22	-4	-5	53	-7	70	-10	-3	15	60
462	876	893	-20	-2	-22	31	-1	57	-32	-3	-7	66	-6	84	-6	-12	33	64
512	992	1021	-27	-1	-23	36	0	68	-41	2	-12	81	-3	112	-2	-18	39	66
562	1123	1149	-24	-10	-28	42	0	98	-64	2	-18	101	-6	123	6	-37	59	66
612	1250	1277	-10	-45	-9	21	-5	131	-47	-23	24	150	32	185	-7	-24	64	77
662	1379	1405	5	-55	-20	8	-11	126	-51	-14	22	177	15	185	-38	-23	105	69
712	1498	1533	-2	-49	-27	24	-5	154	-49	-2	19	166	1	205	-63	-21	135	68
	1574		-2	-49	-26	22	-5	155	-48	-1	20	170	3	207	-62	-21	132	69
762	1641	1661	-23	-32	-31	50	1	159	-29	-25	6	169	-17	272	-134	14	189	29
	1642		-18	-29	-46	77	1	165	-37	-20	0	163	-20	286	-184	46	205	18
780	1672	1711	13	-22	-60	90	-50	176	-30	9	22	193	-31	288	-210	92	218	0
610	23	0	-3	-12	-101	66	-23	27	39	-83	-6	92	-55	112	-112	48	148	-7

T 3.46 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 4 - MODELO M4C
PONTOS DOS PAINÉIS

M4C

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
g/m ²	(kgf)	A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S	B23I	
162	114	125	2	0	0	-5	10	-4	3	0	-21	-1	6	1	-1	8	-2	8
212	236	253	8	0	4	-12	24	-10	9	-3	-125	1	7	2	1	15	-5	12
262	373	381	12	-2	9	-19	36	-16	12	-7	-149	3	9	1	3	25	-11	13
312	487	509	17	-2	13	-24	51	-21	18	-9	39	7	10	7	5	28	-27	20
362	625	637	31	-2	12	-18	49	-9	-11	-9	658	17	11	15	-11	41	-28	32
412	746	765	-31	29	-44	12	-22	53	-34	47	913	8	20	20	2	57	-28	44
462	876	893	-37	32	-57	15	-28	65	-42	63	1295	14	23	32	6	71	-33	58
512	992	1021	-43	38	-61	15	-34	79	-50	78	1767	27	25	50	11	86	-46	71
562	1123	1149	-45	33	-79	16	-37	86	-59	99	*****	36	26	74	14	101	-53	90
612	1250	1277	-46	54	-96	21	-5	45	-62	90	*****	6	38	79	17	140	-50	78
662	1379	1405	-2	30	-98	14	9	41	-70	104	*****	-41	86	5	-35	123	-32	80
712	1498	1533	-85	80	-89	12	9	61	-87	123	*****	-57	42	46	-57	141	-30	93
	1574		-87	82	-90	10	12	60	-89	123	*****	-52	41	50	-56	146	-29	95
762	1641	1661	-94	110	-226	120	4	95	-147	180	*****	-14	18	78	-36	131	-37	180
	1642		-99	100	-224	112	-4	94	-168	205	*****	-20	6	94	-38	124	-43	206
780	1672	1711	-121	105	-281	196	-5	95	-144	166	*****	-5	-26	116	-19	103	-67	295
111	23	0	-114	16	-772	*****	60	9	-39	43	*****	-79	-24	69	-32	15	138	-22

T 3.47 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 4 - MODELO M4C
PONTOS DOS PAINÉIS

M4C

S ₁ /m ² 1(kgf)	S ₂ (kgf)	CARGA	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
			B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I
162	114	125	8	2	3	3	-6	-9	-2	4	-3	6	-1	-4	-3	5	-3	6
212	238	253	8	4	4	10	-8	-12	-4	7	-3	13	-5	-6	-6	9	-7	17
262	373	381	9	3	2	14	-12	-17	-8	10	-3	19	-7	-11	-8	13	-12	24
312	487	509	8	8	5	18	-16	-23	-10	11	-3	25	-10	-13	-10	19	-17	33
362	625	637	2	16	5	29	-18	-20	-11	19	-4	35	-16	-12	-16	32	-26	44
412	746	765	27	31	4	41	-40	-22	-17	25	-14	32	-18	-1	-31	42	-36	56
462	876	893	34	52	7	50	-40	-26	-18	32	-17	40	-20	2	-41	51	-47	70
512	992	1021	33	67	7	64	-51	-24	-20	37	-19	45	-25	5	-47	62	-60	89
562	1123	1149	46	100	9	82	-64	-29	-22	39	-27	48	-23	7	-59	75	-66	103
612	1250	1277	49	122	6	124	-69	-19	-21	56	-16	44	-48	57	-17	58	-29	61
662	1379	1405	61	146	-8	174	-97	12	-44	85	-43	82	-48	69	-13	56	-24	73
712	1498	1533	49	162	-23	207	-108	-14	-104	145	-13	76	-40	72	-10	57	-34	107
762	1574	1594	49	163	-22	210	-111	-13	-105	145	-10	76	-41	74	-8	64	-37	91
762	1641	1661	16	204	0	175	-87	-23	-242	678	-80	518	-74	145	-16	82	42	53
780	1672	1711	-12	352	17	179	-26	-44	-154	575	-18	403	90	40	-35	112	-21	85
111	23	0	119	122	-67	128	-16	-64	-94	284	-89	165	-23	79	-119	113	-15	-29

T 3.48 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 1 - MODELO M4C

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

M4C

S ₁ /m ² 1(kgf)	S ₂ (kgf)	CARGA	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)											
			A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I
162	114	125	0	-10	10	0	-3	5	20	-5	8	1	-5	24
212	238	253	0	-20	14	2	-6	11	18	-14	10	2	-7	28
262	373	381	0	-28	15	2	-8	16	16	-25	11	3	-12	31
312	487	509	-1	-39	22	1	-9	23	14	-32	15	6	-17	34
362	625	637	1	-52	29	-4	-12	28	16	-47	22	1	-16	38
412	746	765	11	-68	-14	38	-41	40	31	-56	-4	21	-53	45
462	876	893	16	-85	-22	45	-52	52	31	-64	-22	30	-79	57
512	992	1021	20	-98	-40	60	-67	64	30	-75	-40	43	-101	72
562	1123	1149	29	-131	-59	73	-83	88	34	-89	-57	50	-134	84
612	1250	1277	43	-153	-158	128	-117	124	46	-81	-134	139	-206	151
662	1379	1405	134	-209	67	276	-156	237	5	-52	-198	141	-185	105
712	1498	1533	204	-373	199	458	-104	513	32	-71	-169	136	-179	108
762	1574	1594	294	-468	213	470	-102	530	34	-77	-164	131	-180	110
762	1641	1661	1376	-759	646	437	-107	779	438	-407	236	-50	-245	305
780	1672	1711	1683	-867	633	325	1015	872	622	-645	367	-182	-255	411
111	23	0	911	-338	48	586	591	680	69	11	-62	40	112	-135

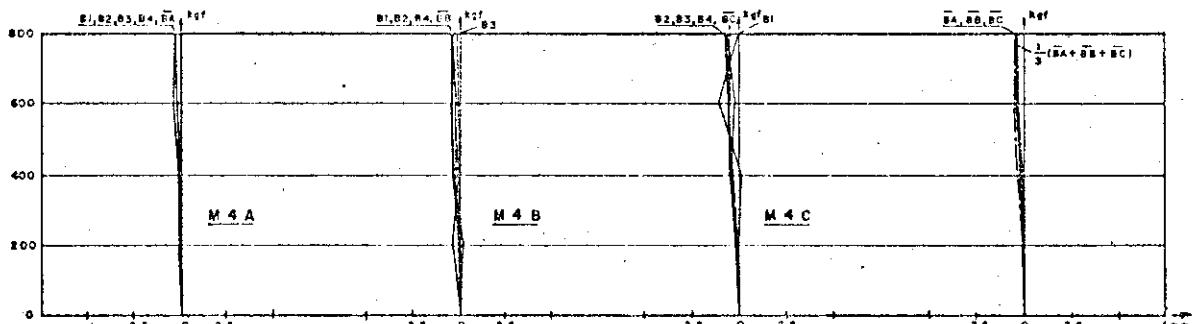
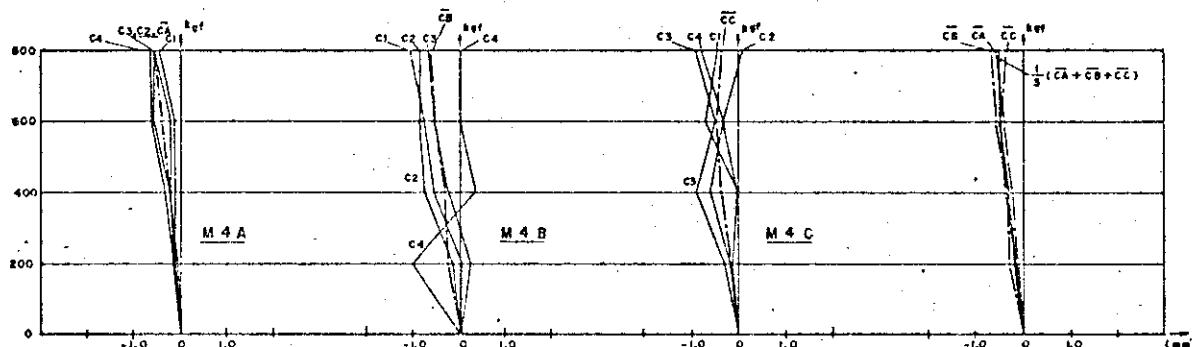
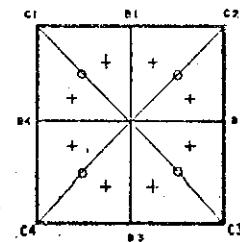
T 3.49 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 4 - MODELO M4C

PONTOS DOS PAINÉIS

FASE	CARGA kN	DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (C _i) EFEITO DA PROTENSÃO (mm)												$\frac{1}{3}(\bar{C}_A + \bar{C}_B + \bar{C}_C)$			
		M 4 A				M 4 B				M 4 C							
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	\bar{C}_A	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	\bar{C}_B	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	\bar{C}_C	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	200	-0,12	0,08	-0,16	-0,17	-0,13	0	-0,20	0,20	-1,10	-0,20	0	-0,13	-0,30	-0,20	-0,16	-0,19
2	400	-0,17	-0,22	-0,27	-0,36	-0,26	-0,00	-0,30	-0,30	0,30	-0,35	0	-0,03	-0,90	-0,60	-0,36	-0,33
3	600	-0,17	-0,22	-0,40	-0,66	-0,41	-0,80	-0,90	-0,60	0	-0,66	-0,69	-0,34	-0,50	-0,30	-0,46	-0,48
4	800	-0,40	-0,54	-0,57	-0,43	-0,56	-1,10	-0,80	-0,70	0	-0,66	-0,45	0,09	-0,90	-0,80	-0,31	-0,52

FASE	CARGA kN	DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B _i) EF. DA PROTENSÃO (mm)												$\frac{1}{3}(\bar{B}_A + \bar{B}_B + \bar{B}_C)$			
		M 4 A				M 4 B				M 4 C							
		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	\bar{B}_A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	\bar{B}_B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	\bar{B}_C	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	200	-0,01	-0,04	-0,14	-0,11	-0,08	0,12	0	-0,20	-0,48	-0,16	0	-0,20	-0,20	0	-0,20	-0,14
2	400	-0,03	-0,12	-0,23	-0,16	-0,14	-0,31	-0,30	0	-0,14	-0,19	0,10	-0,50	-0,50	-0,40	-0,33	-0,22
3	600	-0,02	-0,23	-0,48	-0,24	-0,24	-0,28	-0,40	-0,10	-0,27	-0,25	-0,40	-0,50	-0,20	-0,50	-0,40	-0,30
4	800	-0,18	-0,32	-0,43	-0,32	-0,31	-0,41	-0,50	-0,10	-0,42	-0,36	0	-0,70	-0,60	-0,60	-0,48	-0,38

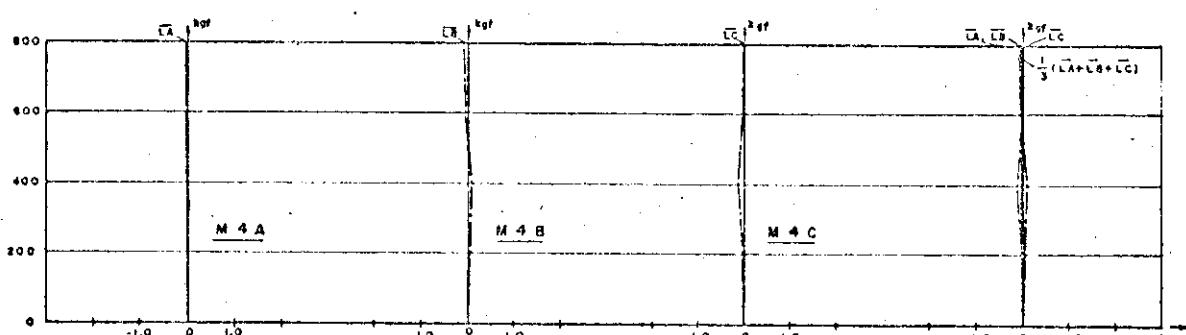
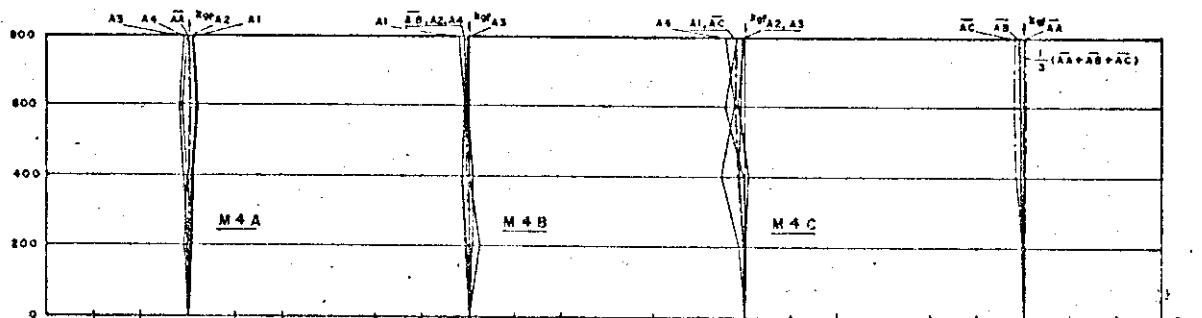
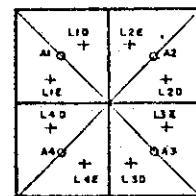


G 3.27 DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (C_i)
E DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B_i)
EFEITO DA PROTENSÃO

DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (A1) EFEITO DA PROTENSÃO (mm)														
FASE	CARGA kgf	M 4 A				M 4 B				M 4 C				$\frac{1}{3}(A_4 + A_B + A_C)$
		A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	200	0,01	0,08	-0,03	-0,09	-0,01	-0,10	-0,07	0,03	0,25	0,03	-0,07	0	-0,07
2	400	0,07	0,08	-0,10	-0,08	0,03	-0,14	-0,14	0,03	-0,02	-0,07	-0,07	0,05	-0,17
3	600	0,13	0,08	-0,19	-0,12	0,01	-0,19	-0,10	-0,07	-0,11	-0,10	-0,43	-0,19	0,15
4	800	0,07	0,11	-0,10	-0,03	0,01	-0,23	-0,10	-0,08	-0,03	-0,10	-0,18	-0,04	-0,07

DESLOCAMENTOS DOS LADOS DAS ARESTAS (L1E, L2D) EFEITO DA PROTENSÃO (mm)																	
FASE	CARGA kgf	M 4 A								M 4 B							
		L1E	L1D	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	L1E	L1D	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	200	-0,03	-0,05	0,02	0,02	-0,01	0,03	-0,08	-0,03	-0,01	0,01	-0,18	0,07	-0,08	0,26	0,04	-0,06
2	400	0,02	-0,01	0,03	0,02	-0,04	0	-0,12	-0,04	-0,02	0,81	-0,18	-0,15	-0,07	0,07	0,03	0,06
3	600	0	0,14	0,15	0,11	-0,16	-0,10	-0,32	-0,07	-0,03	-0,17	-0,04	-0,01	-0,02	0,03	-0,03	-0,07
4	800	-0,05	0,03	0,03	0,12	-0,18	0,06	-0,24	0,01	-0,03	-0,34	-0,13	-0,06	-0,04	0,07	-0,09	-0,02

FASE	CARGA kgf	M 4 C								$\frac{1}{3}(L_A + L_B + L_C)$	
		L1E	L1D	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	200	0,02	0,11	-0,05	0,11	-0,17	-0,08	-0,12	-0,05	-0,03	0,01
2	400	-0,13	-0,69	0,03	0,33	-0,23	-0,13	-0,35	-0,18	-0,14	-0,03
3	600	-0,07	-0,10	-0,34	0,45	-0,18	0,35	-0,11	-0,14	-0,02	-0,03
4	800	0,06	0,44	-0,14	0,55	-0,25	0,03	-0,26	-0,17	0,03	-0,03



DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (A1)

E DOS LADOS DAS ARESTAS (L1E, L2D)

EFEITO DA PROTENSÃO

M4B EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA kgf (kg)(2kgf)	A01S	A01I	B01S	B01I	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)											
					A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I
200 1 0	-19	-12	-30	-3	-14	-19	-15	-15	-30	-13	-25	-14	-21	-8	-23	-14
0 0	-30	-11	-34	-3	-12	-13	-17	-16	-30	-14	-23	-14	-22	-7	-24	-16
400 3 0	-60	-25	-64	-3	-30	-39	-35	-32	-58	-29	-49	-30	-44	-20	-48	-28
0 0	-62	-24	-65	-4	-27	-38	-36	-33	-59	-29	-49	-29	-45	-18	-47	-29
600 6 0	-89	-33	-91	-2	-46	-67	-51	-51	-86	-45	-73	-45	-66	-27	-76	-44
0 0	-94	-36	-94	-5	-46	-60	-52	-50	-88	-44	-73	-46	-67	-27	-75	-44
800 1 0	-124	-49	-127	-8	-66	-85	-69	-67	-121	-61	-101	-63	-90	-39	-106	-62
0 0	-126	-49	-127	-8	-67	-84	-70	-67	-121	-61	-100	-63	-89	-39	-106	-62

M4C EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA kgf (kg)(2kgf)	A01S	A01I	B01S	B01I	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)											
					A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I
200 2 0	-29	-2	-31	-23	-15	-18	-14	-25	-35	-12	-28	-15	-21	-3	-27	-15
400 5 0	-60	-16	-61	-42	-32	-40	-39	-43	-74	-27	-56	-32	-66	-13	-51	-28
600 7 0	-92	-29	-91	-66	-55	-59	-60	-64	-111	-39	-83	-43	-97	-25	-74	-41
800 10 0	-125	-43	-122	-90	-70	-80	-80	-87	-147	-54	-112	-56	-131	-35	-100	-56
0 5	-139	-32	-120	-92	-117	-65	-79	-80	-146	-55	-115	-62	-135	-68	-97	-67
10 0	-138	-34	-118	-91	-120	-65	-80	-81	-145	-55	-115	-61	-135	-68	-97	-66

valores negativos correspondem a encurtamentos

valores positivos correspondem a alongamentos

carga 1 → valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados H.P.

carga 2 → valores acusados por ponte analógica

T3.50 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 4 - MODELOS M4B e M4C

PONTOS DAS VÍGAS DE BORDA

EFEITO DA PROTENSÃO

M4B EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA kgf (kg)(2kgf)	A05S	A05I	B05S	B05I	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)											
					A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I
200 1 0	-11	3	-14	5	-2	-1	-5	6	0	8	0	-1	1	0	-20	-1
0 0	-12	2	-13	4	-2	-2	-6	6	0	9	-1	-1	1	0	-19	-1
400 3 0	-24	5	-26	10	-4	-2	-9	10	-1	16	-2	-1	0	0	-39	-3
0 0	-24	5	-26	7	-4	-2	-11	8	-1	17	-2	-1	0	0	-40	-2
600 6 0	-32	8	-40	12	-6	-2	-17	13	-3	26	-3	-1	0	-2	-56	-5
0 0	-32	7	-39	12	-7	-2	-17	13	-3	26	-1	-1	0	-2	-58	-5
800 1 0	-45	9	-53	16	-8	-3	-25	14	-2	35	-4	0	0	-6	-71	-9
0 0	-45	10	-52	14	-7	-3	-26	14	-2	35	-3	-1	-1	-5	-71	-8
0 0	-44	9	-53	17	-7	-3	-25	15	-2	35	-3	-1	-1	-5	-70	-9

M4C EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA kgf (kg)(2kgf)	A05S	A05I	B05S	B05I	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)											
					A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I
200 2 0	-31	0	-5	0	-1	0	-9	0	-1	21	-3	0	0	-1	-3	-2
400 5 0	-30	0	-8	3	-6	1	-16	-1	-2	25	-7	-1	1	0	-6	0
600 7 0	-50	2	-10	5	-9	0	-21	0	-7	29	-9	-4	-1	0	-10	-1
800 10 0	-67	2	-16	5	-13	0	-30	-1	-9	32	-12	-6	-2	0	-15	-1
0 5	-65	7	-10	13	-15	-6	-4	3	-16	30	-13	-14	-33	4	-11	-12
10 0	-65	7	-10	20	-31	-5	-4	3	-16	30	-13	-14	-33	4	-11	-12

T3.51 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 4 - MODELOS M4B e M4C

PONTOS DAS VÍGAS DE BORDA

EFEITO DA PROTENSÃO

M4B EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kgf	kgf	A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I
200	0	-12	3	-16	-14	-19	-6	-14	-10	-6	0	-11	4	-10	1	-5	7
400	0	-24	8	-36	-29	-31	-16	-28	-21	-9	4	-22	13	-21	5	-10	14
600	0	-38	13	-53	-44	-56	-23	-42	-33	-13	10	-30	18	-31	7	-16	22
800	0	-52	17	-76	-60	-75	-32	-61	-46	-16	11	-45	26	-43	10	-25	30
	0	-52	17	-76	-60	-75	-30	-59	-47	-14	11	-102	26	-43	9	-26	31

M4C EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kgf	kgf	A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I
200	2	-17	3	-14	-21	-17	1	-17	-19	9	0	-4	6	-8	7	-8	4
400	5	-36	10	-29	-41	-33	5	-34	-35	8	2	-11	10	-15	17	-15	9
600	7	-57	16	-27	-56	-49	7	-52	-53	5	7	-14	17	-22	21	-10	13
800	10	-73	19	-58	-75	-65	10	-70	-72	-16	8	-21	24	-31	5	-28	17
5	0	-72	16	-46	-62	-60	9	-58	-78	14	19	3	33	-28	22	-16	15

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
T3.52
 SÉRIE 4 - MODELOS M4B E M4C
 PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS
 EFEITO DA PROTENSÃO

M4B EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kgf	kgf	A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I
200	0	-2	-23	3	-11	-4	0	2	2	4	0	-4	6	-13	30	8	3
400	0	3	-26	7	-18	-10	0	8	7	7	0	-4	11	-27	33	12	6
600	0	3	-10	10	-26	-14	1	13	10	10	1	-4	14	-34	38	18	9
800	0	3	-14	11	-36	-21	1	18	14	16	2	-6	25	-49	62	23	15
	0	1	-13	12	-36	-20	1	18	14	16	2	-6	24	-48	64	24	14

M4C EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kgf	kgf	A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I
200	2	-1	0	4	0	-4	5	2	7	0	2	1	9	13	1	3	3
400	5	-4	-1	9	0	-5	-2	5	10	-1	3	1	9	12	1	7	9
600	7	0	-18	10	4	-7	-3	5	18	-2	2	5	12	11	4	9	12
800	10	1	-8	13	3	-10	-4	9	24	-3	0	5	15	10	-4	11	16
5	0	5	-7	14	40	3	-16	12	38	-3	-1	31	10	11	12	9	14

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
T3.53
 SÉRIE 4 - MODELOS M4B E M4C
 PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS
 EFEITO DA PROTENSÃO

M4B EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA kgf (kg) (kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S
200 0 0	-1 -1 2 0 -9 -16 -10 4 -29 -1 -5 -12 -13 0 0 -5 -4															
400 3 0 0	-2 4 -2 1 0 -25 -29 -21 6 -18 -3 -9 -27 0 1 -10 -7															
600 6 0 0	-5 3 -1 -39 -39 -44 -30 2 -25 -6 -14 -41 0 3 -13 -9															
800 10 0 0	-11 6 -1 -60 -60 -58 -40 3 -40 -6 -19 -58 -54 2 -20 -13															
800 6 0 0	-9 3 -1 -60 -60 -39 -40 4 -39 -6 -17 -57 -54 -1 -21 -13															

M4C EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA kgf (kg) (kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S
200 2 0 0	0 1 2 -10 -12 -14 0 1 -6 -3 -14 -33 0 7 -7 1															
400 5 0 0	2 3 4 -16 -26 -26 6 5 -11 -10 -24 -54 0 12 -14 0															
600 7 0 0	3 5 0 -23 -40 -42 5 9 -14 -16 -35 -75 0 13 -17 -1															
800 10 0 0	-2 7 -2 -33 -51 -58 7 -5 -20 -22 -42 -97 0 15 -22 0															
800 5 0 0	-10 10 -20 -31 -53 -60 -5 -3 -19 -22 -54 -93 3 11 0 9															
800 10 0 0	-10 11 -20 -42 -54 -60 -5 -3 -20 -22 -54 -100 3 11 0 9															

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

T3.54 SÉRIE 4 - MODELOS M4B E M4C
PONTOS DOS PAINÉIS
EFEITO DA PROTENSÃO

M4B EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA kgf (kg) (kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S
200 0 0	-1 3 0 3 -4 2 1 -4 0 -4 7 -5 -6 2 -15 -2 0															
400 3 0 0	-1 4 0 4 -9 0 1 -9 2 -8 11 -10 -13 3 -34 -5 0															
600 0 0 0	7 0 0 6 -15 10 7 -13 10 17 1 -11 18 -16 -19 5 -51 -7 3															
800 0 0 0	9 0 0 8 -23 5 0 -17 2 16 3 -20 28 -19 -28 11 -70 -6 2															
800 0 0 0	10 6 10 -23 6 0 -16 5 -18 28 -25 -28 12 -71 12 -71 5 2															

M4C EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA kgf (kg) (kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S
200 2 0 0	-1 -1 10 1 -18 -1 -4 -4 767 6 -5 -2 -12 -5 0 2															
400 5 0 0	-1 -1 12 3 -20 -2 -5 -9 774 13 -10 -3 -23 -20 -1 6															
600 7 0 0	-1 -1 8 2 -20 -3 -7 -12 1150 20 -13 -4 -33 -30 -1 10															
800 10 0 0	-2 -2 6 4 -20 -5 -10 -16 1063 25 -19 -5 -45 -46 -1 6 2															
800 5 0 0	-10 -5 -5 9 -24 -8 -8 -7 1095 12 -18 -4 -55 -47 5 12															

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

T3.55 SÉRIE 4 - MODELOS M4B E M4C
PONTOS DOS PAINÉIS
EFEITO DA PROTENSÃO

M4B EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kNf	1(kNf) 2(kNf)	B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I
200	-1 0	-13 -12	-4 -4	-12 -12	-17 -18	2 1	4 5	-2 -2	-1 0	0 0	0 0	-1 -1	-3 -2	-2 -3	-2 -3	-4 -3	2 3
400	3 0	-24 -24	-12 -14	-24 -24	-36 -35	1 0	8 10	-5 -6	-4 -3	-1 0	-2 -2	-4 -3	-9 -11	-4 -4	-4 -4	-8 -9	1 1
600	0 0	-33 -35	-20 -21	-35 -34	-54 -56	0 0	13 12	-11 -9	-5 -6	0 -1	-4 -4	-4 -3	-13 -9	-4 -5	-5 -6	-12 -11	0 1
800	-1 0 0	-48 -48 -49	-30 -29	-46 -48	-73 -72	0 0	18 20	-12 -13	-9 -8	0 0	-5 -5	-8 -8	-10 -12	-5 -7	-5 -7	-18 -18	2 3

M4C EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kNf	1(kNf) 2(kNf)	B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I
200	2 0	-7 -1	6 0	-13 -10	-10 0	0 2	-4 -4	-1 -1	-3 -3	-3 -3	-4 -4	2 2	-4 -4	0 0	-6 -6	2 2	
400	5 0	-15 -15	1 1	-29 -29	-21 -21	-2 7	-7 7	-7 -7	-7 -7	-6 -6	-8 -8	5 5	-5 -5	0 0	-11 -11	1 1	
600	7 0	-21 -21	-1 -1	-45 -45	-31 -31	-4 -4	9 9	-9 -9	-2 -2	-11 -11	-8 -8	-11 -11	7 7	-8 -8	3 3	-18 -18	2 2
800	7 10 5	-28 -28 -11	-7 -7	-61 -56	-43 -44	-4 -6	12 -14	-13 -14	-3 -1	-15 -23	-10 -8	-13 -7	9 5	-9 -15	3 3	-23 -19	2 -2

T3.56 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
 SÉRIE 4 - MODELOS M4B E M4C
 PONTOS DOS PAINÉIS
 EFEITO DA PROTENSÃO

M4B EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kNf	1(kNf) 2(kNf)	A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I	B32S	B32I	B33S	B33I
200	-1 0	-2 -1	3 4	-2 -1	1 1	-1 -2	1 0	-2 -2	-2 -2	0 -1	-2 -2	2 2	2 2	1 1	1 1	1 1	1 1
400	0 3	-1 -1	4 4	-7 -6	4 4	-3 -3	1 1	-3 -4	-4 -4	-1 -1	-4 -4	4 4	4 4	4 4	4 4	4 4	4 4
600	0 0	-1 0	5 5	-8 -7	6 6	-5 -5	1 2	-5 -6	-6 -6	-2 -2	-5 -6	7 7	7 7	5 5	5 5	5 5	5 5
800	-1 0 0	-2 -3	7 7	-13 -12	8 8	-8 -7	4 4	-8 -7	-11 -10	-4 -4	-6 -6	8 7	8 7	5 5	5 5	5 5	5 5

M4C EFEITO DA PROTENSÃO

CARGA		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kNf	1(kNf) 2(kNf)	A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I	B32S	B32I	B33S	B33I
200	2 0	-1 -1	-1 -4	-1 -1	-1 -1	3 1	3 1	-3 -3	-3 -3	0 0	0 0	5 5	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
400	5 0	-1 -1	-1 -7	1 1	-1 -1	7 7	7 7	-3 -6	-6 -6	0 2	2 1	11 11	4 4	4 4	4 4	4 4	4 4
600	7 0	0 0	0 -11	0 1	0 0	10 10	10 10	-5 -5	-6 -6	2 2	1 1	13 13	5 5	5 5	5 5	5 5	5 5
800	7 10 5	-1 -1 0	-1 -12 -10	-1 -3 -16	1 1 -6	1 12 2	12 12 -7	-6 -7	-4 -4	-3 -3	1 8	13 8	5 -35	5 5	5 5	5 5	5 5

T3.57 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
 SÉRIE 4 - MODELOS M4B E M4C
 PONTOS DOS PAINÉIS
 EFEITO DA PROTENSÃO

3.5.2 - Modelo ensaiado assimetricamente: M4B

Como dissemos, o ensaio assimétrico desta série somente foi executado porque este modelo apresentou, durante o processo de cura, pequenas fissuras em um quadrante, e em vista disto resolvemos constituir um outro para o ensaio simétrico, deixando aquele para o assimétrico, que era de menor interesse. Para este ensaio aquelas fissuras, situando-se em quadrante oposto ao que seria carregado, não apresentavam qualquer possibilidade de interferência.

Realmente o ensaio não se fazia necessário, porque somente poderia confirmar a conclusão já obtida do bom comportamento da estrutura a esta solicitação, uma vez que as vigas de bordas se apresentavam fortalecidas pela protensão. Assim este ensaio foi realizado mais para constatarmos se repetia, em igual proporção, a ação benéfica da protensão, já verificada nos ensaios simétricos: não só com relação ao aumento de resistência à ruptura, mas principalmente quanto à capacidade de recuperação do modelo ao ser descarregado, mesmo após ter sido atingido o seu estado de ruína.

Para não prejudicar os trabalhos de construção do M4C, o modelo M4B somente foi ensaiado aos 43 dias. Mas ao atingir a carga o valor de 560 kgf/m^2 as extremidades do pilar se romperam, tornando o conjunto instável e impossibilitando a continuação do carregamento.

Como o modelo se apresentava ainda pouco fissurado, resolvemos repetir o ensaio, porém testando um novo sistema de fixação que servia simultaneamente para fortalecimento do pilar e que está descrito e ilustrado em 2.7.2. Este ensaio só teve lugar quando o modelo já tinha 92 dias, tendo sido atingida uma carga de 860 kgf/m^2 .

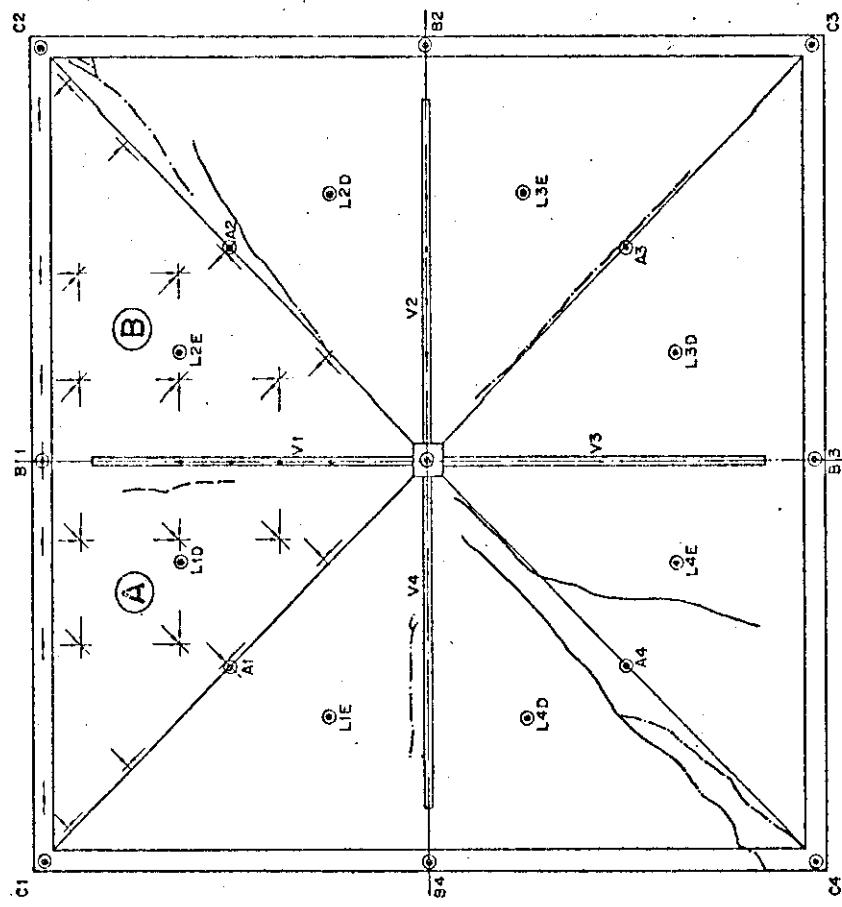
Para este modelo são apresentados, portanto, os resultados de dois ensaios. Somente que, com relação ao

primeiro ensaio, no desenho representativo da evolução das fissuras apenas a vista superior é apresentada, porque somente aí foram constatadas fissuras. Também não são apresentadas as tabelas das deformações, porque irregularidades no funcionamento da perfuradora de papel, por ocasião do ensaio, prejudicaram os registros e o consequente processamento.

Das características do micro-concreto somente são apresentadas as resistências à compressão e à tração de corpos de prova ensaiados aos 43 dias.

MODELO	IDADE	σ_{ck} (kgf/cm ²) COMPR. C.P. 5x10								MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M4B	44	318,3	275,0	356,5	280,1	364,1	241,9			306,0	48,6
MODELO	IDADE	σ_{tsk} (kgf/cm ²) COMPR. DIAMETRAL DE C.P. 5x10								MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M4B	43	35,0	28,0	31,8	33,1	23,9	22,9	38,2		30,4	5,7

VISTA SUPERIOR

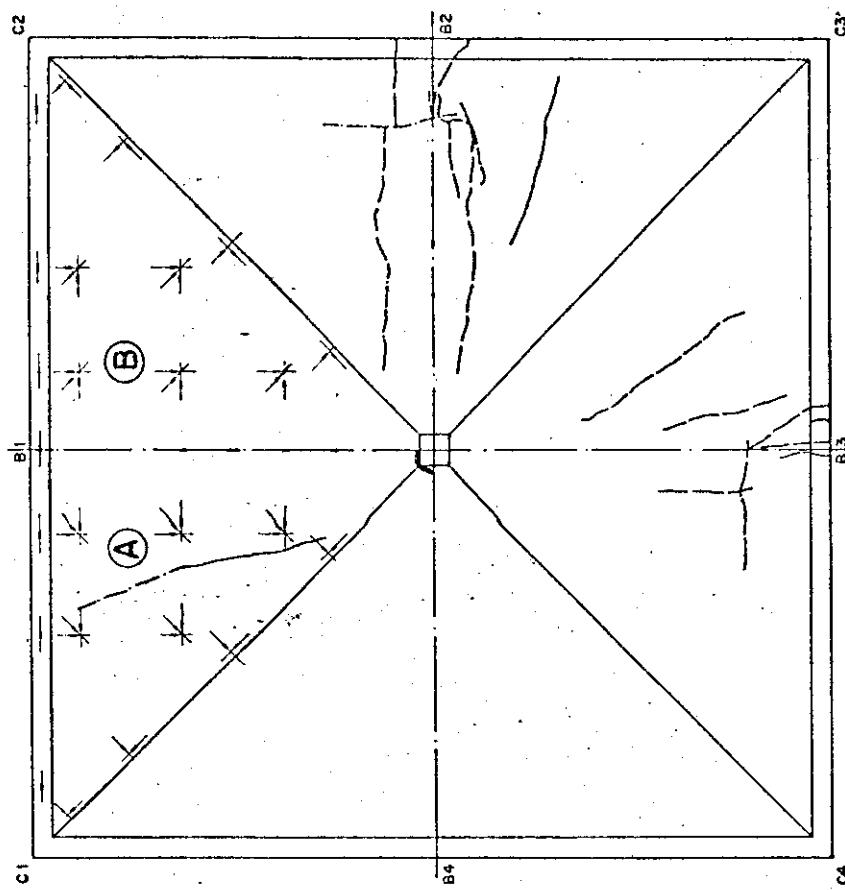


Lenda
— 410 - 460 kgf/cm²
— 460 - 510 kgf/cm²
— 510 - 560 kgf/cm²

Escala 1:10

D5.21
SÉRIE 4 - MODELO M4B
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

VISTA INFERIOR



Legenda
Escala 1:10
— 660 - 710 kg/cm²
- - - 710 - 760 kg/cm²
--- 760 - 810 kg/cm²

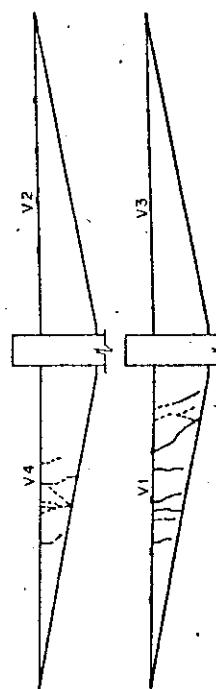
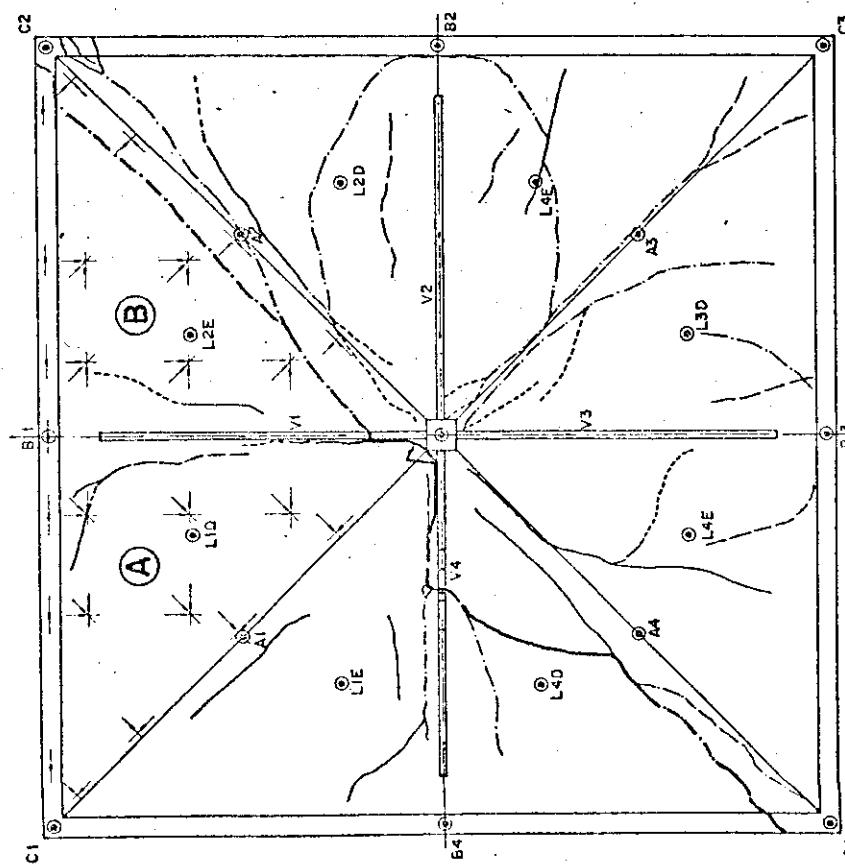
$Q_a = 860 \text{ kg/f}^2$

Estas mesmas linhas, quando grossas, indicam a configuração de ruptura

D 3.22

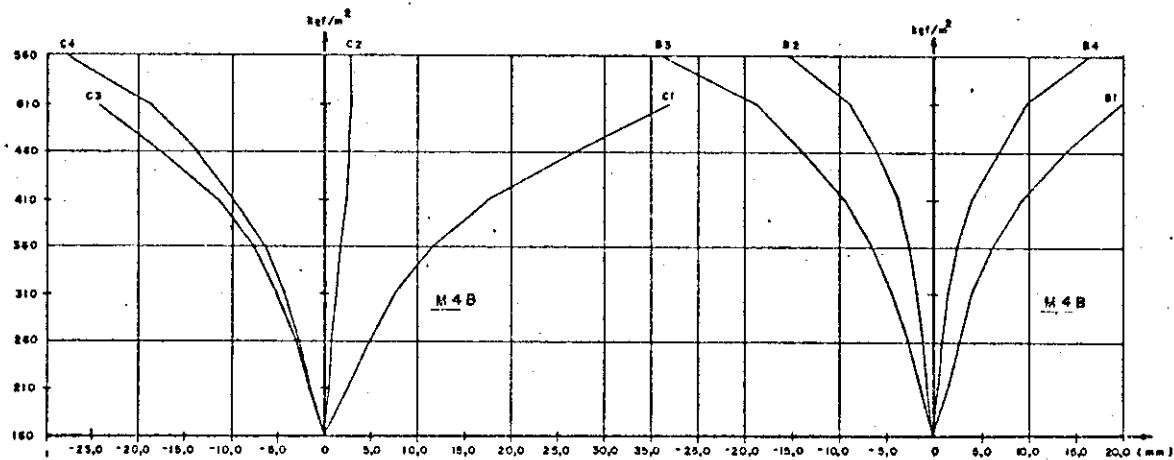
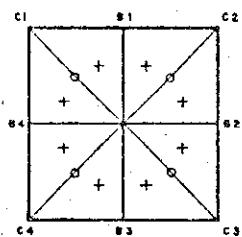
SÉRIE 4 — MÓDELO M4B
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

VISTA SUPERIOR



DESLOCAMENTOS - SÉRIE 4 - ENSAIO ASSIMÉTRICO (mm)									
FASE	CARGA kgf/m ²	CANTOS (C1)				MEIO DAS VIGAS DE BORDA (B1)			
		C1	C2	C3	C4	B1	B2	B3	B4
0	160	0	0	0	0	0	0	0	0
1	210	2,60	0,50	-1,70	-1,60	1,56	-0,70	-1,80	0,57
2	260	4,90	0,80	-3,10	-2,80	2,77	-1,10	-2,70	1,07
3	310	7,60	1,40	-5,20	-4,40	4,05	-1,80	-4,50	1,66
4	360	11,60	1,80	-7,60	-6,40	6,24	-2,60	-6,80	2,58
5	410	17,60	2,50	-11,30	-9,70	9,37	-3,90	-9,50	4,13
6	460	27,00	2,60	-17,30	-13,60	14,24	-6,20	-13,90	6,98
7	510	37,10	3,00	-24,10	-18,30	20,01	-8,80	-18,70	9,79
8	560		2,70		-27,10		-18,20	-28,60	16,65

M 4 B

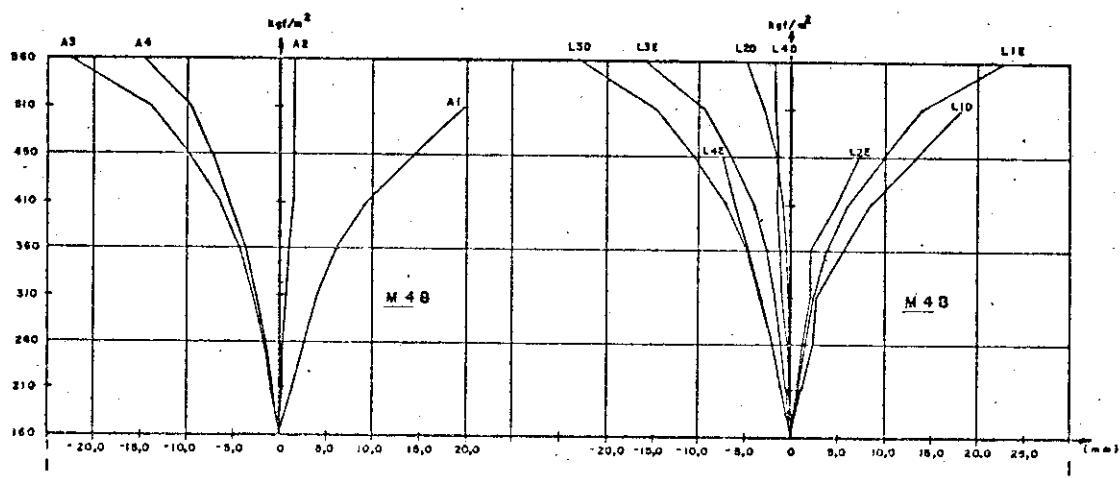
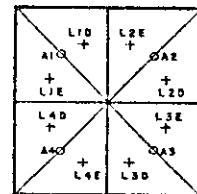


G3.29 SÉRIE 4 ENSAIO ASSIMÉTRICO
DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (C1) E
DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1)

3.109

FASE	CARGA kg/m ²	MEIO DAS ARESTAS (AI)				LADOS DAS ARESTAS (LEI, LD)							
		A1	A2	A3	A4	LEI	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D
0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	210	1,44	0,31	-0,33	-0,31	0,94	1,24	0,75	-0,18	-0,40	-1,10	-1,03	-0,22
2	260	2,72	0,40	-1,78	-1,47	1,78	2,45	1,41	-0,28	-1,12	-1,89	-1,90	-0,34
3	310	4,11	0,61	-2,93	-2,54	2,93	2,84	2,20	-0,30	-1,76	-3,52	-3,28	-0,98
4	360	6,25	1,12	-4,31	-3,63	3,97	5,73	2,25	-0,49	-2,67	-4,65	-4,49	-1,17
5	410	9,49	1,61	-8,40	-5,39	5,20	8,59	4,93	-0,89	-4,06	-8,98	-6,00	-1,48
6	460	14,66	1,62	-13,78	-7,26	10,02	13,46	7,37	-1,62	-6,51	-10,57	-7,38	-1,30
7	510	19,97	1,60	-13,62	-9,50	13,98	18,36		-2,79	-9,32	-14,61		-1,68
8	560		1,59	-21,90	-14,21	22,59			-6,87	-18,48	-22,42		-1,61

M 4 B

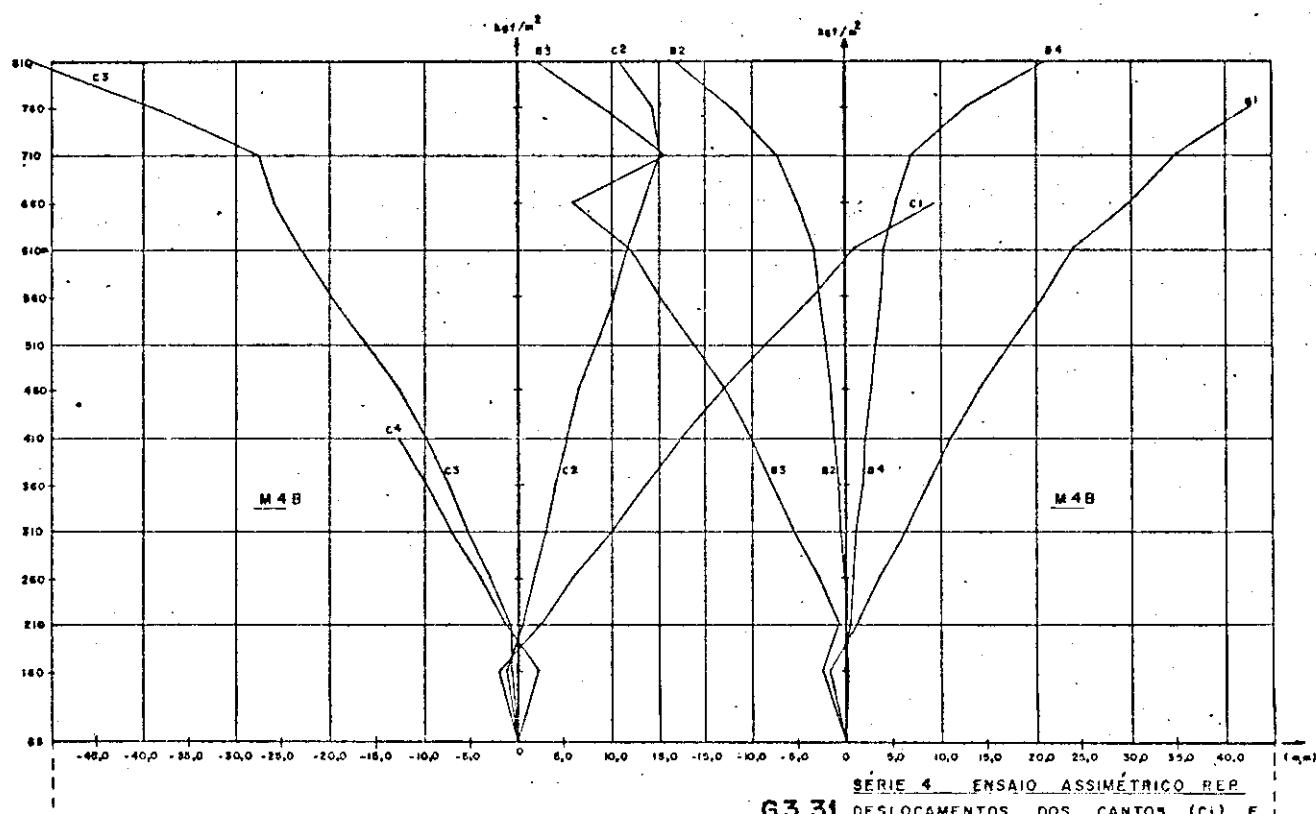
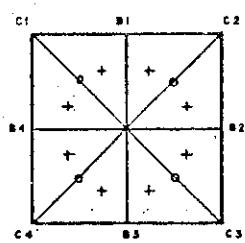


G3.30 SÉRIE 4 ENSAIO ASSIMÉTRICO
DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (AI)
E DOS LADOS DAS ARESTAS (LEI, LD)

3.110

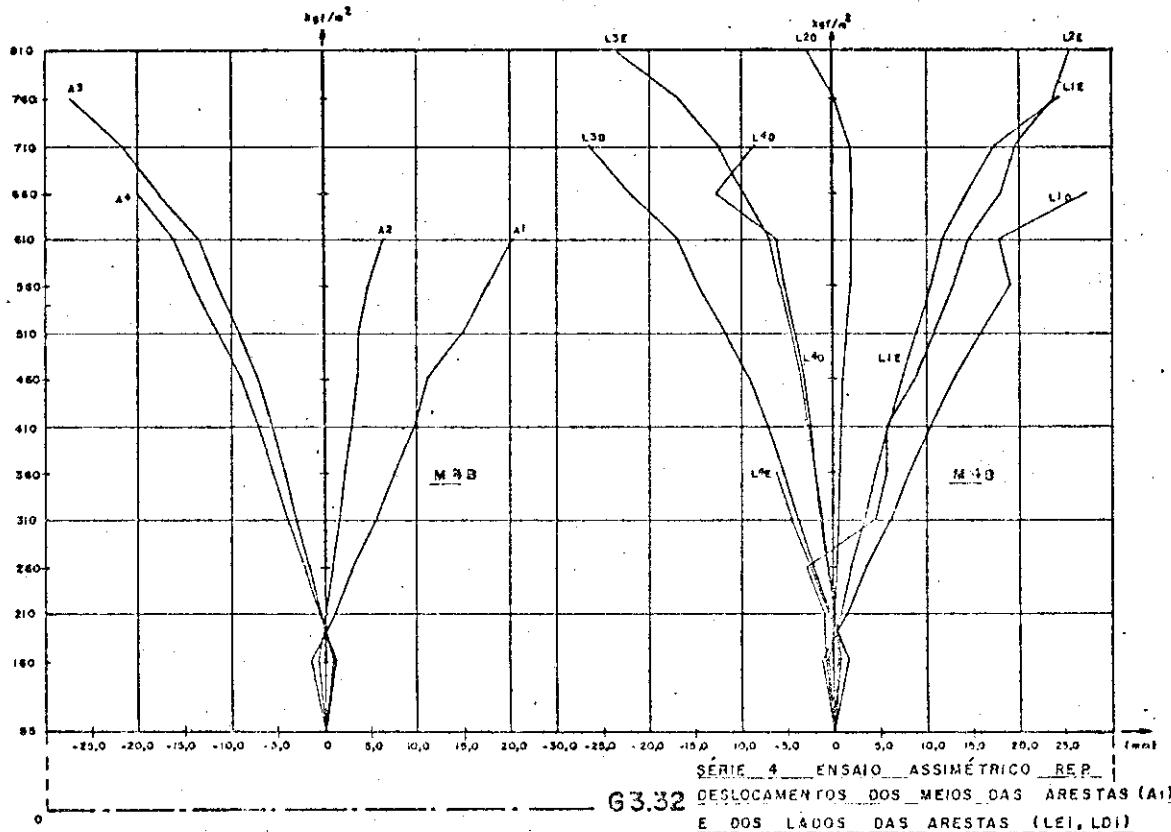
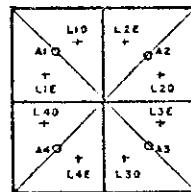
DESLOCAMENTOS - SÉRIE 4 - ENSAIO ASSIMÉTRICO (REP)									
FASE	CARGA kN/m ²	CANTOS (C _i)				MEIO DAS VIGAS DE BORDA (B _i)			
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
0	85	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	-2,10	-1,35	-0,90	2,17	-1,70	0,40	2,40	-0,20
2	210	2,40	0,43	-0,90	-1,41	1,40	-0,10	-0,70	0,60
3	260	5,60	1,67	-3,00	-4,02	3,70	-0,10	-2,80	0,90
4	310	10,10	2,99	-5,50	-7,29	6,50	-0,50	-5,50	1,30
5	360	15,70	4,03	-7,60	-9,87	8,80	-0,70	-7,70	2,00
6	410	17,50	5,28	-9,90	-12,79	11,30	-1,10	-10,00	2,30
7	460	21,90	6,55	-12,60		14,20	-1,50	-12,60	2,90
8	510	24,60	8,49	-16,00		17,60	-2,00	-16,10	3,40
9	560	31,60	10,41	-19,70		21,10	-2,70	-19,70	3,90
10	610	35,90	11,77	-23,00		24,10	-3,30	-22,80	4,20
11	660	44,50	13,43	-25,80		30,10	-5,10	-29,00	5,50
12	710		15,23	-27,50		35,00	-7,30	-19,10	7,10
13	760		14,43	-38,80		42,80	-12,00	-23,70	12,70
14	810		10,78	-52,00			-18,10	-33,00	21,30

M 4 B



FASE	CARGA kg/m ²	MEIOS DAS ARESTAS (A1)				LADOS DAS ARESTAS (LEI, LD1)							
		A1	A2	A3	A4	LEI	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D
0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	1,42	-0,74	1,03	1,36	-0,58	-1,23	-0,88	-0,15	0,73	1,62	1,85	0,97
2	210	1,19	0,28	-0,46	-0,81	1,00	1,62	-0,87	0,16	-0,09	-0,30	-0,57	0,19
3	260	3,70	1,00	-1,68	-2,16	2,08	3,63	-2,73	0,40	-0,72	-2,09	-2,41	-0,56
4	310	5,74	1,78	-3,11	-4,01	3,55	6,22	4,37	0,65	-1,45	-3,82	-4,44	-1,21
5	360	7,70	2,35	-4,32	-5,30	4,71	8,24	5,80	0,80	-2,03	-3,59	-4,16	-1,90
6	410	9,88	3,14	-5,61	-7,06	6,01	10,52	5,80	1,07	-2,70	-7,12	-	-2,41
7	460	11,34	3,80	-7,11	-8,86	7,53	13,06	8,87	1,23	-3,53	-9,06	-	-3,11
8	510	15,10	5,82	-9,05	-11,26	9,09	16,07	10,93	1,80	-4,55	-11,61	-	-4,11
9	560	17,85	4,85	-11,25	-15,63	10,65	19,14	12,98	1,98	-5,70	-14,48	-	-5,21
10	610	20,46	6,59	-13,21	-16,91	11,93	17,86	14,70	2,09	-6,84	-16,81	-	-6,14
11	660		8,06	-17,31	-19,81	14,57	27,20	18,15	2,16	-9,52	-21,91	-	-12,81
12	710		8,54	-21,37		17,38		19,72	1,80	-12,19	-26,38	-	-6,44
13	760		8,26	-26,92		24,19		23,80	0,15	-16,64		-	-6,85
14	810		6,25					25,60	-2,64	-23,12		-	-6,41

M 4B



M4B

CARGA kg/m ² (kN/m ²)	2kgf	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																	
		A01S	A01I	B01S	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I		
162	48	72	101	-245	-2	7	261	-36	-5	4	0	0	49	5	202	-7	-20		
	48		102	-244	-3	6	266	-39	-4	-8	-26	20	0	50	5	207	-7	-21	
212	79	136	414	-135	-23	39	1262	-185	34	-126	-88	56	79	164	77	926	17	-175	
	82		415	-135	-23	39	1267	-187	34	-126	-90	57	78	164	76	928	17	-175	
262	129	200	457	-144	-20	37	1412	-194	52	-153	-105	68	103	176	94	1041	28	-201	
	126		455	-144	-20	37	1407	-193	52	-153	-104	68	104	176	117	1400	28	-202	
312	176	264	615	-189	-27	47	1929	-260	81	-222	-141	92	152	232	136	1422	43	-281	
	176		620	-187	-25	50	1934	-264	81	-221	-140	92	155	234	136	1428	43	-282	
362	314	323	91	-9	53	-29	277	6	61	-64	-62	53	59	37	42	289	18	-41	
	314		97	-12	53	-28	283	7	62	-66	-61	54	59	36	43	278	18	-40	
412	360	392	143	-16	59	-30	449	-6	77	-91	-79	65	79	51	60	406	25	-69	
	360		146	-19	58	-31	461	-7	78	-92	-81	66	79	52	62	413	25	-71	
462	429	456	147	-5	74	-42	483	2	96	-99	-92	77	87	50	70	434	30	-74	
	424		158	-6	74	-39	506	-5	96	-103	-92	77	88	53	71	448	32	-77	
512	491	520	171	-5	89	-49	550	3	114	-123	-106	90	110	58	81	504	36	-86	
	488		169	-6	89	-48	543	3	114	-121	-106	90	105	57	80	499	36	-87	
562	653	584	610	275	206	-162	-1900	404	77	141	10	32	-61	-235	-64	-1242	-7	286	
	652		614	276	209	-162	-1912	403	77	143	10	32	-62	-236	-65	-1249	-7	288	
612	708	648	623	293	227	-173	-1933	417	91	141	1	44	-62	-239	-64	-1254	-7	294	
	708		624	292	224	-174	-1931	415	88	141	0	44	-64	-238	-65	-1253	-8	293	
662	783	712	629	304	251	-185	-1955	422	105	135	-18	67	-61	-235	-67	-1241	-14	304	
	783		304	252	-187	-1953	427	105	137	-19	67	67	-61	-235	-68	-1242	-14	304	
712	833	776	640	297	257	-192	-2023	-2897	101	134	-44	95	-52	-225	-79	-1218	-20	317	
	833		640	297	257	-191	-2026	425	99	134	-44	94	-51	-224	-80	-1217	-21	317	
762	793	840	923	-241	78	23	2859	-352	210	-407	-328	271	314	352	217	2328	54	-407	
	792		-230	-84	19	2778	-342	208	-402	-324	270	310	355	214	2289	53	-398		
812	949	904	-606	275	341	-170	-2064	408	119	135	-74	160	-43	-217	-82	-1177	-147	395	
	946		-623	282	349	-174	-2113	418	120	137	-76	173	-46	-223	-85	-1205	-151	403	
862	1018	1027	968	-632	264	320	-254	-2244	375	50	160	-223	942	-98	-165	-216	-1135	-139	405
	998		-636	264	317	-262	-2250	375	47	165	-235	940	-102	-163	-223	-1137	-142	405	
85	67	0	-45	-52	20	5	-530	-60	-82	112	-236	593	-129	95	-195	264	-151	119	
	37		-81	8	11	-26	-28	-70	46	-236	602	-96	154	-174	401	-155	127		

valores negativos correspondem a encurtamentos
valores positivos correspondem a alongamentos

***** + valor superior a 9999

carga inicial: 85 kgf/m²

carga 2 + valores acusados por ponte analógica

carga 1 + valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados H.P.

carga de protensão nas vigas de borda: 800 kgf

M4B

CARGA kg/m ² (kN/m ²)	2kgf	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																	
		A05S	A05I	B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I		
162	48	72	-1	-4	14	-54	1	23	-92	-31	42	35	7	-1	143	-18	49	33	
	48		-1	-3	14	-55	2	23	-95	-32	43	34	6	0	146	-18	50	34	
212	79	136	14	-18	55	-266	-10	99	-494	-143	193	161	11	22	705	-47	162	196	
	82		13	-16	55	-266	-10	99	-465	-145	194	162	12	24	705	-47	161	197	
262	129	200	20	-25	73	-303	-7	116	-542	-168	223	178	14	20	811	-57	232	218	
	126		21	-24	74	-302	-6	115	-541	-168	221	178	13	20	810	-57	232	219	
312	176	264	37	-38	104	-417	-8	157	-744	-231	305	237	17	26	1122	-76	329	303	
	176		37	-37	104	-419	-8	160	-749	-233	306	237	16	30	1128	-76	330	305	
362	314	323	56	-39	93	-95	28	59	-124	-74	83	9	17	-34	295	-60	363	17	
	314		56	-39	92	-98	28	58	-119	-73	80	3	17	-34	301	-59	362	12	
412	360	392	65	-48	115	-140	32	76	-184	-100	108	23	17	-37	418	-74	438	35	
	360		65	-49	115	-140	31	77	-188	-101	110	24	18	-37	423	-73	437	38	
462	429	456	73	-59	139	-150	40	88	-196	-115	117	19	15	-47	468	-85	528	29	
	424		72	-59	138	-154	38	89	-204	-118	121	20	17	-45	478	-86	527	33	
512	491	520	90	-67	166	-174	62	100	-228	-130	128	22	18	-55	548	-96	612	39	
	488		-66	164	-173	60	99	-225	-130	126	20	17	-54	542	-96	612	37		
562	653	584	100	-66	154	325	182	-56	735	111	-215	-317	16	-148	-727	-66	648	-409	
	652		-65	153	326	183	-57	736	112	-218	-319	16	-148	-733	-66	647	-409		
612	708	648	107	-71	179	325	286	-53	744	105	-215	-332	11	-158	-715	-74	727	-420	
	708		106	-71	179	324	287	-53	743	104	-216	-331	10	-159	-713	-74	728	-421	
662	783	712	110	-73	202	321	393	-38	741	92	-220	-351	0	-174	-676	-84	1044	-429	
	783		109	-72	202	322	393	-38	741	92	-221	-350	1	-173	-676	-84	1048	-431	
712	833	776	128	-71	218	305	468	-34	721	87	-230	-386	-5	-180	-563	-81	****	-315	
	833		129	-71	218	305	467	-36	720	88	-230	-385	-6	-181	-548	-81	****	-315	
762	793	840	171	-87	314	-715	470	293	-1237	-603	461	256	8	-30	3766	-173	****	547	
	840		171	-87	312	-703	472	290	-1217	-397	453	250	8	-31	3761	-173	****	543	
812	949	904	146	-63	100	353	624	-33	667	142	-234	-397	2	-133	3537	-97	****	-314	
	946		147	-64	98	362	638	-35	681	146	-240	-405	1	-136	3708	-100	****	-321	
862	1018	1027	968	-8	53	387	606	-72	638	196	-256	-409	3	-39	****	-154	****	-328	
	968		-9	65	380	601	-73	639	194	-256	-408	2	-37	****	-156	****	-331		
85	67	0	-116	74	-113</td														

M4B

CARGA			DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kg/m ²	(kgf)	2(kgf)	A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I
162	48	72	26	-5	-33	-56	-18	5	-45	36	-23	-78	-92	-46	-2	33	-103	7651
162	48	72	25	-4	-32	-58	-18	7	-46	37	-25	-79	-94	-47	-1	34	-105	7795
212	79	136	49	29	-120	-328	-83	27	-205	161	-243	-291	-512	-252	-4	164	-491	****
212	82	136	47	31	-122	-328	-82	27	-205	160	-242	-298	-513	-250	-4	165	-491	****
262	129	200	51	41	-134	-371	-87	27	-233	183	-277	-333	-584	-287	-3	182	-552	****
262	126	200	50	40	-133	-372	-85	26	-232	184	-277	-331	-584	-286	-5	181	-552	****
312	176	264	60	64	-177	-514	-115	33	-317	251	-395	-445	-806	-398	-2	249	-757	****
312	176	264	60	65	-179	-516	-115	34	-319	252	-396	-447	-811	-400	-2	250	-760	****
362	314	323	21	27	-43	-103	0	-29	-79	75	-54	-104	-181	-99	6	37	-177	****
362	314	323	20	26	-42	-96	0	-29	-78	74	-54	-97	-164	-112	5	34	-174	****
412	360	392	25	37	-59	-151	-6	-32	-113	101	-85	-139	-252	-134	4	57	-250	****
412	360	392	24	37	-59	-154	-8	-30	-114	103	-88	-140	-256	-136	5	59	-254	****
462	429	456	23	44	-65	-165	-2	-38	-124	115	-92	-144	-275	-145	6	58	-271	****
462	424	456	24	46	-68	-171	-1	-38	-127	117	-96	-149	-285	-149	6	60	-279	****
512	491	520	26	54	-70	-190	4	-47	-141	133	-111	-163	-316	-167	11	67	-307	****
512	491	520	25	54	-69	-188	3	-46	-139	133	-109	-160	-311	-157	10	65	-302	****
562	653	584	-35	-6	125	450	186	-137	227	-138	436	371	671	312	23	-263	609	51
562	652	584	-35	-6	125	452	186	-137	229	-140	438	372	675	315	23	-264	613	-3
612	708	648	-34	-1	125	453	198	-147	223	-132	448	376	674	314	23	-269	611	-153
612	708	648	-33	-1	124	452	195	-144	224	-130	447	375	673	313	22	-267	610	-152
662	783	712	-33	4	122	451	217	-158	216	-117	457	374	666	319	21	-269	601	-142
662	783	712	-31	4	122	451	219	-161	215	-117	458	373	666	313	21	-269	599	-142
712	833	776	-30	6	146	458	247	-172	211	-92	470	377	670	311	4	-266	597	-139
712	833	776	-30	6	147	458	247	-171	210	-93	471	376	669	311	5	-266	596	-138
762	703	840	93	147	-241	-828	-66	-44	-542	482	-604	-679	-1312	-671	-26	387	-1224	****
762	698	840	92	146	-238	-821	-64	-45	-541	482	-607	-681	-1309	-666	-27	384	-1219	****
812	949	904	-7	3	140	476	280	-228	181	-80	512	365	662	292	-4	-260	563	-96
812	946	904	-7	2	141	484	284	-233	185	-82	523	373	676	289	-2	-268	575	-93
862	1018	963	-9	7	176	483	3065	-205	-12	654	499	391	681	271	50	-236	484	88
862	1027	963	-8	5	177	488	3145	-202	-19	672	504	390	684	274	50	-236	483	93
85	67	0	117	-28	37	366	1287	34	-176	540	217	96	234	169	-45	-36	-50	118 ****

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

T3.60 SÉRIE 4 - MODELO M4B

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

CARGA			DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kg/m ²	(kgf)	2(kgf)	A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I
162	48	72	-17	-30	5	-200	-66	56	-12	-61	38	-3	-140	25	-40	74	21	15
162	48	72	-19	-30	5	-203	-67	57	-11	-63	39	-3	-142	26	-42	75	23	13
212	79	136	-151	-85	30	-963	-334	295	-44	-275	147	0	-650	153	-8	-15	125	115
212	82	136	-145	-86	30	-965	-334	285	-43	-275	146	0	-651	153	-7	-15	126	113
262	129	200	-166	-95	32	-1090	-373	321	-47	-319	163	7	-732	173	51	-40	141	133
262	126	200	-164	-95	33	-1090	-373	321	-48	-310	163	5	-738	173	52	-40	141	133
312	176	264	-233	-123	42	-1494	-511	438	-64	-423	218	12	-1009	239	122	-109	192	187
312	176	264	-235	-123	42	-1501	-514	440	-64	-425	220	12	-1014	241	123	-109	194	188
362	314	323	-25	-36	3	-353	-103	125	-13	-101	51	37	-256	35	319	61	17	49
362	314	323	-36	-33	3	-327	-95	71	-13	-95	47	37	-247	33	319	62	17	45
412	360	392	-61	-42	-1	-486	-146	113	-20	-139	68	47	-353	55	396	36	33	67
412	360	392	-62	-42	-2	-492	-149	116	-20	-139	68	47	-356	58	396	36	34	68
462	429	456	-67	-43	1	-524	-156	119	-22	-150	67	62	-384	62	521	28	34	77
462	424	456	-69	-43	2	-539	-163	124	-22	-154	71	61	-398	65	529	27	34	77
512	491	520	-75	-46	0	-596	-176	135	-23	-168	72	79	-435	71	666	19	33	87
512	491	520	-76	-45	-1	-585	-170	130	-23	-166	72	79	-431	71	666	19	33	87
562	653	584	232	89	-70	1217	474	-438	53	336	-193	119	750	-245	987	303	-239	-133
562	652	584	233	90	-70	1225	477	-439	52	338	-194	120	755	-245	987	306	-239	-133
612	708	648	238	92	-73	1226	483	-447	53	339	-200	138	752	-248	1144	319	-248	-129
612	708	648	235	92	-73	1226	482	-447	54	338	-199	138	752	-247	1145	319	-248	-131
662	783	712	234	92	-76	1218	495	-459	52	337	-208	163	739	-247	1517	319	-261	-125
662	783	712	238	90	-77	1216	494	-459	53	335	-207	163	740	-247	1521	321	-263	-125
712	833	776	243	95	-81	1227	497	-462	-41	397	-213	182	742	-247	1574	345	-251	-127
712	833	776	244	95	-81	1226	496	-462	-41	397	-212	182	742	-247	1571	346	-250	-127
762	703	840	-157	48	-2387	-754	639	-232	-614	303	162	-1660	381	1282	-215	285	316	
762	698	840	-156	47	-2373	-749	638	-232	-611	303	163	-1657	380	1280	-214	286	315	
812	949	904	233	113	-91	1207	541	-505	-113	427	-229	283	734	-254	1337	-43	-119	-137
812	946	904	237	116	-93	1233	553	-516	-114	436	-233	290	750	-259	1838	377	-242	-141
862	1018	963	234	152	-98	1232	545	-487	-118	425	-302	848	765	-266	****	590	-301	-176
862	1027	963	234	150	-97	1235	545	-489	-119	425	-300	853	767	-266	****	589	-302	-177
85	67	0	40	38	-7	202	54	-83	-93	112	-50	273	102	-38	****	190	-69	-62

M48

CARGA kg/m ² (kg/t)	DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)	A175 A171 A185 A181 A195 A191 B175 B171 B185 B181 B195 B191 A205 A201 A215 A211															
		A175	A171	A185	A181	A195	A191	B175	B171	B185	B181	B195	B191	A205	A201	A215	A211
162 48 48	72 32	31 -5	85 -2	21 -3	21 22	48 -109	6 4	-31 14	15 -16	-11 -11	-28 -26	-97 -96	-92 -92				
212 79 82	136 214	-74 429	-32 -19	92 251	-512 35	-185 74	-118 73	-121 -121	-96 -96	-91 -91	-558 -558	-386 -386					
262 129 126	200 246	-91 487	-29 -25	114 284	-572 44	-208 86	-138 86	-114 -114	-96 -96	-637 -637	-427 -427						
312 176 176	264 351	-132 667	-40 -33	156 391	-781 62	-291 118	-195 119	-162 119	-126 119	-881 -881	-574 -574						
362 314 314	326 80	-48 156	5 -12	76 63	-176 28	-61 30	-51 30	-45 30	-20 30	-194 -194	-107 -107						
412 360 360	392 118	-64 211	2 -16	94 89	-245 36	-90 41	-70 41	-64 40	-31 40	-286 -286	-150 -150						
462 429 424	450 131	-77 227	5 -19	109 89	-271 40	-102 44	-83 44	-75 45	-31 45	-323 -323	-163 -163						
512 491 488	520 150	-87 257	16 -20	126 102	-297 49	-113 52	-93 52	-84 50	-31 50	-355 -355	-171 -171						
562 653 652	584 272	50 -555	91 12	-3 -4	-418 658	-8 248	-90 133	104 105	129 129	721 725	565 567						
612 708 708	640 273	44 -561	100 7	8 9	-436 660	-6 249	-91 131	100 99	130 129	722 721	576 576						
662 783 783	712 270	39 -559	118 6	27 27	-448 657	0 -1	248 248	-88 129	99 128	128 128	717 717	581 581					
712 833 833	770 275	38 -566	150 13	48 -453	654 7	246 -86	137 138	94 94	133 133	724 724	594 593						
762 762 698	840 609	-259 1091	72 -44	322 568	-1265 139	-501 501	205 205	-330 313	-184 314	-1451 -1455	-877 -879						
812 949 946	904 179	3 -575	203 23	32 33	-462 662	22 23	239 243	-74 134	40 42	168 172	692 707	616 630					
862 1018 1027	968 1512	-322 252	36 -61	110 497	694 0	265 266	-73 173	176 176	13 14	186 186	699 701	646 645					
85 67 37	0 774	-127 343	-26 -28	-46 74	-238 82	-154 207	-38 126	125 132	-21 -14	-30 107	42 52	224 312	157 235				

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

T3.62 SÉRIE 4 - MODELO M48 PONTOS DOS PAINéis

M48

CARGA kg/m ² (kg/t)	DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)	A225 A221 B205 B201 B215 B211 B225 B221 A235 A231 A245 A241 A255 A251 B235 B231														
		A225	A221	B205	B201	B215	B211	B225	B221	A235	A231	A245	A241	A255	A251	B235
162 48 48	72 58	-30 79	-15 24	43 44	-11 -11	-7 -143	41 41	-10 -11	-35 49	-18 49	-34 -34	-30 -29				
212 79 82	136 233	-123 397	-54 118	191 191	-46 -46	-55 -564	170 172	-53 -52	-199 227	-109 228	-163 -164	-139 -138				
262 129 126	200 259	-133 455	-65 141	203 215	-51 -61	-750 191	-52 191	-228 256	-118 256	-189 -189	-149 -149					
312 176 176	264 348	-181 627	-87 195	290 291	-69 -45	-88 -1023	258 259	-69 -69	-316 347	-161 350	-263 -263	-203 -204				
362 314 328	72 72	-32 153	-57 79	38 38	-18 -18	-22 -217	51 48	9 9	-75 68	-3 -69	-76 -75	-20 -18				
412 360 392	101 103	-47 213	-71 103	59 61	-24 -25	-32 -314	70 71	5 5	-109 101	-110 103	-14 -16	-103 -106	-34 -34			
462 429 424	107 108	-50 234	-85 117	58 60	-28 -29	-38 -345	73 75	7 7	-123 110	108 110	-11 -11	-119 119	-31 -33			
512 491 520	117 117	-52 266	-94 136	65 63	-30 -38	-373 83	13 82	13 13	-132 120	119 119	-1 -1	-133 133	-24 -23			
562 653 652	-316 179	-481 482	-40 -51	-327 46	46 64	885 890	-238 240	133 134	-246 248	-314 316	238 239	157 159	261 263			
612 708 708	-319 184	-477 477	-54 38	-335 41	41 67	893 892	-243 243	137 137	250 249	-319 318	250 251	152 152	277 277			
662 783 783	-319 185	-471 472	-62 -31	-338 339	39 66	887 887	-242 242	143 143	255 255	-320 320	262 262	137 138	306 306			
712 833 770	-322 190	-502 502	-40 -49	-327 -325	15 92	902 902	-243 242	148 149	269 268	-326 326	282 282	131 129	359 359			
762 762 698	840 551	-269 1031	-187 368	444 445	-149 -149	-119 -1614	408 411	-76 -76	-505 545	-191 547	-499 -547	-115 -116				
812 949 946	-302 208	-485 497	-54 -9	-344 -352	12 15	909 100	-220 927	134 224	288 136	-345 297	305 352	86 312	509 90	533 533		
862 1018 1027	968 216	-296 -621	34 -121	-259 -259	32 70	942 944	-228 237	122 120	362 359	-348 349	354 349	93 92	536 539			
85 67 37	0 1	52 -118	-34 -63	-31 -34	26 -30	83 55	160 -12	-10 -12	-25 112	17 75	-17 17	109 72	69 52	270 207		

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

T3.63 SÉRIE 4 - MODELO M48 PONTOS DOS PAINéis

M4B

kg/mm ²	CARGA kg/mm ²	DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)																
		B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I	
162	48	72	-79	-62	-1	-12	6	99	-8	-23	35	5	-75	-34	-12	-32	-78	13
	48		-78	-61	-93	-12	5	99	-8	-22	35	4	-75	-32	-12	-32	-77	13
212	79	136	-382	-303	-1	-91	31	480	-34	-133	173	0	-341	-209	-23	-189	-335	12
	82		-382	-303	0	-93	32	480	-34	-131	171	2	-342	-209	-22	-188	-336	10
262	129	200	-429	-343	0	-108	35	543	-39	-146	191	5	-378	-241	-21	-219	-375	12
	126		-504	-345	2	-109	34	543	-38	-147	191	6	-379	-248	-19	-263	-376	12
312	176	264	-587	-474	3	-152	47	745	-52	-203	262	5	-517	-343	-24	-305	-510	10
	176		-589	-475	1	-152	44	748	-52	-206	263	4	-519	-343	-24	-306	-512	9
362	314	328	-113	-114	10	-44	0	155	-24	-45	26	33	-104	39	10	-81	-109	7
	314		-110	-113	11	-44	0	149	-23	-42	26	34	-102	34	10	-79	-108	7
412	360	392	-166	-162	11	-62	1	225	-31	-68	48	37	-151	3	12	-112	-158	5
	360		-168	-165	11	-63	2	227	-32	-69	48	44	-154	2	14	-113	-161	5
462	429	456	-181	-179	14	-72	0	243	-35	-79	46	45	-164	-12	19	-127	-173	2
	424		-183	-184	14	-74	0	248	-37	-81	50	45	-167	-14	20	-129	-177	2
512	491	520	-197	-197	18	-80	2	270	-38	-83	49	55	-176	-36	26	-145	-190	4
	488		-196	-195	18	-80	3	269	-39	-83	49	55	-175	-33	27	-144	-189	4
562	653	584	539	365	29	90	-69	-649	5	159	-315	100	463	381	78	211	427	0
	652		542	366	29	91	-70	-651	5	160	-316	100	465	394	78	213	430	1
612	708	649	547	368	31	89	-69	-655	1	158	-328	111	468	422	84	207	428	3
	708		546	367	31	89	-72	-654	0	158	-328	110	467	419	84	208	427	2
662	783	712	547	370	37	88	-71	-655	-4	154	-340	126	466	412	92	201	424	5
	783		546	370	35	89	-72	-654	-2	155	-340	126	467	412	92	200	424	5
712	833	776	562	381	39	94	-64	-663	-4	163	-360	145	454	423	91	201	427	11
	833		562	380	40	95	-65	-664	-5	162	-359	145	454	418	90	201	426	11
762	703	840	-917	-766	26	-256	66	*****	-97	-330	356	98	-828	-494	7	-545	-831	21
	698		-920	-766	26	-258	67	*****	-98	-331	360	98	-833	-500	8	-548	-836	21
812	949	904	574	397	52	94	-58	-655	-6	185	-384	209	472	333	112	180	428	18
	946		586	406	53	98	-56	-668	-5	190	-392	214	481	351	116	183	435	20
862	1018	968	596	442	55	146	-33	-694	-37	478	-561	2095	478	410	81	220	414	76
	1027		597	443	54	147	-34	-694	-38	493	-565	2287	477	411	78	221	413	78
85	67	0	183	202	24	38	12	-90	-41	216	-161	1356	-30	227	-30	35	-67	81

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

T3.64 SÉRIE 4 - MODELO M4B PONTOS DOS PAINÉIS

M4B

kg/mm ²	CARGA kg/mm ²	DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)														
		A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I			
162	48	72	-44	-10	-104	6	-52	-15	-10	-44	-5	33	-15	49		
	48		-44	-11	-102	6	-52	-15	-11	-44	-5	32	-15	48		
212	79	136	-226	-17	-520	29	-236	-84	-38	-185	16	111	-23	194		
	82		-226	-19	-520	30	-237	-84	-37	-185	15	113	-23	196		
262	129	200	-255	-27	-587	36	-274	-89	-44	-211	27	124	-23	216		
	126		-255	-28	-588	34	-275	-90	-43	-211	25	124	-23	217		
312	176	264	-351	-35	-805	48	-373	-120	-57	-287	45	166	-25	291		
	176		-352	-34	-813	48	-372	-124	-56	-289	45	166	-25	281		
362	314	328	-66	-63	-181	16	-124	16	-9	-79	35	31	-9	48		
	314		-61	-63	-176	16	-121	15	-9	-81	34	31	-11	46		
412	360	392	-95	-73	-261	24	-164	10	-12	-111	45	48	-11	71		
	360		-97	-73	-263	25	-165	8	-13	-112	45	48	-11	73		
462	429	456	-106	-88	-282	30	-187	12	-12	-128	54	52	-13	74		
	424		-108	-89	-292	32	-190	17	-13	-128	54	52	-13	74		
512	491	520	-116	-101	-321	30	-213	26	-13	-138	63	56	-14	80		
	488		-114	-101	-319	37	-212	26	-12	-137	62	55	-14	79		
562	653	584	331	-141	657	-9	179	245	62	180	46	-141	5	-293		
	652		332	-140	659	-9	182	246	63	182	46	-141	5	-293		
612	708	648	334	-154	653	-1	167	259	64	177	49	-140	0	-297		
	708		333	-152	654	0	168	259	64	176	49	-141	0	-298		
662	783	712	333	-171	638	14	141	290	67	165	58	-144	-6	-299		
	783		333	-171	637	13	141	290	66	166	58	-145	-7	-298		
712	833	776	341	-182	627	42	117	384	45	174	-15	-79	-45	-294		
	833		340	-182	628	44	118	386	45	174	-15	-79	-45	-293		
762	703	840	-564	-144	-1378	323	-735	101	-97	-504	63	323	-87	454		
	698		-567	-144	-1388	324	-735	100	-98	-508	43	326	-88	456		
812	949	904	344	-220	-567	465	-1	692	59	145	-11	-68	-53	-279		
	946		311	-225	-688	463	-501	455	-38	-252	20	163	-65	-56		
862	1018	968	354	-298	402	428	-598	790	52	168	71	-90	-67	-239		
	1027		356	-299	403	425	-509	786	48	171	79	-93	-64	-239		
85	67	0	18	-59	-122	218	-404	282	-9	-12	6	39	35	-44	-7	31
	37		32	-56	14	216	-370	284	-9	6	39	43	-45	-7	31	

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

T3.65 SÉRIE 4 - MODELO M4B PONTOS DOS PAINÉIS

3.6 - Série 5: casca poliédrica

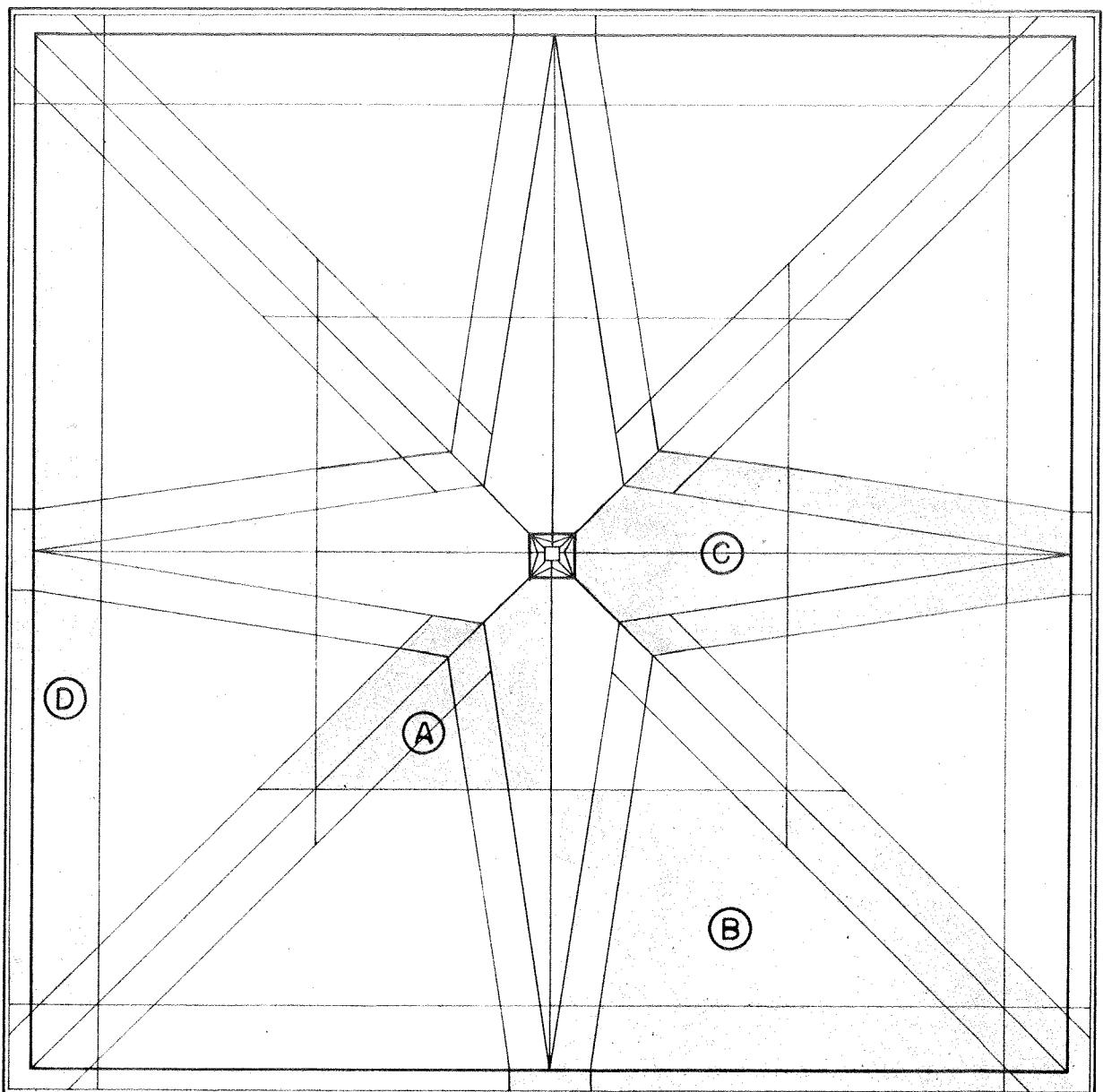
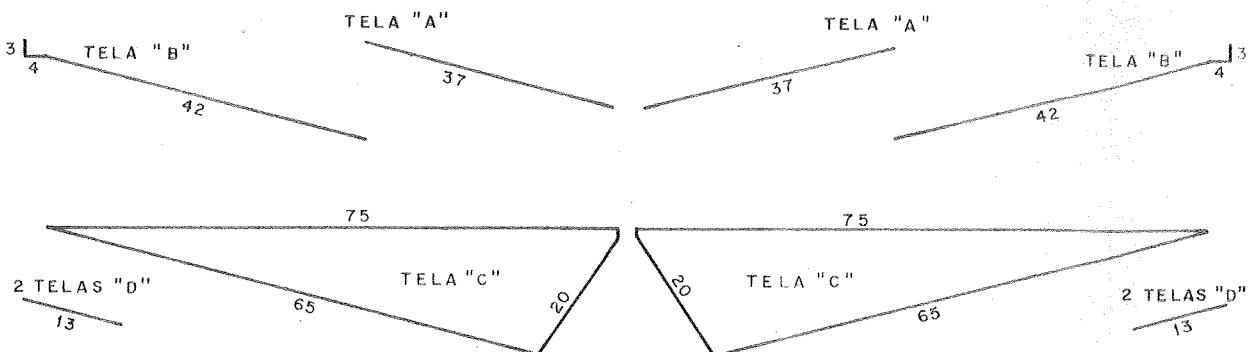
Após os ensaios dos modelos das várias séries, caracterizadas pelas modificações introduzidas nos elementos que compõem a estrutura em estudo, tinhámos concluído pelo acerto do dimensionamento resultante do estudo inicial em regime elástico e determinado alguns reforços possíveis em caso de se desejar uma resistência maior desta estrutura, conveniente principalmente se pensarmos em sua utilização com dimensões maiores, ou mesmo como suporte de estrutura superior.

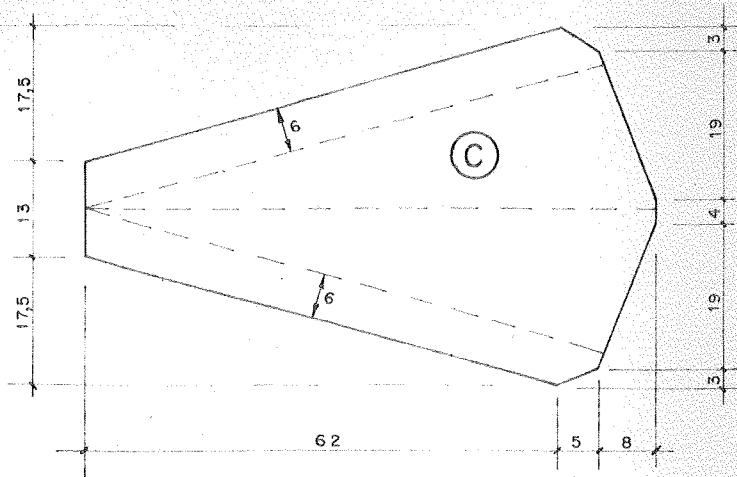
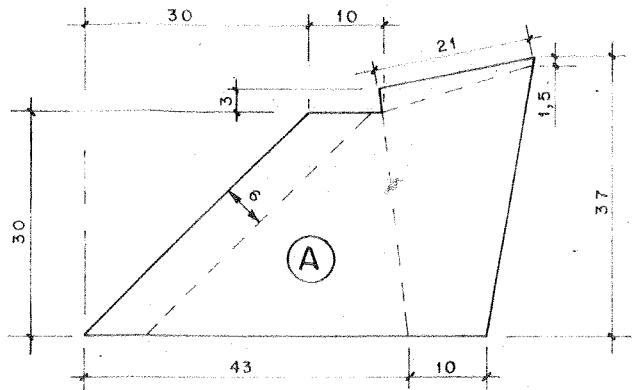
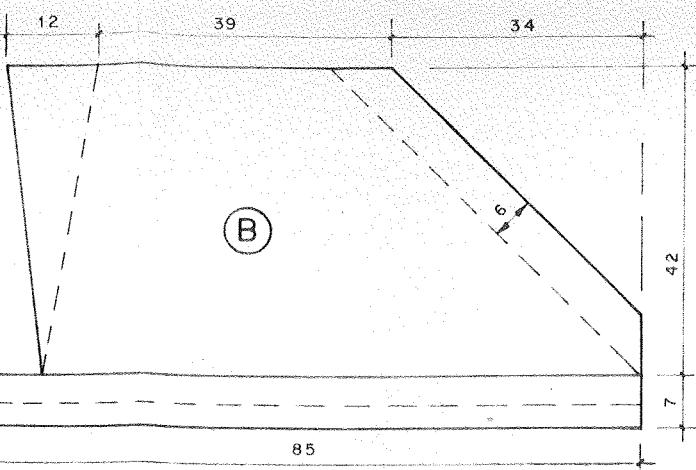
Os atuais ensaios evidenciaram serem as vigas centrais os elementos que determinavam a ruína da estrutura, ou seja, somente após o esgotamento de suas resistências que a estrutura entrava em ruína. Assim uma nova forma se mostrou conveniente de ser pesquisada, aquela em que as vigas centrais era substituídas por dobras das faces, adquirindo características de uma casca poliédrica. Esta estrutura se apresentava ainda como uma solução arquitetônica bastante interessante, o que foi posteriormente confirmado pelos modelos construídos e pode ser observado nos desenhos D3.23 e D3.24 e nas fotos F16, F26 e F27.

Apesar de terem forma um pouco diferente, estes modelos puderam ser moldados e ensaiados com a mesma técnica e orientação adotadas nos modelos anteriores. A armadura utilizada também foi análoga às anteriores, apenas com algumas adaptações nas regiões das dobras das faces, como mostra o desenho D3.24.

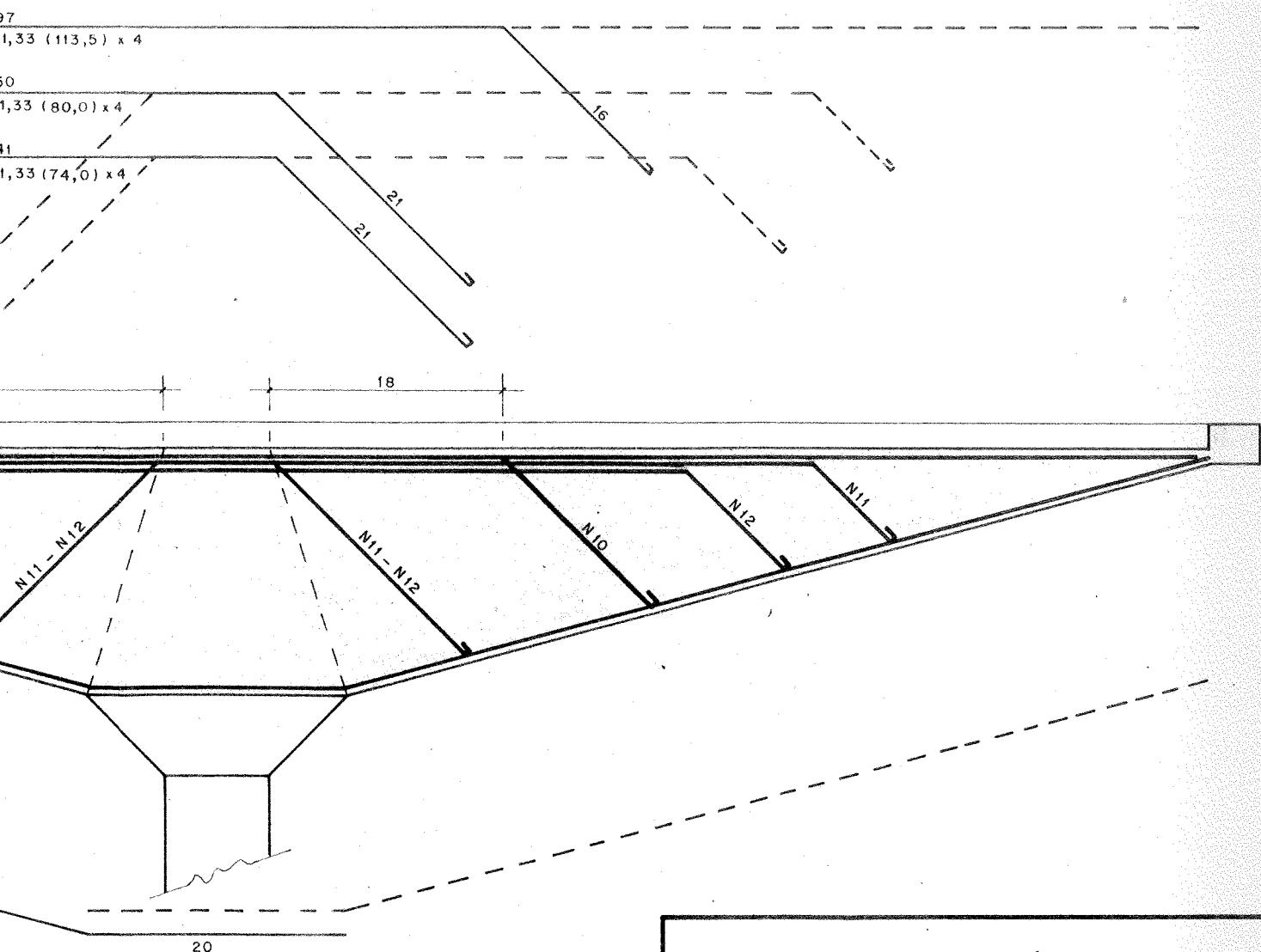
Com relação à instrumentação, a única modificação foi que os extensômetros anteriormente instalados nas faces superior e inferior das vigas centrais passaram a ser sobre as faces das dobras, próximos às fibras extremas, tendo ainda sido instalados mais três em cada uma das regiões A e B, como já foi mostrado nas figs. 2.12 e 2.13.

PLANTA - 1:100





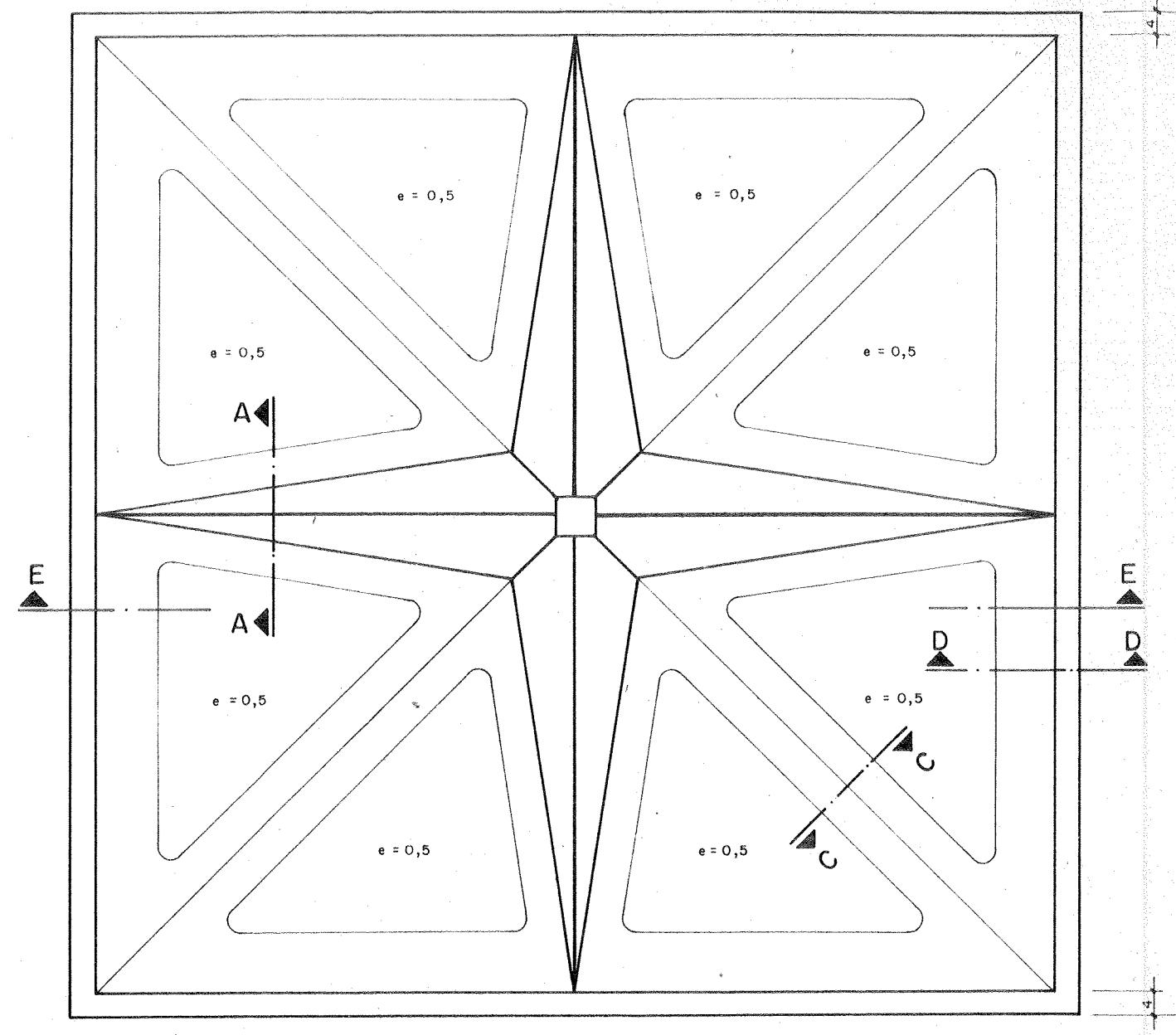
OBS.: Somente são apresentadas as armaduras que sofreram modificações em relação às da casca piramidal (D1.5)



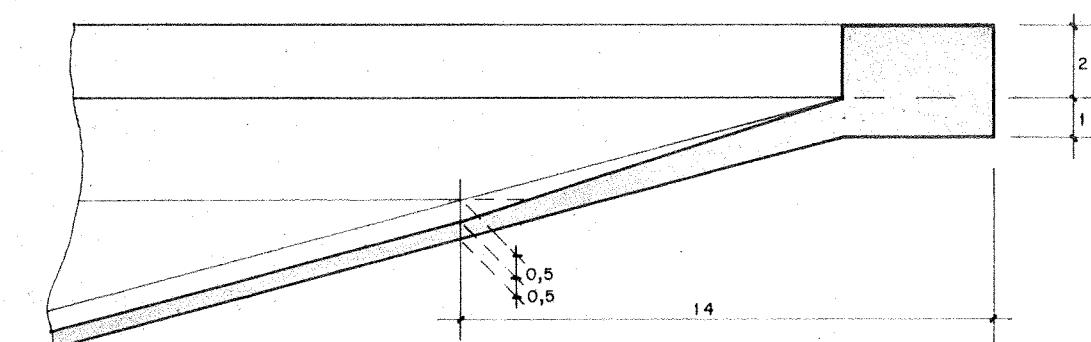
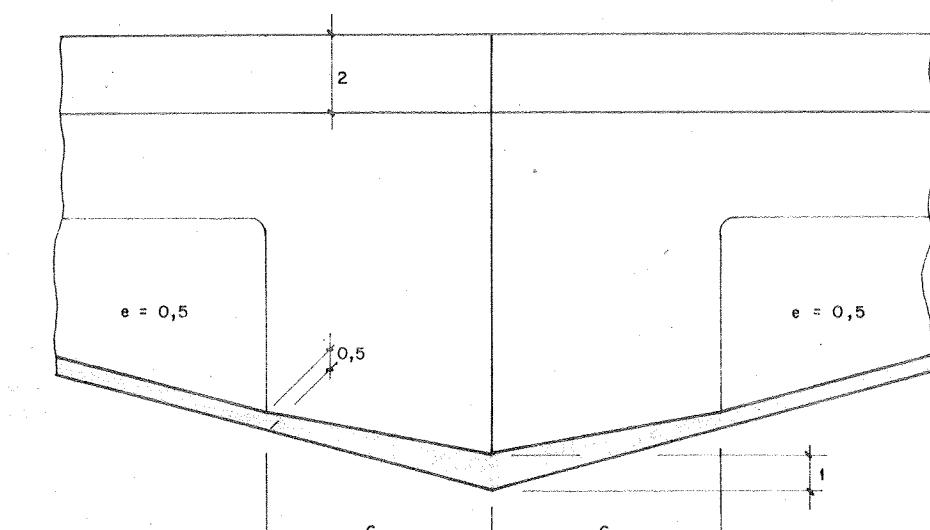
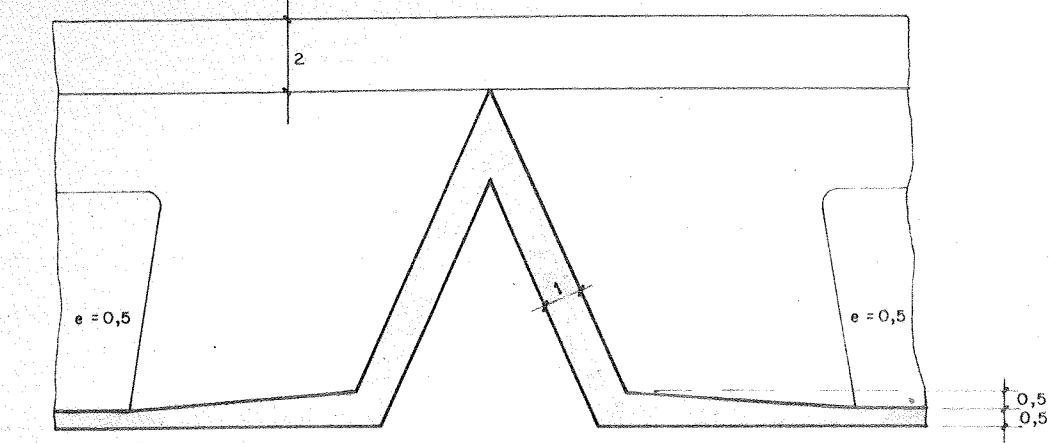
CASCA POLIÉDRICA

ESTUDO DE ARMADURA

D 3.24



CORTE E-E - 1:10



CASCA PIRAMIDAL
ESTUDO DE FÓRMAS

D 3.23

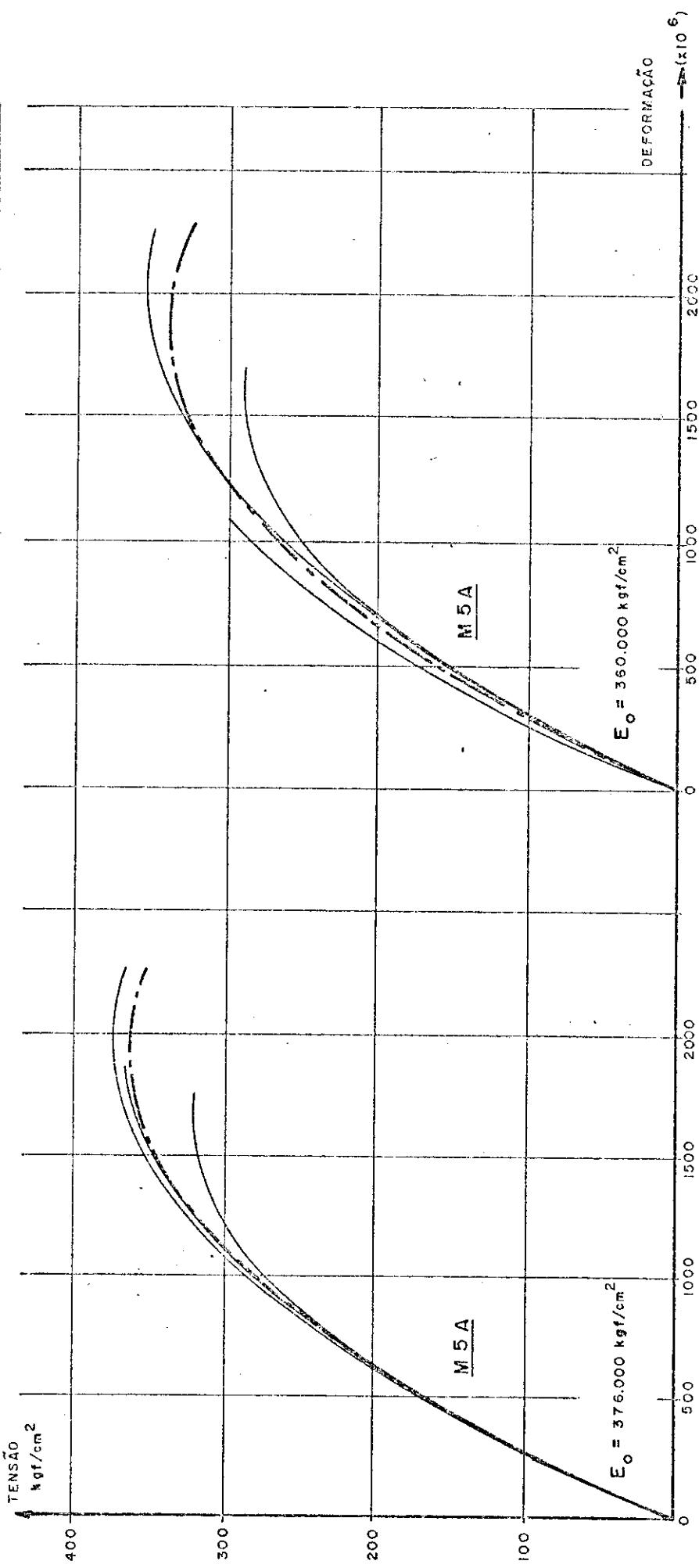
3.6.1 - Modelos ensaiados simetricamente: M5A e M5B

Desta estrutura, em casca poliedrica, foram construídos três modelos, M5A, M5B e M5C, sendo que por ocasião da moldagem foram deixados dutos dentro das vigas de borda para que, se julgássemos conveniente, pudéssemos ensaiá-los com protensão. Diante dos resultados obtidos com os ensaios simétricos dos M5A e M5B, em que estes modelos apresentaram a mesma carga de ruptura de 860 kgf/m^2 (modelos com 28 dias), o uso da protensão se mostrou desnecessário e resolvemos ensaiar o M5C assimetricamente, testando a nova forma a esta solicitação também.

Os resultados dos ensaios dos modelos M5A e M5B - fissuras, deslocamentos e deformações - são apresentados a seguir.

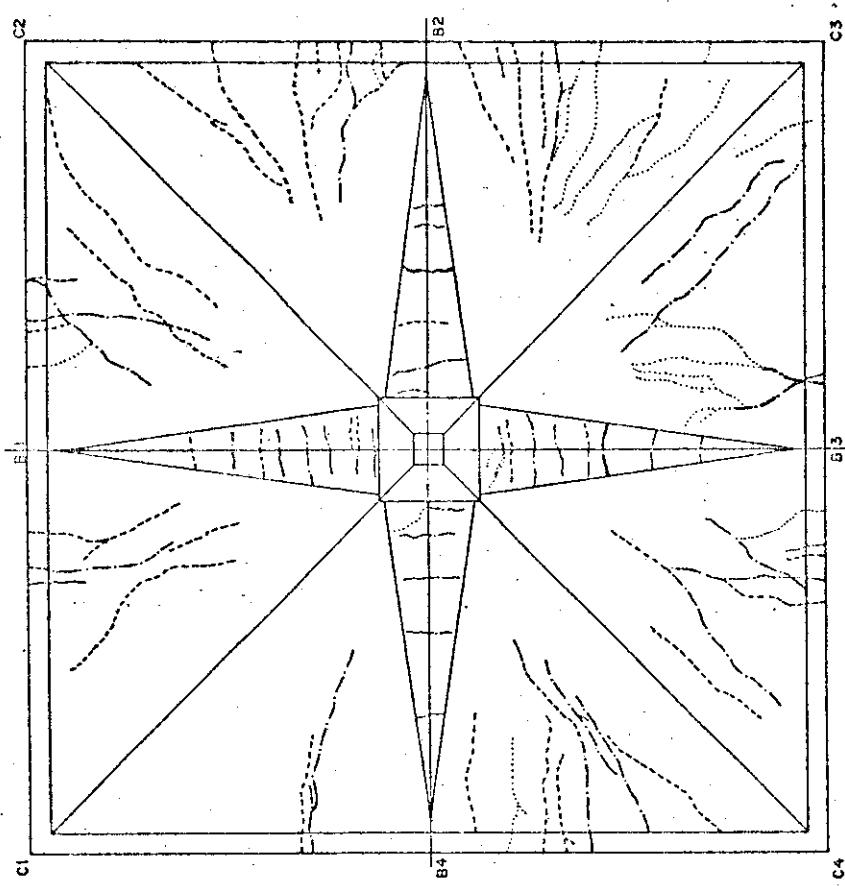
MODELO	IDADE	σ_{cik} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	5x10	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M 5 A	29	310,7	310,7	315,8	331,0	319,3
			305,6	280,1	269,9	241,9
M 5 B	29	292,8	325,9	315,8	310,7	285,2
			315,4	239,4	235,8	285,2

MODELO	IDADE	σ_{tck} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	5x10	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
M 5 A	29	31,8	31,2	26,0	32,8	34,4
			35,0	34,4	30,6	35,5
M 5 B	29	35,7	27,7	31,2	34,7	22,3
			28,6	31,8	24,8	40,7

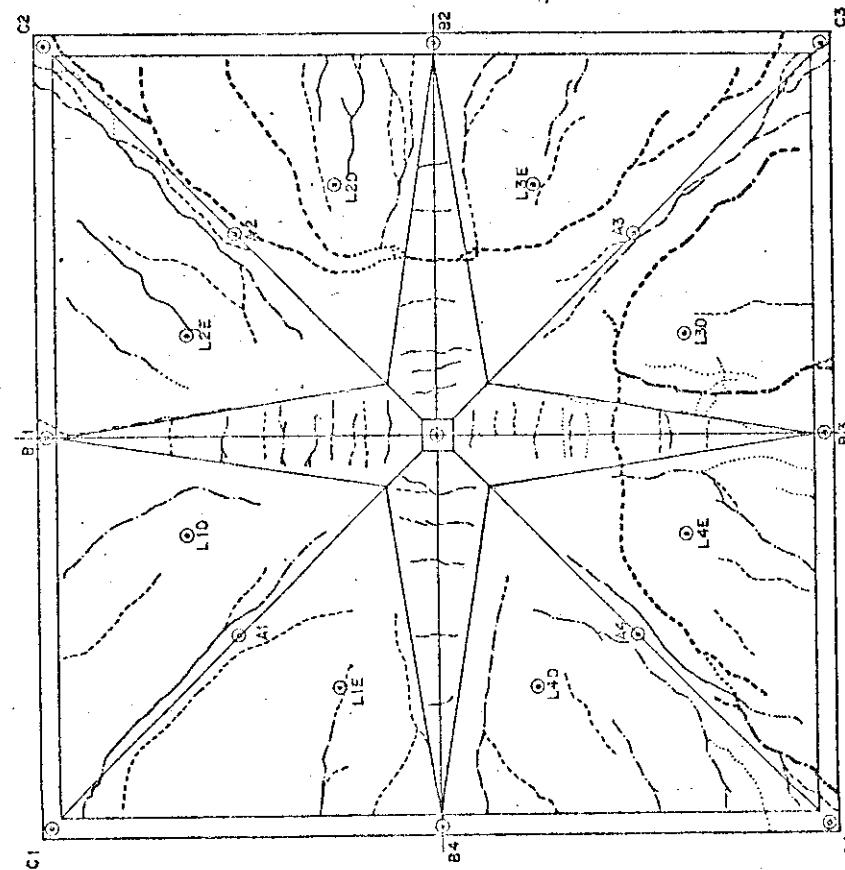


3.33 — Características do micro - concreto — Ensaio Simétrico — Série 5

VISTA INFERIOR



VISTA SUPERIOR



Legenda

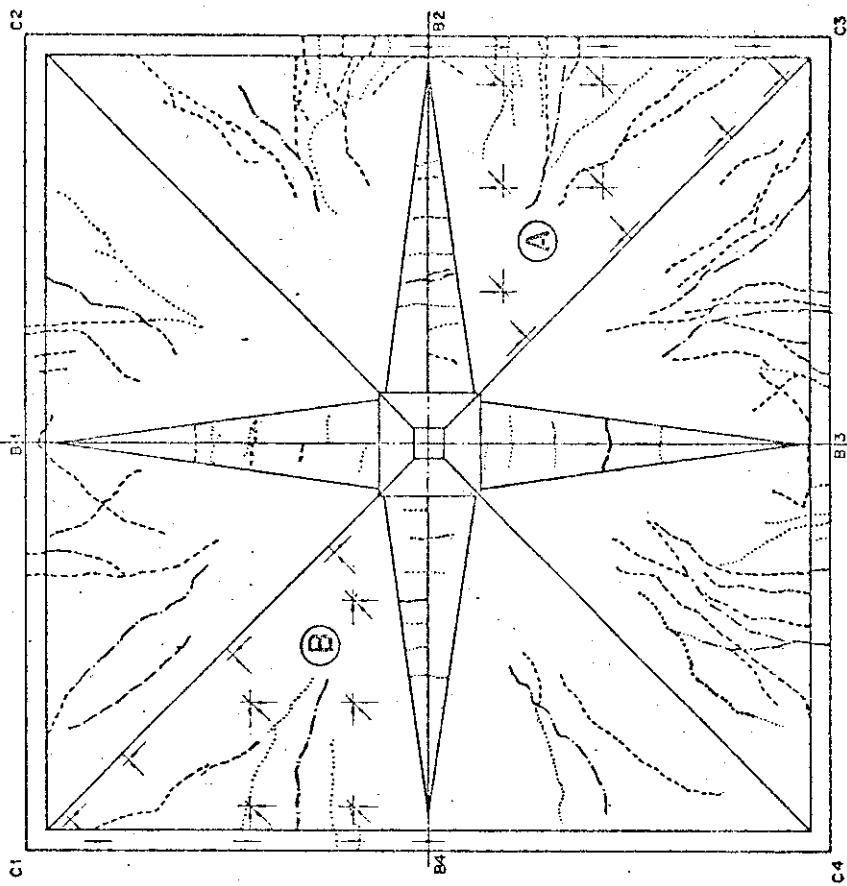
- 650 - 560 kgf/m^2
- 560 - 660 kgf/m^2
- 660 - 760 kgf/m^2
- 760 - 810 kgf/m^2
- > 810 kgf/m^2

Escala 1:10 $Q_R = 850 \text{ kgf/m}^2$

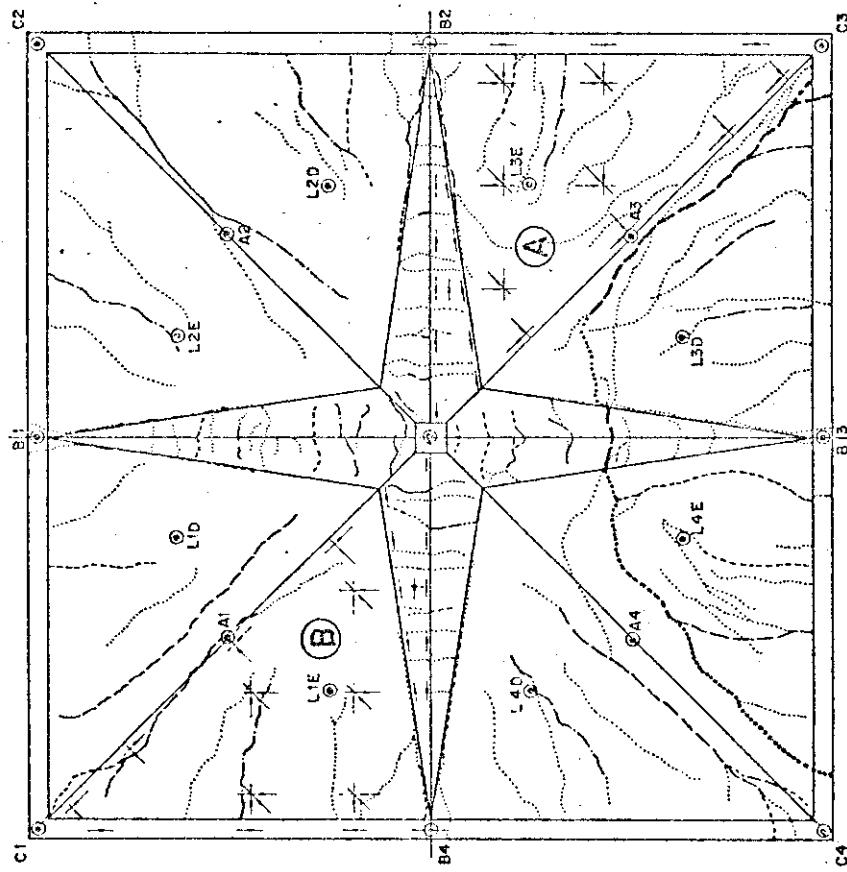
D3.25
SÉRIE 5 - MODELO M5A
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração da ruptura

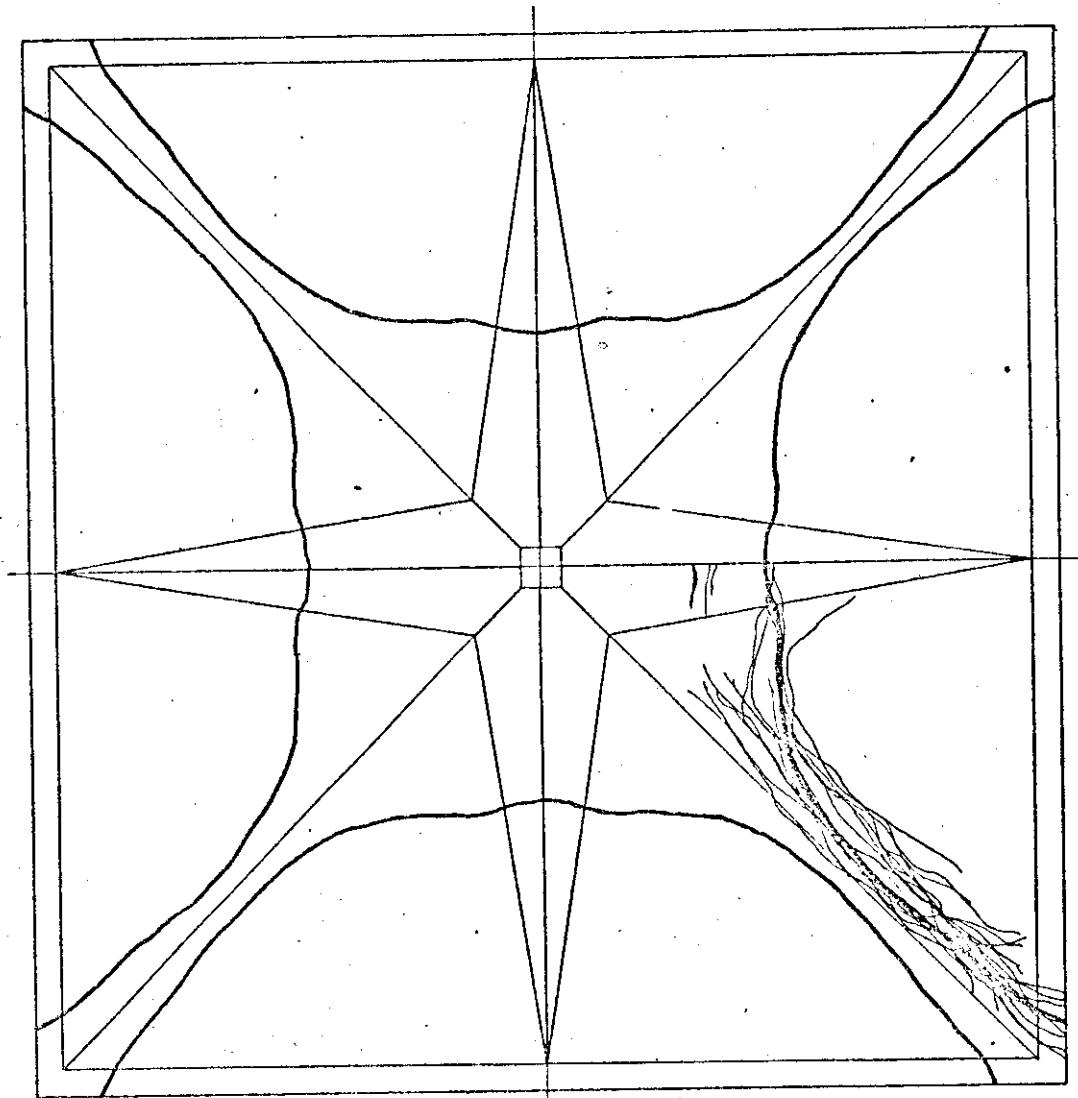
VISTA INFERIOR



VISTA SUPERIOR



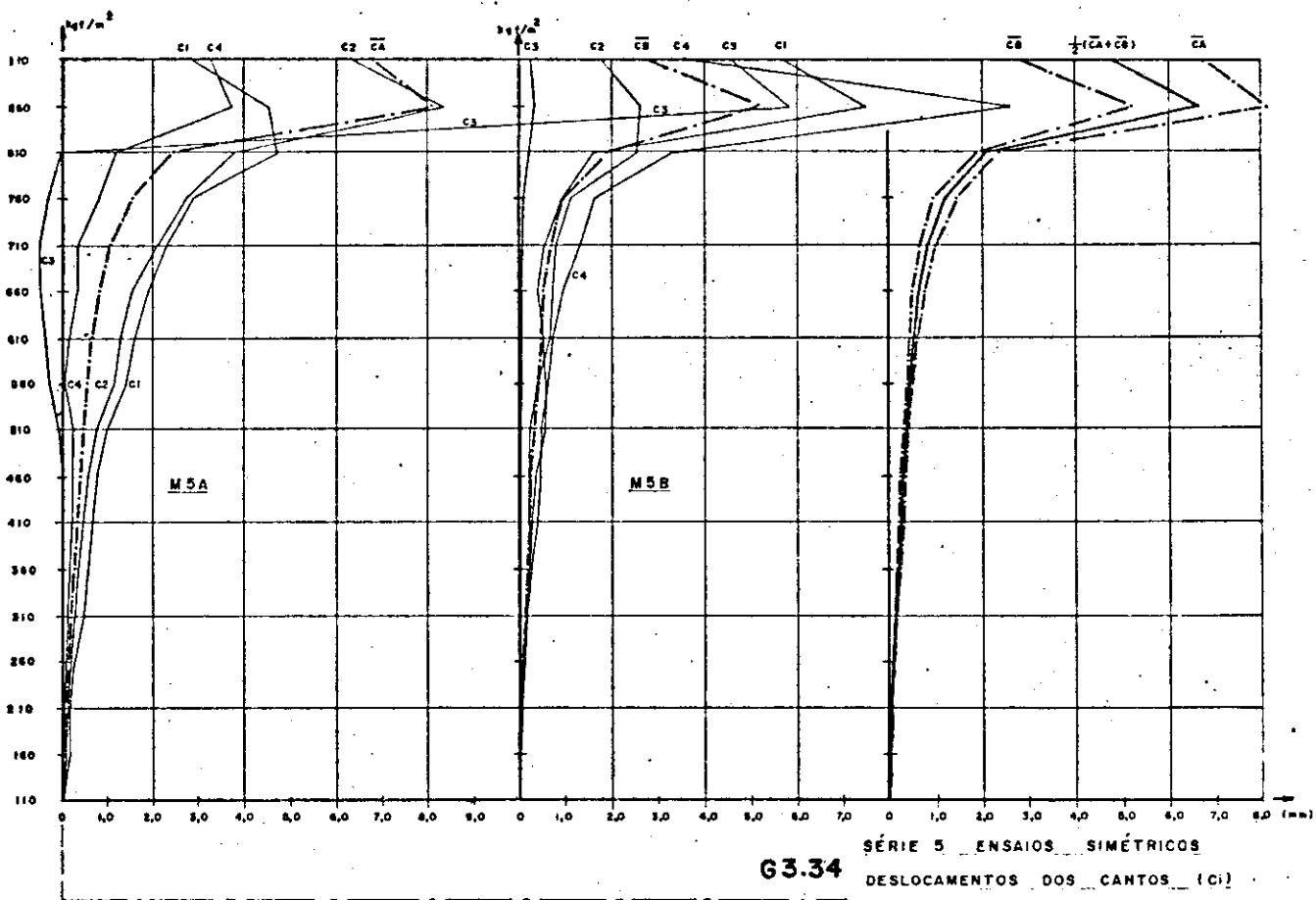
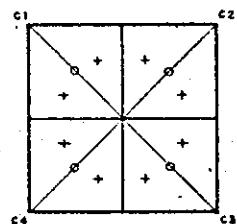
3.123



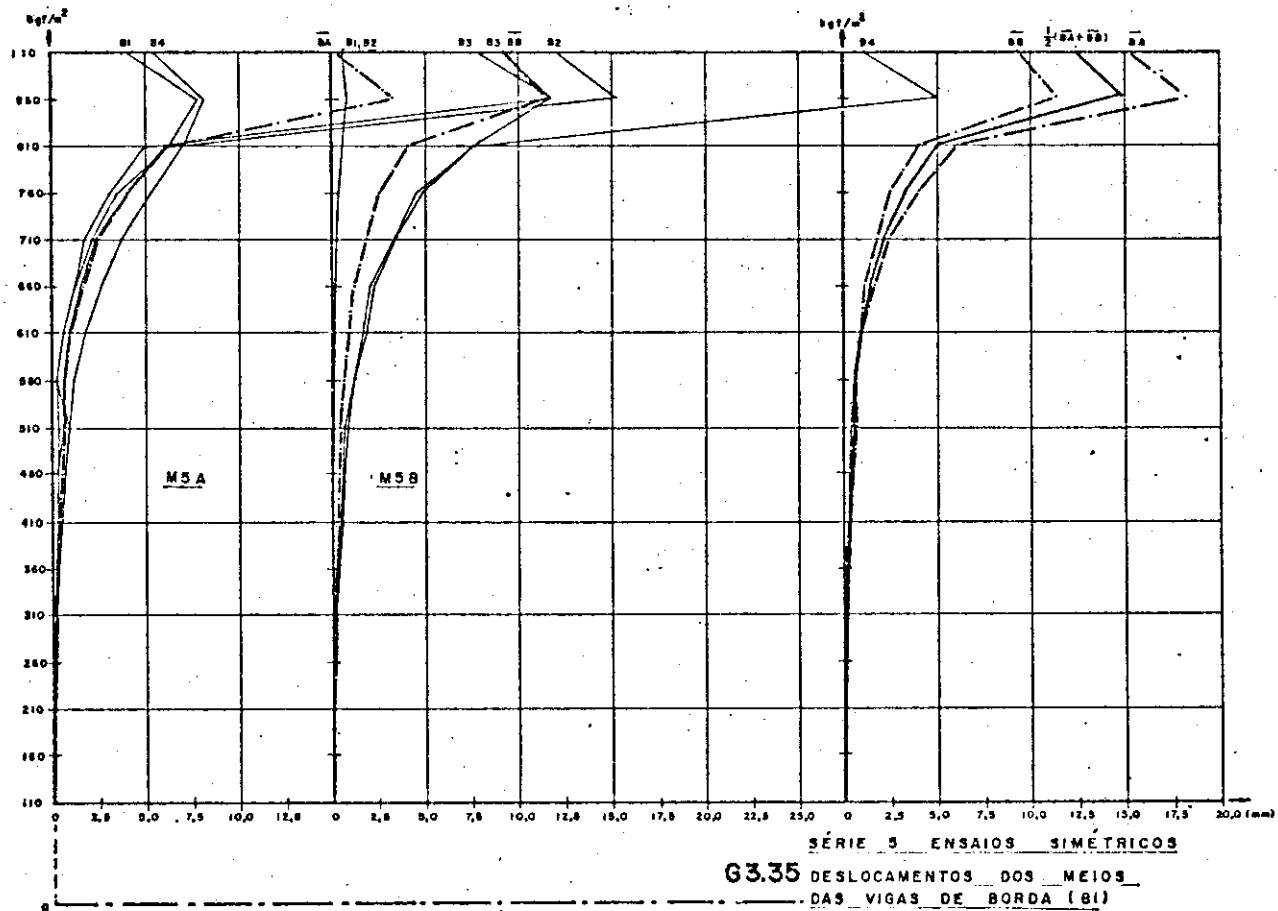
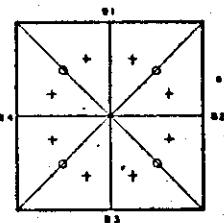
$$Q_r = 860 \text{ kgf/m}^2$$

D.3.27
SÉRIE 5 - PROVÁVEL
CONFIGURAÇÃO DE RUPTURA

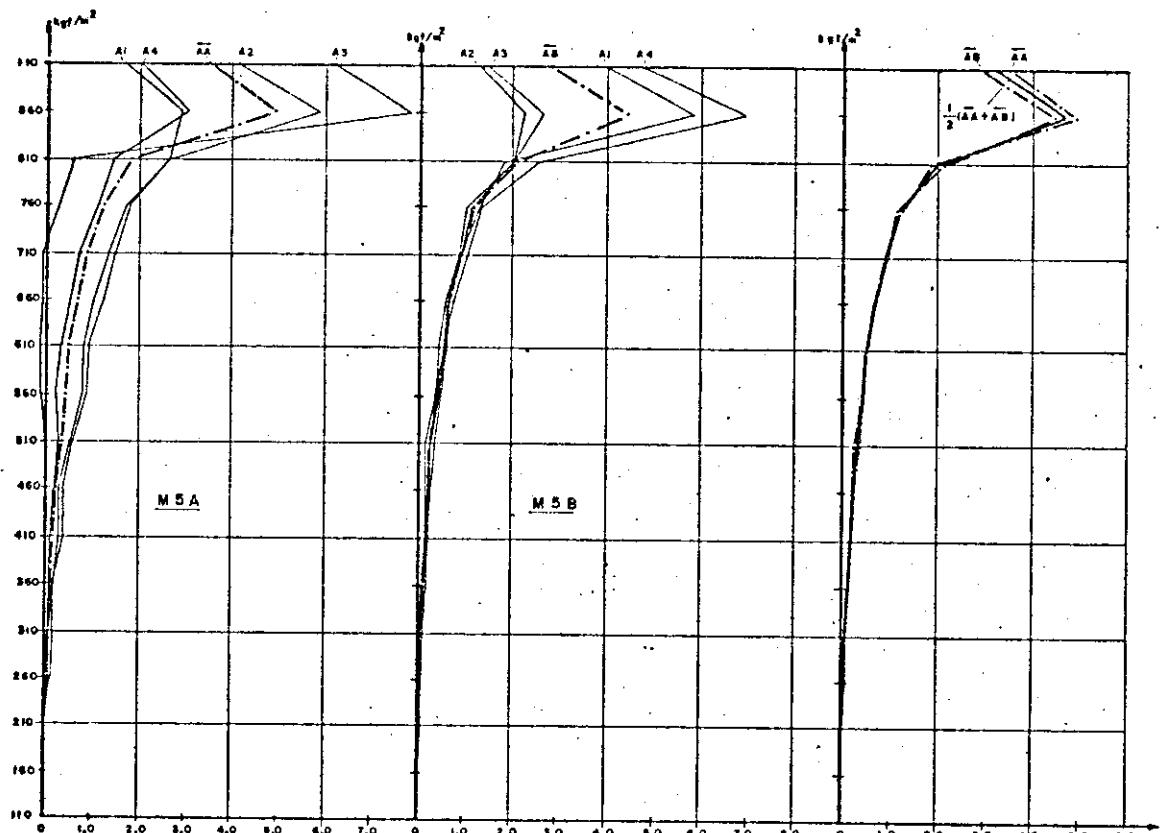
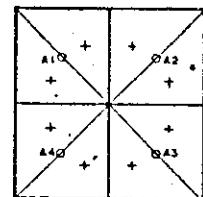
FASE	CARGA kg/m ²	DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (CI) SÉRIE 5 ENS. SIMÉTRICOS (mm)											
		M5A				M5B				$\frac{1}{2}(CA + CB)$			
CI	C2	C3	C4	CA	CI	C2	C3	C4	CB	CI	C2	C3	C4
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	-0,20	0,08	0	0,01	0,07	0	0,04	0	0,03	0,02	0,08	
2	210	0,20	0,14	0	0,06	0,10	0,10	0,08	0	0,09	0,07	0,08	
3	260	0,30	0,22	0	0,10	0,15	0,10	0,12	0,01	0,18	0,09	0,12	
4	310	0,40	0,30	0	0,14	0,21	0,20	0,18	0,01	0,21	0,15	0,18	
5	360	0,50	0,38	0	0,20	0,27	0,30	0,25	0,01	0,26	0,20	0,24	
6	410	0,70	0,46	0	0,25	0,38	0,30	0,23	0,02	0,42	0,24	0,30	
7	460	0,80	0,55	0	0,24	0,41	0,40	0,25	0,03	0,45	0,29	0,35	
8	510	1,00	0,77	-0,10	0,24	0,48	0,60	0,27	0,04	0,51	0,35	0,42	
9	560	1,40	1,14	-0,30	0,04	0,57	0,60	0,44	0,06	0,66	0,44	0,50	
10	610	1,60	1,29	-0,04	0,20	0,67	0,50	0,71	0,09	0,76	0,50	0,59	
11	660	1,90	1,53	-0,30	0,38	0,82	0,40	0,76	0,07	0,89	0,55	0,69	
12	710	2,30	2,09	-0,50	0,35	1,06	0,60	0,84	0,08	1,37	0,72	0,89	
13	760	2,90	2,74	-0,30	0,82	1,54	1,00	1,17	0,12	1,74	1,01	1,27	
14	810	4,70	3,79	0	1,15	2,41	1,70	2,59	0,26	3,41	1,99	2,20	
15	860	4,50	6,31	15,60	3,72	8,08	7,40	4,65	0,34	10,83	5,23	6,68	
16	910	2,80	6,24	14,50	3,25	4,70	3,60	1,76	0,23	3,23	2,70	4,70	



DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1) SÉRIE 5											
FASE	CARGA kg/m ²	M5A				M5B				$\frac{1}{2}(B1+B2)$	
		B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4	B1	B2
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0,10	0	0	0,10	0,05	0	0,01	0,10	0	0,04
2	210	0,10	0,10	0,10	0,20	0,12	0,01	0,01	0,10	0,10	0,09
3	260	0,20	0,10	0,10	0,20	0,15	0,02	0,02	0,20	0,10	0,08
4	310	0,30	0,20	0,20	0,30	0,25	0,02	0,03	0,20	0,20	0,18
5	360	0,40	0,30	0,20	0,40	0,32	0,04	0,03	0,30	0,40	0,26
6	410	0,50	0,30	0,30	0,60	0,45	0,04	0,04	0,50	0,60	0,37
7	460	0,40	0,40	0,30	0,70	0,55	0,06	0,06	0,60	0,70	0,35
8	510	1,00	0,60	0,40	1,00	0,75	0,08	0,07	0,70	0,80	0,44
9	560	0,20	0,70	0,50	1,20	0,60	0,11	0,11	1,20	1,20	0,83
10	610	0,70	1,00	0,70	1,60	1,05	0,15	0,15	1,70	1,90	0,97
11	660	1,30	1,60	1,30	2,70	1,72	0,19	0,21	2,10	2,30	1,20
12	710	2,20	2,40	1,80	3,80	2,35	0,30	0,29	3,40	3,50	1,87
13	760	3,80	4,20	3,20	5,40	4,10	0,39	0,42	4,60	4,90	2,58
14	810	6,30	6,10	5,00	7,10	6,12	0,40	0,43	7,60	7,80	4,11
15	860	7,90	30,30	26,80	8,30	18,35	0,88	0,90	11,80	32,50	11,32
16	910	4,20	27,10	24,20	5,60	15,27	0,51	0,57	7,80	24,50	9,35
											12,31

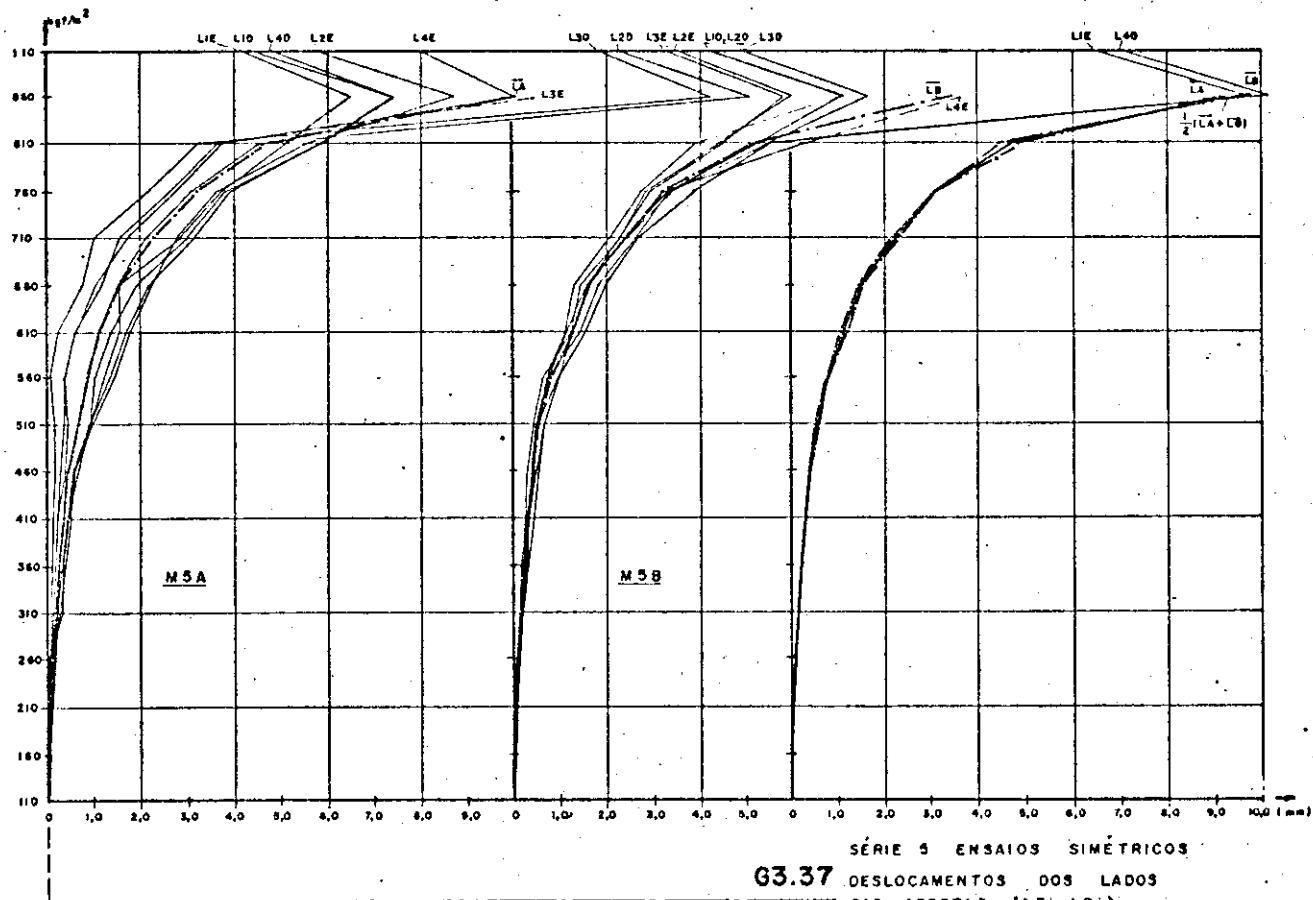


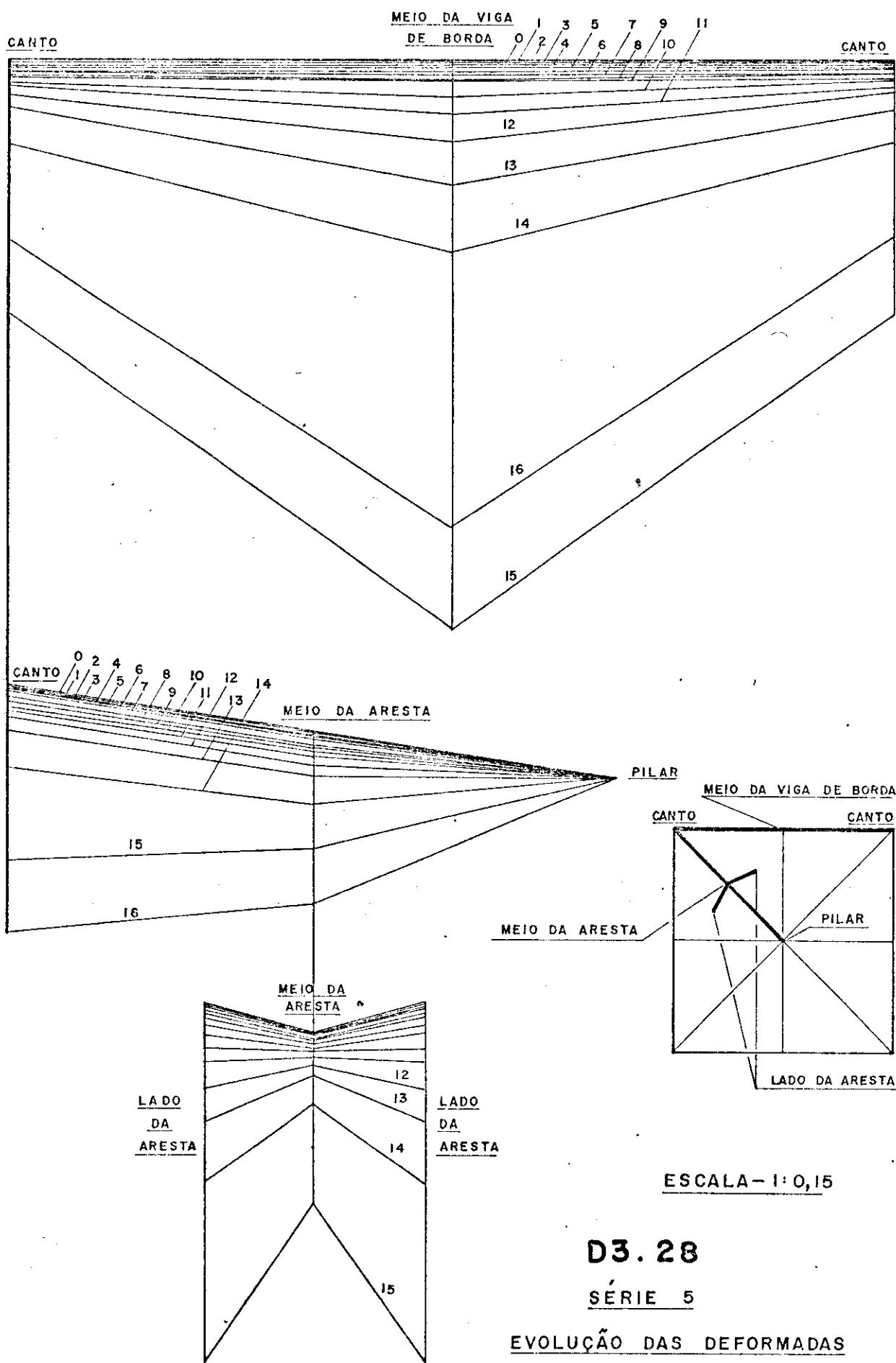
DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (AI) SÉRIE 5 (mm)												
FASE	CARGA kg/m ²	M5A					M5B					$\frac{1}{2}(A\bar{A} + \bar{A}B)$
		A1	A2	A3	A4	$\bar{A}\bar{A}$	A1	A2	A3	A4	$\bar{A}B$	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	160	0	0,01	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0
2	210	0,01	0,02	-0,01	0,03	0,01	0,02	0,08	0,01	0,03	0,03	0,02
3	260	0,17	0,12	-0,01	0,03	0,08	0,09	0,02	0,05	0,04	0,05	0,07
4	310	0,19	0,13	-0,03	0,10	0,10	0,12	0,02	0,08	0,04	0,06	0,08
5	360	0,20	0,23	-0,02	0,13	0,13	0,21	0,14	0,08	0,13	0,14	0,14
6	410	0,40	0,32	-0,03	0,13	0,20	0,23	0,14	0,16	0,15	0,17	0,19
7	460	0,39	0,32	-0,01	0,23	0,23	0,28	0,14	0,20	0,20	0,22	0,23
8	510	0,60	0,35	-0,01	0,31	0,36	0,35	0,14	0,27	0,27	0,28	0,31
9	560	0,86	0,79	-0,13	0,22	0,44	0,45	0,34	0,38	0,44	0,46	0,42
10	610	0,91	0,82	-0,13	0,33	0,48	0,61	0,52	0,41	0,54	0,52	0,50
11	660	1,24	1,02	-0,07	0,53	0,68	0,62	0,62	0,56	0,73	0,64	0,66
12	710	1,49	1,34	-0,07	0,73	0,87	0,89	0,91	0,85	1,03	0,92	0,90
13	760	1,80	1,72	0,26	1,11	1,25	1,29	1,12	1,00	1,34	1,19	1,21
14	810	2,61	2,63	0,58	1,43	1,81	1,83	2,02	1,99	2,54	2,09	1,95
15	860	2,98	5,83	7,75	3,03	4,87	5,82	2,25	2,65	4,92	4,41	4,64
16	910	1,83	4,05	6,11	1,93	3,44	3,92	1,25	1,42	4,69	2,82	3,13



SÉRIE 5 ENSAIOS SIMÉTRICOS
63.36 DESLOCAMENTOS DOS MEIOS
DAS ARESTAS (AI)

DESLOCAMENTOS DOS LADOS DAS ARESTAS (LEI,LDI) SÉRIE 5 ENSAIOS SIMÉTRICOS (mm)																	$\frac{1}{2}(LA+LB)$		
FASE	CARGA kN/m ²	M5A								M5B								$\frac{1}{2}(LA+LB)$	
		LIE	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	LA	LIE	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D	
0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	160	0,03	0,05	0,06	0,06	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	
2	210	0,05	0,13	0,11	0,09	0,06	0,04	0,07	0,08	0,06	0,09	0,09	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,08	
3	260	0,05	0,22	0,20	0,17	0,12	0,08	0,10	0,18	0,14	0,16	0,15	0,12	0,11	0,14	0,11	0,12	0,13	
4	310	0,35	0,30	0,28	0,22	0,16	0,10	0,18	0,27	0,23	0,23	0,22	0,18	0,17	0,20	0,15	0,17	0,18	
5	360	0,35	0,41	0,36	0,29	0,21	0,13	0,21	0,34	0,29	0,34	0,32	0,29	0,22	0,25	0,19	0,21	0,25	
6	410	0,54	0,55	0,46	0,37	0,24	0,14	0,25	0,45	0,37	0,47	0,35	0,31	0,29	0,36	0,34	0,38	0,38	
7	460	0,54	0,65	0,60	0,46	0,31	0,18	0,41	0,89	0,48	0,56	0,46	0,41	0,34	0,50	0,41	0,41	0,46	
8	510	0,94	0,82	0,98	0,89	0,59	0,37	0,48	0,83	0,68	0,70	0,58	0,52	0,46	0,68	0,53	0,50	0,57	
9	560	1,24	1,36	1,46	0,91	0,42	0,07	0,40	1,03	0,86	0,99	0,78	0,74	0,67	1,04	1,01	0,77	0,76	
10	610	1,56	1,72	1,79	1,15	0,63	0,25	0,64	1,39	1,14	1,57	1,15	1,26	1,31	1,28	1,31	1,17	1,46	
11	660	1,58	2,20	2,26	1,32	1,19	0,78	1,07	1,94	1,57	2,03	1,35	1,50	1,84	1,65	1,70	1,56	1,88	
12	710	2,84	3,16	2,78	2,13	1,58	1,02	1,73	3,00	2,28	2,74	2,11	2,10	2,40	2,34	2,50	2,42	2,69	
13	760	3,74	3,92	3,64	3,07	2,63	2,17	2,75	3,61	3,22	3,92	2,78	2,89	3,47	3,00	3,38	3,15	3,39	
14	810	5,11	5,88	5,00	4,56	3,63	3,22	3,75	5,61	4,68	5,55	3,95	4,45	5,32	4,54	5,49	5,14	5,24	
15	860	6,54	7,37	8,79	15,14	10,34	14,22	10,03	7,41	9,97	15,77	7,19	6,04	7,12	5,88	7,66	9,57	16,00	9,44
16	110	4,12	4,37	5,66	12,19		11,75	7,95	4,77	12,41	4,14	3,42	4,19	3,26	4,87		12,97		





MSB

CARGA			DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kN/m ²	1(kgf)	2(kgf)	A01S	A01I	B01S	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I
160	110	125	3	0	2	-4	0	5	-2	5	0	3	0	4	5	-1	3	0
210	238	253	7	-2	7	-6	0	10	-4	13	0	8	-1	9	12	-1	9	-1
260	365	381	12	-5	12	-10	2	15	-6	20	2	13	-1	14	19	-1	17	-2
310	498	509	16	-7	16	-15	0	21	-10	27	3	16	-2	20	25	-2	21	-2
360	617	637	21	-10	22	-18	0	27	-12	33	4	23	-5	26	32	-2	25	0
410	758	765	30	-17	29	-23	3	33	-16	41	5	31	-7	36	39	2	31	2
460	864	893	35	-20	38	-30	0	39	-20	49	2	37	-14	49	40	3	25	11
510	992	1021	47	-30	47	-41	-1	41	-24	58	3	48	-21	66	50	7	25	19
	989		46	-31	48	-39	-3	40	-26	58	2	48	-22	65	50	7	25	17
560	1122	1149	60	-44	60	-50	-6	49	-29	69	-1	63	-29	93	50	24	38	35
	1122		60	-43	59	-49	-6	47	-30	69	-1	63	-29	93	51	23	38	35
610	1241	1277	71	-56	67	-59	-32	71	-48	83	-24	95	-44	119	39	53	37	51
	1239		70	-53	67	-59	-32	71	-48	83	-24	96	-45	119	39	54	36	51
660	1374	1405	74	-51	112	-86	-35	82	-65	104	-37	144	-66	142	34	82	25	78
710	1504	1533	90	-64	157	-104	-36	114	-60	120	-44	394	-52	99	51	100	57	77
	1499		90	-63	158	-103	-37	114	-59	118	-44	394	-52	97	53	98	57	76
760	1626	1661	100	-68	184	-117	-28	113	-58	124	-38	831	-39	93	70	106	60	96
	1621		100	-68	184	-116	-26	110	-58	122	-37	838	-41	92	68	108	61	95
810	1747	1789	123	-50	216	-120	-88	358	-40	123	-39	1557	12	40	-13	413	32	92
	1742		122	-51	217	-119	-90	357	-39	120	-39	1559	10	39	-15	420	32	91
860	1672	1917	107	-44	207	-101	-98	454	-44	127	-81	2207	3	14	-10	613	19	95
	1783		91	206	-78	-312	3701	-55	125	-196	4880	0	18	-19	751	-5	112	
110	14	0	-23	24	81	-14	-203	2618	-11	38	-204	3547	-15	-24	-85	610	-65	76
	17		-22	23	81	-14	-203	2619	-10	37	-204	3548	-15	-24	-85	610	-66	75

valores negativos correspondem a encurtamentos
valores positivos correspondem a alongamentos

***** + valor superior a 9999

carga inicial: 110kgf

carga 1 → valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados E.P.

carga 2 → valores acusados por ponte analógica

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 5 - MODELO MSB

PONTOS DAS VIGAS DE BORDA

MSB

CARGA			DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
kN/m ²	1(kgf)	2(kgf)	A05S	A05I	B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I
160	110	125	5	-2	9	0	6	3	8	-3	7	-3	7	-3	13	-4	10	-4
210	238	253	12	-4	19	0	14	6	19	-6	19	-7	16	-6	30	-11	19	-12
260	365	381	18	-5	33	0	26	11	31	-9	28	-10	27	-10	48	-18	30	-17
310	498	509	26	-8	43	0	35	14	44	-11	38	-13	35	-14	65	-23	40	-22
360	617	637	32	-10	57	0	45	17	53	-14	48	-17	44	-19	82	-30	48	-29
410	758	765	40	-13	69	2	56	22	64	-18	61	-21	54	-22	106	-39	57	-37
460	864	893	46	-15	76	1	64	24	67	-20	69	-26	62	-25	119	-43	65	-40
510	992	1021	55	-19	89	3	71	29	69	-23	70	-32	72	-31	131	-51	77	-48
560	1122	1149	60	-23	99	-10	80	34	72	-28	12	-9	77	-31	139	-60	92	-56
610	1241	1277	62	-22	108	-13	76	33	125	-28	-20	4	111	-20	197	-50	113	-59
660	1374	1405	63	-26	120	-12	74	37	171	-29	-27	6	199	-15	1354	-55	512	-61
710	1504	1533	66	-34	159	4	87	63	337	-35	-54	42	511	-66	1670	-60	719	-48
760	1626	1661	74	-39	191	9	91	8	468	-36	-77	10	675	-196	1877	-63	800	-53
810	1747	1789	97	-22	371	5	114	0	652	-43	-104	-100	793	-334	1659	-43	863	25
	1742		97	-22	371	5	113	0	652	-43	-104	-101	796	-336	1652	-42	862	27
860	1672	1917	166	-12	365	-12	-11	-17	1017	802	-123	-110	922	649	1681	-50	884	40
	1783		144	7	364	-46	-14	-19	847	977	-125	-147	925	998	1686	-47	851	35
110	14	0	15	21	90	-60	-71	-40	425	791	-150	-84	403	972	420	27	113	31
	17		15	20	91	-60	-72	-40	424	790	-149	-85	403	972	420	27	113	31

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

T 3.67 SÉRIE 5 - MODELO MSB

PONTOS DAS DOBRAS DOS PAINEIS

MSB

CARGA kg/m ² (kN/m ²)	Z (kgf)	DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)																	
		A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I		
160	110	125	5	-2	-1	2	4	0	-1	2	7	-4	-2	0	5	-3	-3	0	
110			3	-2	-2	1	4	-1	-1	2	7	-4	-2	0	6	-4	-2	0	
210	238	253	8	-4	-4	5	8	-1	-4	5	15	-10	-4	-1	14	-9	-6	-1	
235			8	-3	-3	4	9	-1	-3	6	14	-9	-4	-1	13	-8	-7	-1	
260	365	381	12	-6	-8	6	14	-3	-6	7	23	-16	-6	-2	22	-13	-9	-2	
365			13	-5	-7	6	13	-3	-6	7	22	-15	-8	-2	22	-13	-10	-1	
310	498	509	17	-7	-10	10	20	-6	-8	10	33	-19	-10	-2	31	-19	-12	-3	
493			17	-7	-10	9	19	-6	-9	10	33	-20	-10	-1	30	-19	-13	-2	
360	617	637	21	-10	-12	11	26	-8	-10	14	42	-25	-11	-2	40	-25	-14	-4	
617			21	-9	-13	12	26	-9	-10	14	49	-25	-11	-2	40	-25	-15	-3	
410	758	765	29	-13	-15	16	34	-11	-13	12	19	53	-33	-13	-4	51	-32	-19	-4
755			29	-13	-15	17	33	-11	-13	12	19	53	-32	-13	-4	50	-32	-19	-4
460	864	893	33	-17	-18	21	44	-18	-14	24	63	-39	-16	-3	63	-41	-21	-4	
859			33	-17	-18	20	42	-16	-15	25	63	-39	-15	-3	63	-41	-22	-3	
510	992	1021	43	-24	-21	26	53	-22	-20	30	77	-49	-19	-3	81	-53	-25	-4	
989			42	-25	-22	26	53	-21	-21	29	77	-50	-18	-4	81	-53	-24	-4	
560	1122	1149	53	-31	-26	34	65	-28	-25	36	84	-57	-22	0	101	-67	-28	-4	
1122			53	-31	-25	35	64	-28	-24	35	84	-56	-23	0	100	-68	-28	-4	
610	1241	1277	64	-26	-42	63	77	-34	-30	48	67	-43	-29	28	100	-66	-28	13	
1239			64	-25	-41	62	77	-33	-32	49	68	-44	-30	26	100	-66	-29	15	
660	1374	1405	53	-18	-45	92	116	-41	-49	73	70	-48	-40	35	233	-107	-74	43	
1374			53	-18	-45	92	116	-41	-49	73	70	-48	-40	35	233	-107	-74	43	
710	1504	1533	43	-34	-41	99	141	-36	-68	162	75	-58	-42	60	132	-65	-111	80	
1499			42	-34	-41	99	140	-35	-68	160	76	-57	-43	60	130	-64	-111	78	
760	1626	1661	56	-46	-38	93	304	-77	-72	197	91	-66	-50	67	125	-57	-141	104	
1621			56	-46	-38	92	305	-76	-72	197	92	-67	-50	68	125	-56	-142	105	
810	1747	1789	118	-91	-44	114	357	-118	-126	504	77	-67	-88	151	143	-97	-143	142	
1742			118	-92	-43	113	358	-118	-127	507	77	-68	-88	152	142	-99	-140	139	
860	1672	1917	166	-83	-96	383	350	-118	-144	511	119	-101	-115	165	129	-223	-146	145	
1783			91	5	4	164	345	-102	-146	514	119	-68	-149	156	105	-137	-132	156	
110	17	0	47	6	58	94	187	-26	-68	293	10	-45	-87	107	50	66	-61	104	

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

T 3.68 SÉRIE 5 - MODELO MSB

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MSB

CARGA kg/m ² (kN/m ²)	Z (kgf)	DEFORMAÇÕES (x10 ⁻⁶)																	
		A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I		
160	110	125	9	-6	-1	2	6	-3	0	1	0	2	-6	-1	-1	3	-3	-2	
110			8	-5	-1	-2	6	-5	-2	-1	0	2	-6	-1	-1	3	-3	-3	
210	238	253	14	-12	-4	-10	13	-10	-2	-4	0	5	-13	-7	-3	6	-7	-6	
235			15	-12	-3	-10	13	-11	-2	-4	0	5	-12	-6	-2	6	-7	-6	
260	365	381	26	-19	-5	-14	21	-15	-5	-8	0	7	-21	-10	-5	9	-12	-9	
365			25	-19	-5	-15	20	-15	-5	-8	0	7	-21	-10	-5	10	-11	-8	
310	498	509	37	-27	-7	-18	27	-22	-7	-11	0	10	-26	-14	-6	13	-18	-11	
493			37	-27	-7	-20	27	-21	-7	-11	0	10	-27	-13	-6	13	-18	-11	
360	617	637	47	-34	-9	-24	36	-30	-10	-13	0	12	-32	-18	-6	15	-23	-15	
617			47	-34	-9	-23	36	-30	-10	-13	0	12	-34	-17	-7	16	-22	-15	
410	758	765	60	-44	-13	-30	47	-38	-12	-17	2	13	-43	-21	-6	18	-27	-18	
755			59	-44	-12	-28	46	-37	-12	-18	2	13	-42	-20	-5	18	-28	-17	
460	864	893	73	-52	-15	-33	57	-46	-13	-18	3	15	-48	-23	0	15	-32	-17	
859			70	-51	-15	-33	58	-47	-13	-18	3	14	-48	-23	0	15	-32	-17	
510	992	1021	86	-64	-18	-37	71	-57	-15	-22	6	13	-56	-24	2	15	-38	-18	
989			85	-63	-19	-37	71	-57	-16	-20	6	13	-56	-25	4	15	-38	-18	
560	1122	1149	108	-76	-24	-45	88	-72	-18	-25	5	15	-68	-27	5	17	-44	-20	
1122			107	-76	-24	-44	88	-73	-19	-25	5	14	-67	-27	4	18	-44	-20	
610	1241	1277	77	-44	-33	-48	69	-53	-24	-11	10	11	12	-78	-31	-4	27	-45	-29
1239			74	-44	-33	-49	68	-52	-25	-10	11	12	-79	-30	-4	27	-45	-29	
660	1374	1405	79	-47	-35	-63	111	-95	-21	-10	17	14	-87	-35	-2	30	-50	-33	
1374			79	-47	-35	-63	111	-95	-21	-10	17	14	-87	-35	-2	30	-50	-33	
710	1504	1533	99	-68	-36	-51	105	-106	-206	105	9	19	-91	-52	23	7	-52	-41	
1499			100	-66	-36	-50	104	-104	-206	104	9	20	-92	-51	24	7	-51	-40	
760	1626	1661	117	-83	-44	-43	114	-115	-242	120	10	22	-98	-61	53	-1	-54	-52	
1621			119	-82	-43	-45	113	-115	-242	120	11	22	-99	-62	53	-1	-54	-52	
810	1747	1789	111	-77	-105	48	150	-148	-265	120	19	16	-113	-108	54	-1	-65	-78	
1742			112	-75	-105	49	151	-149	-266	121	18	15	-112	-108	54	-1	-65	-79	
860	1672	1917	126	-92	-99	94	164	-160	-312	140	-27	59	-113	-179	78	-1	-58	-86	
1783			131	-89	-120	134	171	-167	-326	147	-111	145	-261	95	-2	-56	-85	-85	
110	17	0	36	-11	-29	91	53	-68	-152	111	-52	92	-8	-143	69	-1	14	-21	

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)

T 3.69 SÉRIE 5 - MODELO MSB

PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MSB

		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
		CARGA	A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S	A21I
		(kg/m ²)	(kgf)															
160	110	125	0	1	2	5	2	3	0	-1	2	3	3	5	2	-1	3	1
210	238	253	1	0	6	9	5	9	1	0	4	7	4	11	6	-3	10	3
260	365	381	5	-1	9	17	6	14	4	-2	7	11	9	18	9	-5	12	1
310	498	509	6	0	12	20	8	20	5	-1	10	15	13	24	14	-8	19	2
360	617	637	7	-1	15	25	10	24	6	-1	12	20	15	30	18	-10	26	3
410	758	765	7	0	18	32	13	29	7	-1	15	27	19	38	23	-14	34	1
460	864	893	5	3	20	37	17	34	4	0	16	33	25	45	28	-15	41	0
510	992	1021	3	5	22	46	19	40	3	3	19	40	33	52	34	-18	53	-2
560	1122	1149	-3	13	23	59	21	45	0	5	21	51	43	62	41	-24	66	-6
610	1241	1277	-4	15	28	65	26	60	5	1	29	55	48	76	30	-3	41	22
660	1374	1405	-12	23	31	78	30	69	0	7	35	58	56	89	34	-3	45	24
710	1504	1533	-24	62	15	114	-14	54	14	15	42	72	21	90	35	-12	55	4
760	1626	1661	-33	78	16	127	-13	54	3	26	45	82	25	98	47	-19	75	-7
810	1747	1789	22	23	2	77	-45	77	-36	-4	7	52	+28	98	-34	-31	-9	100
860	1772	1917	-34	45	-13	84	-59	84	-46	3	5	48	-27	99	-33	-31	-30	150
110	14	0	-82	105	562	334	237	627	-83	44	-27	19	6	35	-21	-12	-46	110
110	17	0	-82	106	561	334	238	626	-83	43	-27	21	6	36	-20	-12	-45	110

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)T 3.70 SÉRIE 5 - MODELO MSB
PONTOS DOS PAINÉIS

MSB

		DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																
		CARGA	A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S	B23I
		(kg/m ²)	(kgf)															
160	110	125	3	0	3	0	5	0	4	53	-1	0	4	0	1	2	0	0
210	238	253	6	1	6	-1	12	-2	5	79	-5	1	9	0	5	6	1	
260	365	381	9	2	11	-1	19	0	9	97	-6	2	15	-1	7	9	0	
310	498	509	11	1	15	-2	29	-2	10	115	-9	2	22	-1	11	14	3	
360	617	637	14	2	19	-4	37	-4	14	124	-10	3	27	0	13	17	5	
410	758	765	17	2	24	-5	46	-5	18	141	-12	3	32	0	15	21	3	
460	864	893	21	2	30	-8	58	-8	22	154	-14	4	36	-2	16	28	4	
510	992	1021	25	0	38	-8	73	-12	28	166	-15	7	44	8	18	33	8	
560	1122	1149	28	0	48	-2	88	-13	35	181	-23	18	51	16	17	42	13	
610	1241	1277	9	27	30	27	67	9	29	274	-28	28	62	27	10	58	7	
660	1374	1405	13	30	45	28	79	14	30	311	-42	41	71	36	6	73	0	
710	1504	1533	18	37	36	-1	65	18	44	-11	383	-46	83	72	29	-19	72	
760	1626	1661	20	39	-3	73	20	47	-16	433	-81	86	39	50	-85	86	-14	
810	1747	1789	-127	128	138	5	65	52	41	-10	512	-118	217	35	43	-50	52	
860	1772	1917	-212	257	42	47	73	34	-34	515	-235	557	30	21	-60	54	87	
110	14	0	-102	177	36	71	12	41	-31	543	-125	432	-15	37	-65	21	62	
110	17	0	-103	177	35	72	12	40	-32	547	-125	432	-15	37	-65	22	63	

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)T 3.71 SÉRIE 5 - MODELO MSB
PONTOS DOS PAINÉIS

M5B

CARGA kg/m ³	1(kN)	2(kN)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
			A24S	B24T	B25S	B25T	A26S	A26T	A27S	A27T	A28S	A28T	B26S	B26T	B27S	B27T	B28S	B28T
160	110	125	2	1	2	3	-1	0	0	1	2	3	1	-2	0	0	1	1
110																		2
210	238	253	9	0	4	7	-5	-1	-2	2	6	2	-5	-2	3	0	2	4
235			8	2	3	8	-2	-1	0	2	5	3	-5	-1	3	2	1	4
260	365	381	11	0	6	12	-4	-3	-1	6	8	6	-6	-5	4	1	3	6
365			11	-1	6	12	-5	-2	-3	4	8	5	-7	-4	4	1	2	6
310	498	509	18	0	7	16	-7	-4	-3	5	10	7	-9	-7	5	3	3	10
493			15		7	16	-7	-5	-2	5	9	7	-9	-4	5	4	3	9
360	617	637	22	-1	8	20	-8	-6	-4	6	11	10	-10	-8	7	4	2	13
617			22		9	20	-10	-6	-5	7	12	10	-12	-6	7	3	3	13
410	758	765	27	2	10	27	-10	-9	-4	9	13	14	-11	-9	7	5	3	18
755			28	0	10	27	-12	-8	-5	10	13	13	-10	-9	7	5	2	17
460	864	893	31	4	10	34	-11	-10	-6	12	13	18	-11	-11	7	8	-2	23
859			30	4	10	34	-13	-10	-6	13	13	18	-11	-11	7	8	-2	23
510	992	1021	34	9	8	44	-15	-11	-10	18	10	25	-11	-14	6	9	-4	31
989			36	9	8	43	-12	-12	-8	18	10	24	-11	-13	6	9	-5	30
560	1122	1149	43	14	-4	56	-15	-14	-12	25	5	34	-19	-8	-7	17	-21	48
1122			42	13	-3	55	-15	-13	-13	25	6	34	-18	-7	-7	16	-20	49
610	1241	1277	59	14	-13	70	-20	-10	-20	27	-1	49	-33	7	-22	33	-48	75
1239			58	14	-13	70	-19	-10	-20	26	-1	49	-33	6	-23	33	-49	75
660	1374	1405	66	22	-16	69	-24	-6	-28	33	-11	62	-34	8	-31	43	-72	91
1499			66	-3	-27	82	-38	18	-31	82	-41	92	-37	38	-9	83	-47	93
710	1504	1533	84	-4	-26	82	-38	18	-31	82	-41	92	-35	36	-9	82	-48	93
1499			86	-3	-27	82	-36	17	-31	81	-42	92	-35	36	-9	82	-48	93
760	1626	1661	101	7	-34	75	-29	14	-27	86	-63	109	-33	45	-10	86	-60	98
1621			100	7	-34	74	-27	14	-28	86	-64	111	-34	43	-9	86	-60	98
810	1747	1789	55	-3	-84	109	-11	28	-81	199	-61	162	39	78	-18	112	-65	122
1742			55	-3	-85	109	-11	28	-82	199	-62	162	39	79	-17	112	-64	121
860	1672	1917	53	0	-90	94	11	3	-65	172	-92	148	80	84	23	101	-51	117
1783			67	-11	-104	103	40	-2	-71	202	-117	181	105	67	26	98	-65	128
110	14	0	11	12	-58	47	52	14	-51	152	-107	130	111	61	7	61	-54	82
17			11	13	-58	47	53	14	-50	152	-108	130	112	60	7	60	-54	82

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)T 3.72 SÉRIE 5 - MÓDULO M5B
PONTOS DOS PAINÉIS

M5B

CARGA kg/m ³	1(kN)	2(kN)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)											
			A29S	A29T	A30S	A30T	A31S	A31T	B29S	B29T	B30S	B30T	B31S	B31T
160	110	125	-2	-3	-1	6	3	1	-2	0	-1	1	0	2
110														
210	238	253	-5	-8	-2	7	4	3	-6	-5	-2	2	0	5
235			-4	-8	-2	6	4	4	-6	-4	-1	1	0	5
260	365	381	-8	-12	-4	14	5	4	-9	-4	-3	3	0	6
365			-7	-12	-3	15	6	5	-12	-7	-4	4	1	7
310	498	509	-10	-16	-3	20	9	7	-12	-7	-4	4	0	10
493			-9	-16	-6	20	8	5	-12	-7	-4	4	1	10
360	617	637	-13	-22	-3	17	9	8	-15	-12	-5	4	1	13
617			-12	-22	-4	18	10	8	-16	-13	-5	4	1	13
410	758	765	-16	-28	-4	21	12	9	-17	-15	-6	5	1	15
755			-14	-28	-4	23	12	10	-17	-15	-6	5	0	15
460	864	893	-17	-31	-2	26	14	12	-19	-18	-5	6	0	20
859			-17	-31	-2	27	14	11	-18	-17	-5	6	0	19
510	992	1021	-20	-37	-1	35	15	14	-19	-13	-3	8	1	21
989			-19	-37	-1	35	16	15	-18	-13	-3	8	1	21
560	1122	1149	-25	-52	0	45	12	18	-20	-11	-3	8	4	24
1122			-23	-52	1	45	13	19	-20	-10	-3	7	4	25
610	1241	1277	-20	-68	-8	55	7	24	-7	-34	-21	10	-10	34
1239			-20	-68	-9	56	8	25	-7	-34	-21	9	-10	36
660	1374	1405	-23	-77	-13	64	5	28	-9	-44	-26	11	-22	47
1499			-23	-105	-26	71	-10	43	34	-73	-31	21	-47	66
710	1504	1533	-2	-105	-26	71	-10	43	34	-73	-31	22	-47	66
1499			-3	-105	-26	70	-22	61	47	-85	-49	32	-74	76
760	1626	1661	4	-129	-35	79	-22	61	47	-84	-48	33	-75	77
1621			3	-129	-37	80	-24	61	47	-84	-48	33	-75	77
810	1747	1789	128	-193	10	111	-37	134	143	-81	-82	90	-139	120
1742			129	-193	10	110	-36	135	145	-82	-83	91	-140	120
860	1672	1917	152	-213	-5	114	-40	154	220	-95	-113	133	-192	145
1783			122	-170	-89	224	-60	190	249	-81	-125	158	-213	158
110	14	0	139	-33	8	209	-10	120	198	70	-60	138	-127	99
17			139	-32	7	209	-10	119	198	70	-60	139	-127	99

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)T 3.73 SÉRIE 5 - MÓDULO M5B
PONTOS DOS PAINÉIS

M5B

CARGA

DEFORMAÇÕES ($\times 10^{-6}$)

	1(kg/cm²)	2(kg/cm²)	AS9S	AS9I	BS9S	BS9I	AS7'1	BS7M
160	110	125	1	1	8	8	-13	-9
	110		3	2	8	7	-9	-10
210	238	253	6	6	18	20	-25	-20
	235		2	3	16	18	-26	-24
260	365	381	5	7	29	29	-39	-33
	365		3	6	25	30	-41	-34
310	498	-509	5	8	35	40	-60	-46
	493		6	8	36	42	-61	-46
360	617	637	7	9	47	48	-80	-57
	617		7	15	45	47	-81	-59
410	758	765	8	15	60	58	-103	-73
	755		8	17	60	61	-103	-71
460	864	893	9	17	75	139	-117	-70
	859		12	16	75	140	-119	-68
510	992	1021	9	21	483	182	-134	-78
	989		8	20	481	185	-133	-80
560	1122	1149	-42	26	600	250	-146	-86
	1122		-40	26	599	249	-143	-86
610	1241	1277	-65	-5	592	329	-133	-71
	1239		-68	-8	589	328	-135	-72
660	1374	1405	-76	0	586	388	-120	-59
	1374							
710	1504	1533	-160	61	577	441	-101	-48
	1499		-170	63	577	441	-80	-50
760	1626	1661	-231	193	559	481	-64	-41
	1621		-232	194	557	481	-63	-41
810	1747	1789	-260	*****	629	503	-30	18
	1742		-259	*****	625	503	-25	22
860	1672	1917	-283	*****	594	493	17	48
	1783		-282	*****	563	468	3	101
110	14	0	-170	*****	89	31	80	121
	17		-170	*****	88	30	80	120

DEFORMAÇÕES ($\times 10^{-6}$)

T3.74 SÉRIE 5 - MODELO M5B

PONTOS DAS DOBRAS DOS PAINÉIS

3.6.2 - Modelo ensaiado assimetricamente: M5C

Como dissemos, uma vez que os ensaios dos modelos M5A e M5B mostraram ser desnecessário, para esta estrutura, o uso da protensão, resolvemos ensaiar o terceiro modelo M5C assimetricamente, podendo assim comparar o comportamento desta estrutura aos das anteriores, também com relação a esta solicitação.

Antes de realizarmos este ensaio, testamos um novo sistema de fixação, constituído por uma camisa metálica que envolvia todo o pilar, fortalecendo-o e ao mesmo tempo permitindo uma melhor fixação do modelo ao sistema de sustentação. Modificamos também o dispositivo de carregamento, fazendo com que a última barra do sistema em "árvore" tivesse a sua extremidade, que antes era apoiada ao solo, suportada por uma mão francesa fixada ao perfil de sustentação do modelo. Com esta modificação, bastante simples, este perfil ficava equilibrado quanto às rotações transversais, sendo que ainda instalamos um sistema de contrapeso para corrigir qualquer giro que ainda ocorresse. Estas modificações estão também descritas em 2.7.2.

Portanto somente nos ensaios do M5C, dentre os vários ensaios assimétricos, as leituras acusadas pelos defletômetros espelham com maior exatidão os deslocamentos da casca em relação ao pilar considerado fixo.

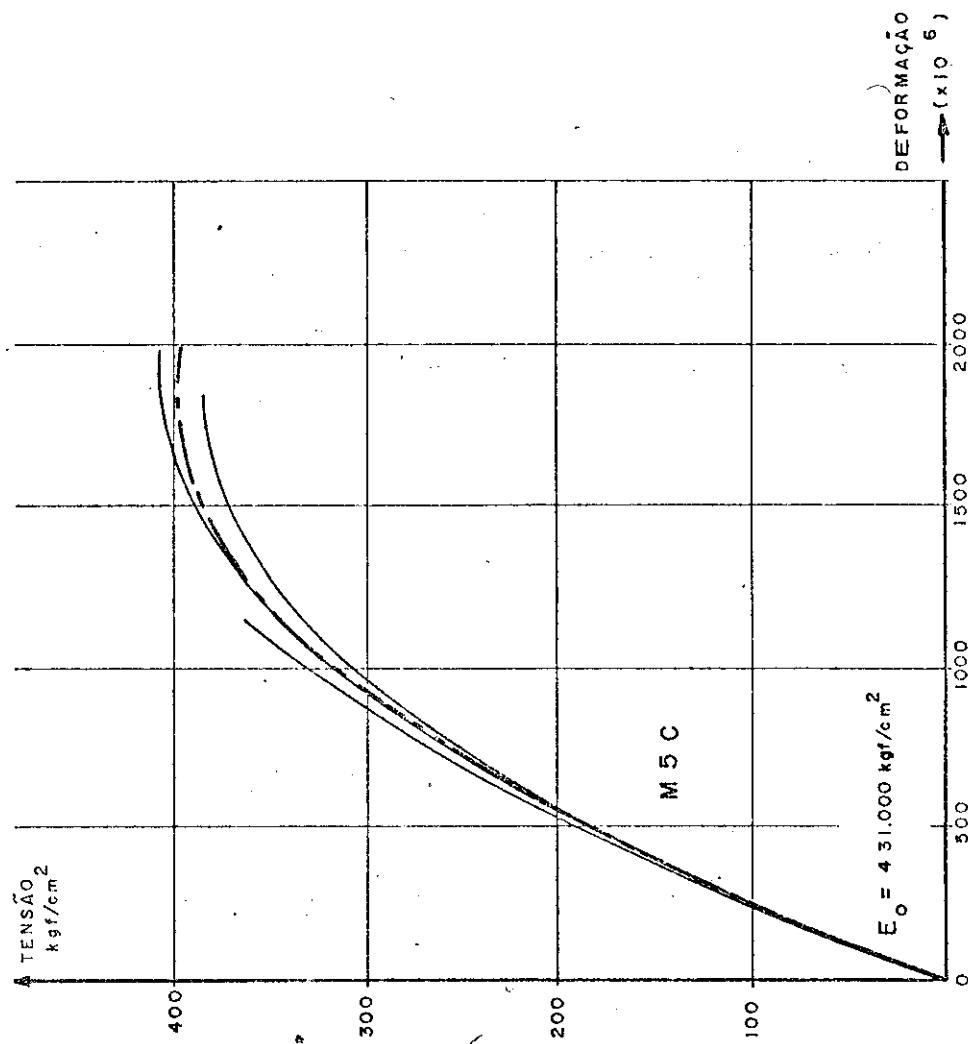
Entretanto ao realizarmos o ensaio (modelo com 28 dias), as cunhas de ancoragem, do sistema de protensão que fixava o modelo ao perfil de sustentação, escorregaram ao aplicarmos a carga de 510 kgf/m^2 , provocando a ruptura do pilar na região do encontro deste com a casca. Repetimos o ensaio após a protensão ter sido refeita e conseguimos atingir a carga de 760 kgf/m^2 , sendo que este limite também foi imposto por influência da região já danificada do pilar e não pela ruptura da casca.

Como a casca se apresentava muito pouco fissurada e não tínhamos obtido uma informação da sua resistência máxima a esta solicitação, resolvemos realizar um outro ensaio, após a recuperação do pilar com massa epóxica e utilizando o sistema de fixação dos primeiros ensaios assimétricos, em que a protensão era aplicada diretamente por um macaco apoiado a um dispositivo fixado ao perfil de sustentação.

Neste ensaio, realizado quando o modelo tinha 35 dias, a nossa principal finalidade era obter uma indicação da configuração e carga de ruptura (foram atingidos 860 kgf/m²), não conseguidas nos ensaios parcialmente realizados. Ainda assim realizamos as leituras das deformações, até mesmo numa tentativa de conseguirmos uma informação da influência do sistema de fixação utilizado sobre estas mesmas deformações. Entretanto, por falha no funcionamento da perfuradora de fita, só percebida no processamento, estes dados não puderam ser aproveitados. Quanto aos deslocamentos, uma vez que se apresentavam deturpados em decorrência do sistema de fixação então adotado e da própria danificação do pilar, somente acompanhamos os de dois cantos, o do quadrante carregado e o do quadrante oposto, para uma despretenciosa comparação com os deslocamentos obtidos nos ensaios anteriores.

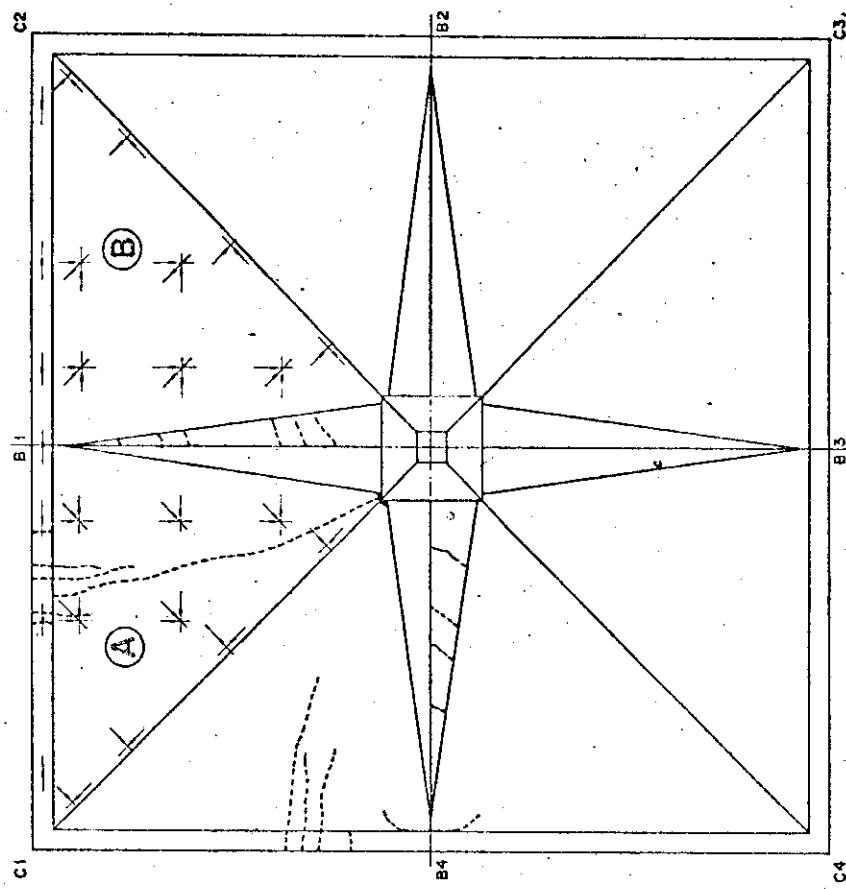
São portanto apresentados para este modelo: o desenho da evolução das fissuras só do último ensaio, pois que as poucas fissuras acusadas nos anteriores são de pequeno interesse; as tabelas e gráficos dos deslocamentos dos dois primeiros ensaios (os deslocamentos correspondentes ao terceiro ensaio, somente os de dois pontos, estão apresentados em conjunto com os do segundo ensaio); as tabelas de deformações dos dois primeiros ensaios (as do terceiro ficaram prejudicadas por falha no sistema de registro).

MODELO	IDADE	σ_{ck} (kgf/cm ²)	COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	5x10	MÉDIA	DESVIO Padrão
M 5 C	31	356,5	394,7	337,1	369,2	407,4
M 5 C	31	35,0	31,8	32,5	22,3	25,5
M 5 C	31	35,0	31,8	32,5	22,3	24,2



G 3.36 — Características do micro-concreto — Ensaio Assimétrico — Série 5

VISTA INFERIOR



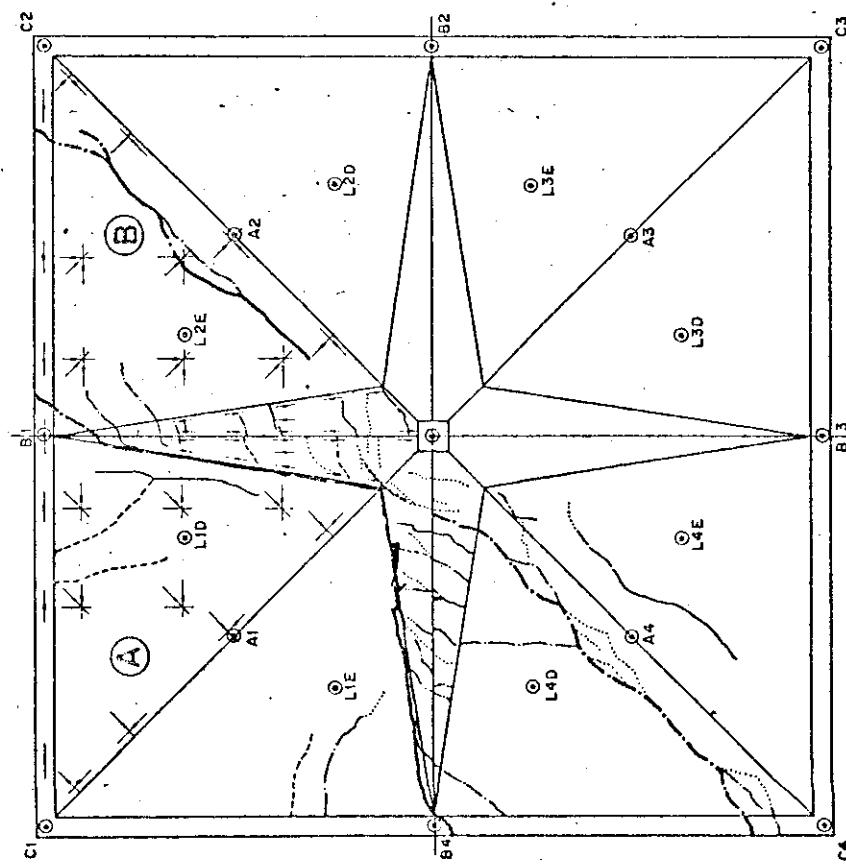
legenda

- 410 - 510 kg/m²
- 510 - 610 kg/m²
- 610 - 710 kg/m²
- 710 - 810 kg/m²
- > 810 kg/m²

Escala 1:10
 $q_k = 860 \text{ kg/m}^2$

Essas mesmas linhas, quando mais grossas, indicam a configuração de ruptura

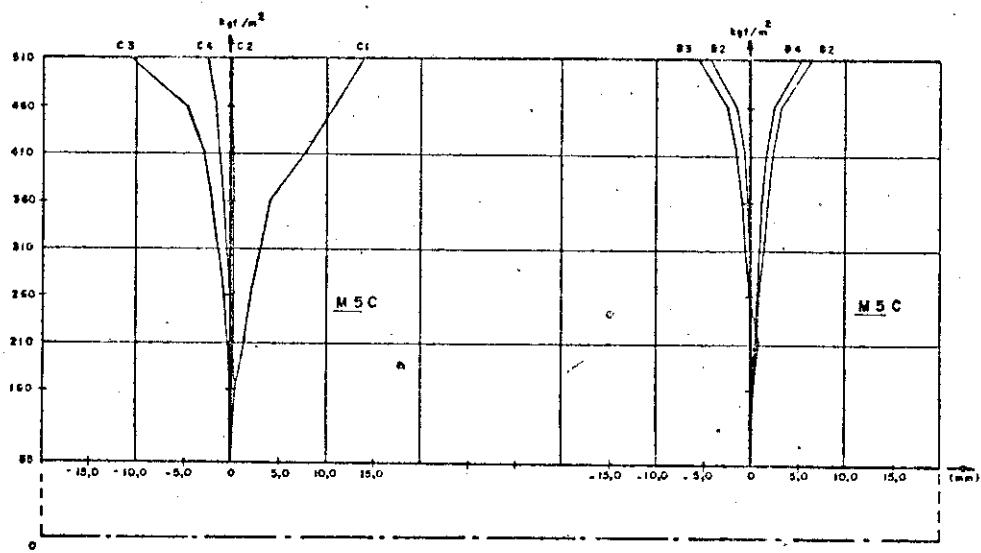
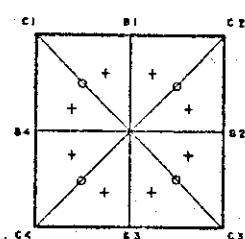
VISTA SUPERIOR



D3.2.9
SÉRIE 5 - MODELO M5C
EVOLUÇÃO DAS FISSURAS

DESLOCAMENTOS - SÉRIE 5 - ENSAIO ASSIMÉTRICO (mm)									
PÁGINA	CARGA kgf/m ²	CANTOS (C1)				MEIO DAS VIGAS DE BORDA (B1)			
		C1	C2	C3	C4	B1	B2	B3	B4
0	05	0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	0,50	0,31	0,10	0,60	0,30	0,27	0,30	0,40
2	210	1,60	0,44	-0,40	0,20	0,60	0,14	1,00	0,60
3	260	2,20	0,36	-0,80	-0,10	1,00	0,02	-0,20	0,80
4	310	3,30	0,42	-1,40	-0,30	1,50	-0,17	-0,60	1,10
5	360	4,20	0,34	-2,00	-0,80	1,90	-0,37	-0,90	1,30
6	410	5,70	0,36	-2,90	-1,30	2,50	-0,65	-1,50	1,80
7	460	8,00	0,11	-4,60	-1,60	3,40	-1,47	-2,40	2,70
8	510	14,20	0,33	-10,40	-2,50	6,40	-4,25	-5,50	5,50

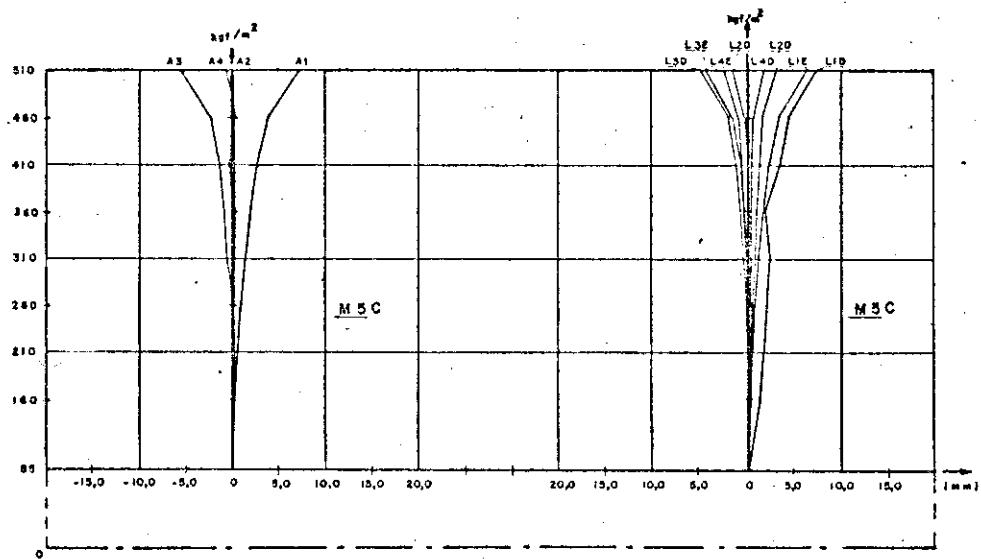
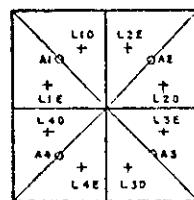
M5C



SÉRIE 5 ENSAIO ASSIMÉTRICO
G3.39 DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (C1) E
DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1)

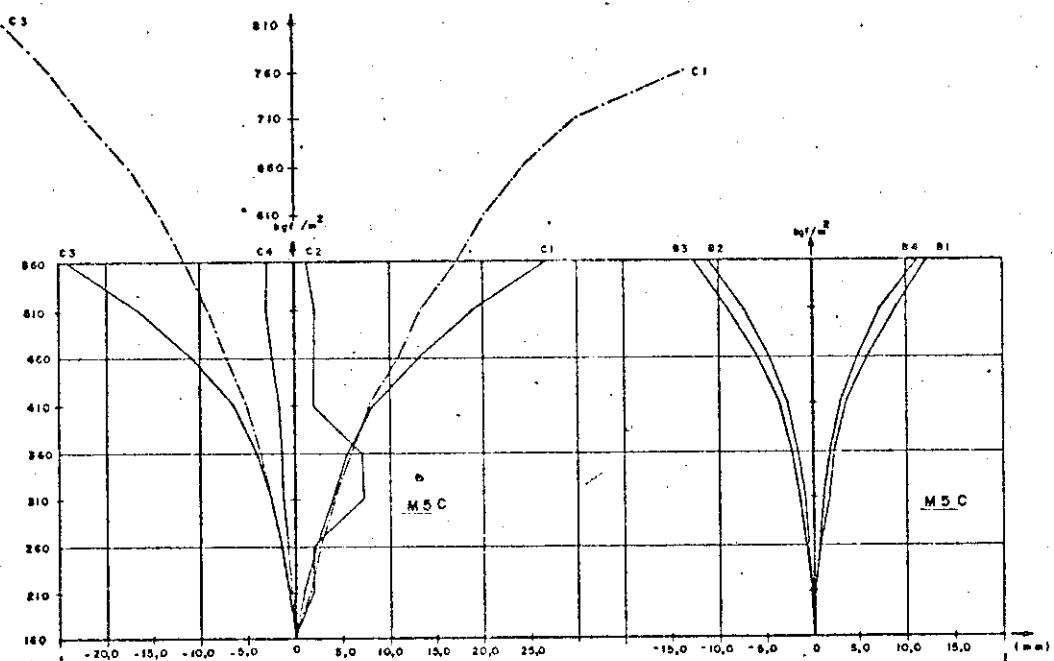
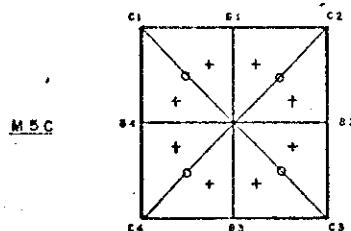
FASE	CARGA kg/m ²	MEIO DAS ARESTAS (AI)				LADOS DAS ARESTAS (LEI,LDI)							
		A1	A2	A3	A4	LEI	LID	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D
0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	140	0,22	0,29	0,17	0,42	0,26	1,36	0,35	0,29	0,23	0,23	0,40	0,41
2	210	0,68	0,23	-0,09	0,25	0,58	1,74	0,56	0,26	0,04	-0,04	0,19	0,39
3	260	1,05	0,29	0,27	0,15	0,63	2,02	0,65	0,21	-0,09	-0,25	0,05	0,40
4	310	1,58	0,37	-0,61	-0,03	1,25	2,48	0,88	0,17	-0,31	-0,56	0,16	0,40
5	360	2,09	0,30	-0,90	0,36	1,70	1,80	1,02	0,03	-0,51	-0,56	-0,40	0,44
6	410	2,85	0,30	-1,39	-0,58	2,34	3,43	1,51	-0,10	-0,86	-1,32	-0,69	0,48
7	460	4,00	0,16	-2,31	0,50	3,36	4,37	1,63	-0,49	-1,88	-2,13	-1,11	0,74
8	510	7,35	0,10	-3,30	-0,71	6,30	7,30	3,07	-1,88	-4,39	-4,98	-2,80	1,77

M 5 C



G3.40 SÉRIE 5 ENSAIO ASSIMÉTRICO
DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (AI)
E DOS LADOS DAS ARESTAS (LEI,LDI)

DESLOCAMENTOS - SÉRIE 5 - ENSAIO ASSIMÉTRICO REP										REP. 2 (mm)			
FASE	CARGA kg/m ²	CANTOS (C1)				MEIO DAS VIGAS DE BORDA (B1)				FASE	CARGA kg/m ²	CANTOS (C1)	
		C1	C2	C3	C4	B1	B2	B3	B4			C1	C3
0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	0	0
1	210	1,00	2,02	-0,70	-0,40	0,30	-0,25	-0,40	0,30	1	210	1,70	-0,80
2	260	2,40	2,10	-1,50	-0,80	0,90	-0,55	-0,80	0,70	2	260	2,70	-1,50
3	310	4,10	7,20	-2,60	-1,30	1,70	-0,96	-1,60	1,20	3	310	4,40	-2,60
4	360	5,70	7,00	-4,00	-1,40	2,30	-1,63	-2,50	1,90	4	360	6,00	-3,60
5	410	6,40	1,94	-6,40	-1,70	3,60	-2,77	-3,60	3,10	5	410	8,00	-5,10
6	460	13,20	2,06	-10,80	-2,40	6,00	-4,77	-6,00	6,10	6	460	11,10	-7,20
7	510	19,00	2,24	-16,30	-3,00	8,90	-7,29	-9,00	7,40	7	510	13,80	-9,10
8	560	26,90	1,30	-24,00	-2,80	12,20	-11,02	-12,50	11,40	8	560	17,20	-11,70
										9	610	20,20	-14,10
										10	660	24,50	-17,50
										11	710	30,10	-21,80
										12	760	41,70	-25,90
										13	810		-31,20

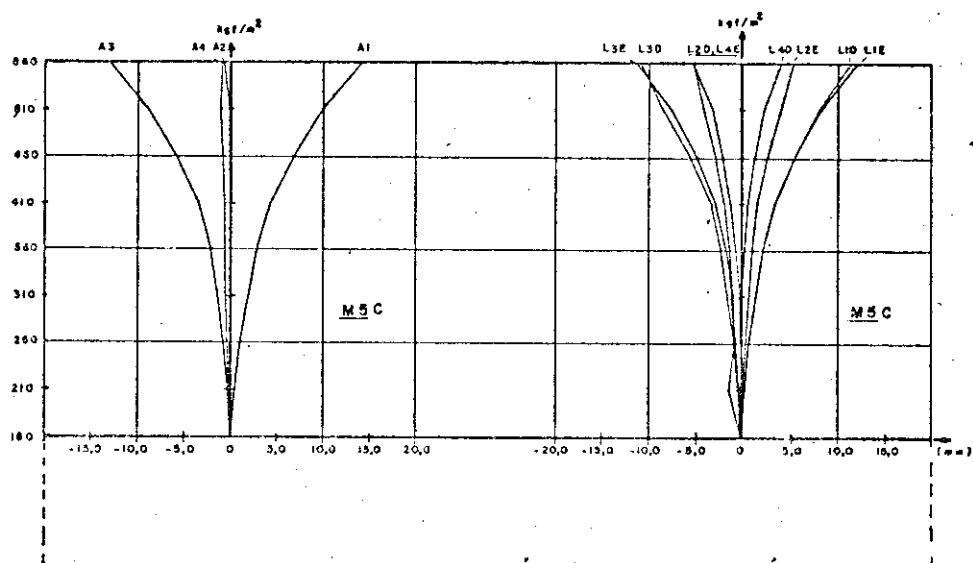
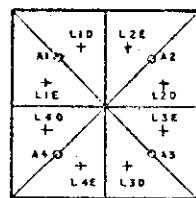


63.41

SÉRIE 5 ENSAIO ASSIMÉTRICO REP 2
DESLOCAMENTOS DOS CANTOS (C1) E
DOS MEIOS DAS VIGAS DE BORDA (B1)

FASE	CARGA kg/m ²	MEIO DAS ARESTAS (AI)				LADOS DAS ARESTAS (LEI, LOI)							
		AI	A2	A3	A4	LEI	L1D	L2E	L2D	L3E	L3D	L4E	L4D
0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	210	0,38	0,01	-0,39	0,17	0,43	0,43	0,28	-0,05	-0,27	-0,47	-1,34	0,04
2	260	1,20	0,03	-0,83	-0,37	0,92	0,95	0,53	-0,17	-0,53	-0,31	-0,61	0,05
3	310	2,04	0,06	-1,46	-0,55	1,59	1,68	0,93	-0,33	-1,05	-1,50	-0,98	0,14
4	360	2,97	-0,06	-2,20	-0,58	2,41	2,43	1,22	-0,72	-1,86	2,16	-1,53	0,43
5	410	4,40	-0,15	-3,50	-0,67	3,64	3,63	1,71	-1,22	-2,78	-3,26	-1,82	0,64
6	460	6,92	-0,15	-5,92	-0,89	5,83	5,74	2,58	-2,07	-4,81	5,47	-2,82	1,53
7	510	9,94	-0,16	-8,90	-1,20	8,46	8,19	4,21	-3,15	7,33	-8,26	-4,02	2,47
8	560	14,02	-0,27	-12,83	-0,80	12,22	11,46	5,58	-3,04	-0,94	-10,56	-5,16	4,21

M5C



G3.42

SÉRIE 5 ENSAIO ASSIMÉTRICO REP 1

DESLOCAMENTOS DOS MEIOS DAS ARESTAS (AI)
E DOS LADOS DAS ARESTAS (LEI, LOI)

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m ²	Tensão kgf/cm ²	A01S	A01I	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)														
				B01S	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I	
160	68	72	6	-13	4	+291	-30	7	-5	2	-4	8	9	-8	0	7	9	0
210	133	136	7	-2	8	-402	1	8	2	8	0	6	-1	4	17	0	19	-12
260	190	200	4	8	12	-496	-5	14	7	6	5	5	4	0	28	-9	28	-19
310	257	264	0	13	18	-621	-13	22	14	0	11	3	12	-4	43	-15	38	-27
360	312	328	-6	20	21	-746	-15	29	21	-2	17	1	16	-8	59	-26	56	-38
410	374	392	-11	29	28	-829	-20	37	30	-9	21	3	24	-14	86	-37	77	-51
460	434	456	-16	38	37	-921	-27	51	39	-13	24	11	32	-18	126	-49	96	-58
512	494	520	-20	44	45	-1057	-38	64	46	-19	23	19	36	-19	171	-52	108	-56

valores negativos correspondem a encurtamentos

valores positivos correspondem a alongamentos

**** + valor superior a 9999

carga inicial: 85 kgf/m²

carga 1 - valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados H.P.

carga 2 - valores acusados por ponte analógica

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 5 - MODELO MSC

PONTOS DAS VÍGAS DE BORDA

T3.75

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m ²	Tensão kgf/cm ²	A05S	A05I	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)														
				B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I	
162	68	72	22	0	8	-11	10	1	-2	0	6	-17	11	-8	17	-6	12	0
212	133	136	9	-6	15	4	13	10	15	2	15	-7	18	-4	23	-15	18	-25
262	190	200	13	-9	21	6	19	16	21	6	19	-12	26	-3	28	-23	25	-3
312	257	264	20	-14	29	11	25	22	27	9	25	-19	34	0	37	-31	34	2
362	312	328	25	-19	36	14	32	28	35	13	30	-26	42	4	45	-40	44	5
412	374	392	30	-25	45	20	38	41	41	18	39	-35	56	8	55	-55	52	7
462	434	456	34	-32	57	27	45	52	49	24	45	-47	68	12	72	-66	72	10
512	494	520	41	-39	66	31	48	59	53	29	52	-54	78	14	94	-76	79	15

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 5 - MODELO MSC

PONTOS DAS DOBRAS DOS PAINÉIS

T3.76

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																	
	A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I		
162 68 72	8	-5	8	7	6	3	-17	-2	1	0	0	3	3	-20	7	-9	18	-3
212 133 136	9	-1	-11	0	2	-3	-4	3	15	-5	-7	-6	9	-8	-7	-7	-2	
262 190 200	8	0	-12	0	2	-5	-5	3	19	-7	-8	-6	9	-10	-6	-7	-2	
312 257 264	7	3	-14	0	5	-8	-6	3	21	-10	-10	-5	10	-12	-7	-7	-2	
362 312 328	7	4	-15	0	6	-11	-7	3	22	-12	-11	-6	11	-13	-7	-7	-1	
412 374 392	5	8	-18	-2	9	-14	-10	5	24	-18	-14	-4	13	-16	-9	-8	0	
462 434 456	6	12	-19	-4	13	-19	-11	8	25	-22	-16	-1	18	-19	-11	0	0	
512 494 520	5	15	-19	-3	18	-24	-12	10	28	-25	-20	0	22	-24	-12	0	0	
	5	14	-20	-4	17	-24	-13	9	27	-25	-20	-1	21	-24	-12	0	0	

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
T3.77 SÉRIE 5 - MODELO MSC
 PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)																	
	A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I		
162 68 72	15	10	-4	0	29	-12	-4	-14	5	0	-11	-4	-1	-115	*****	-6		
212 133 136	14	-10	-3	-4	-24	7	-7	-2	-5	-12	-9	-15	10	4	12 *****	-2		
262 190 200	18	-12	-6	-29	10	-11	-2	-6	-29	-17	-23	22	9	7 *****	1			
312 257 264	21	-14	-8	-33	12	-13	-1	-6	-50	-27	-33	36	17	0 *****	5			
362 312 328	27	-16	-10	-35	14	-15	-1	-7	-70	-34	-42	49	25	-6 *****	10			
412 374 392	35	-14	-10	-38	17	-18	0	-8	-86	-35	-42	49	25	-16 3860	11			
462 434 456	42	-13	-9	-35	20	-21	0	-7	-109	-31	-58	82	45	-14 *****	23			
512 494 520	47	-16	-11	-30	24	-25	0	-9	-138	-32	-68	106	59	-26 *****	32			
	46	-14	-11	-31	23	-24	0	-8	-138	-32	-68	103	59	-25 *****	32			

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
T3.78 SÉRIE 5 - MODELO MSC
 PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m ²	2(kg)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S	A21I
162	68	72	-2	4	-1	4	6	3	2	1	4	11	0	8	12	-3	12
	68																2
212	133	136	8	-2	10	6	2	11	8	0	3	5	4	1	6	-2	5
	135		9	-2	11	6	1	11	7	0	6	6	6	0	7	-2	1
262	190	200	12	-4	13	8	3	14	10	0	6	5	5	0	8	-1	7
	190		12	-4	12	9	1	14	11	0	6	5	5	0	8	-1	7
312	257	264	18	-8	15	12	2	20	13	0	8	5	7	-1	8	-2	13
	257		19	-8	16	12	2	20	12	0	8	5	7	-1	7	-1	13
362	312	328	21	-11	19	14	3	23	14	0	10	4	9	-3	9	-1	16
	312		22	-11	18	13	2	25	12	0	10	5	8	-2	9	-1	15
412	374	392	31	-16	22	19	2	30	16	0	12	3	11	-6	8	3	19
	371		31	-15	21	19	2	29	16	0	12	3	10	-6	9	3	20
462	434	456	42	-22	27	26	0	36	16	0	15	4	12	-8	11	10	24
	434		41	-22	26	26	2	35	17	0	16	4	13	-9	10	10	24
512	494	520	48	-26	31	31	0	42	19	1	17	4	15	-10	12	14	32
	494		49	-26	32	30	0	43	17	0	17	4	15	-10	12	13	30

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
T3.79
 SÉRIE 5 - MODELO MSC
 PONTOS DOS PAINÉIS

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m ²	2(kg)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S	B23I
162	68	72	7	-1	5	-5	11	-4	5	2	12	1	9	5	2	4	-1
	68		6	-1	5	-6	12	-3	4	2	11	1	8	4	1	4	0
212	133	136	2	4	12	-9	17	-3	6	-7	-6	4	8	-4	7	6	-4
	135		2	4	11	-10	16	-4	5	-6	-6	4	9	-5	6	6	-5
262	190	200	-2	10	14	-10	22	-6	9	-10	-6	4	13	-7	8	6	-7
	190		-1	10	14	-10	21	-6	9	-10	-6	4	13	-8	8	6	-8
312	257	264	-5	15	18	-11	29	-10	13	-14	-10	5	17	-11	11	8	-11
	257		-5	14	17	-12	28	-9	13	-14	-9	5	16	-11	11	7	-11
362	312	328	-8	18	20	-12	34	-14	16	-18	-10	5	22	-14	12	8	-15
	312		-7	17	19	-13	35	-14	17	-17	-9	5	21	-14	12	7	-15
412	374	392	-11	19	24	-14	43	-18	23	-25	-9	-4	33	-22	8	15	-20
	371		-10	18	24	-14	43	-19	22	-24	-7	-3	33	-21	7	16	-17
462	434	456	-15	20	31	-17	54	-25	29	-31	-5	-5	66	-28	-1	22	-26
	434		-14	19	30	-16	54	-24	29	-32	-6	-5	45	-28	-1	21	-29
512	494	520	-19	24	36	-19	67	-31	36	-39	-7	-3	54	-31	-5	27	-30
	494		-19	23	36	-20	65	-31	35	-39	-7	-3	54	-31	-5	28	-33

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
T3.80
 SÉRIE 5 - MODELO MSC
 PONTOS DOS PAINÉIS

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m ²	E (kgf)	D24S	B24I	DEFORMACOES (x 10 ⁻⁶)														
				B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I	
162	68	72	11	3	6	5	0	-3	2	7	0	5	4	-4	2	2	5	0
	68		11	3	6	5	-1	-3	2	7	0	4	4	-4	2	2	4	0
212	133	136	2	-2	2	5	-2	-2	-1	-2	12	-4	-1	-1	4	5	-1	11
	135	136	0	-2	2	4	-1	-2	-1	-2	10	-3	-2	-1	3	5	-1	11
262	190	200	3	-4	2	3	-2	-8	3	-7	20	-8	-1	3	3	8	-4	16
	190	200	4	-5	2	4	-2	-8	2	-8	20	-9	-1	3	3	8	-5	16
312	257	264	5	-6	2	2	-3	-13	4	-13	30	-15	-1	8	2	11	-10	23
	257	264	6	-7	3	2	-4	-13	4	-13	30	-16	-1	7	2	12	-10	23
362	312	328	9	-7	2	1	-6	-18	4	-17	35	-17	-2	12	1	17	-15	30
	312	328	8	-7	3	0	-5	-18	3	-17	33	-16	-2	11	1	16	-16	29
412	374	392	12	-10	1	0	-7	-26	-9	-14	9	6	-3	16	-1	22	-26	41
	371	392	12	-10	1	0	-7	-26	-10	-14	9	6	-2	17	-1	23	-27	41
462	434	456	16	-11	0	0	-8	-37	-17	-15	-26	33	-3	22	-4	32	-40	54
	434	456	17	-10	0	0	-9	-36	-17	-15	-26	33	-4	22	-4	31	-39	54
512	494	520	21	-11	-2	2	-8	-45	-18	-18	-38	46	-3	20	-6	40	-52	65
	494	520	21	-11	-1	1	-8	-46	-18	-18	-38	46	-3	20	-7	39	-53	65

T3.81 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 5 - MODELO MSC
PONTOS DOS PAINÉIS

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m ²	E (kgf)	A29S	A29I	DEFORMACOES (x 10 ⁻⁶)												
				A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I			
162	68	72	4	-5	11	-1	2	5	0	-4	2	0	4	1		
	68		5	-5	10	-1	3	4	0	-5	2	0	3	2		
212	133	136	-9	-14	-5	0	2	2	-1	-9	3	3	0	5		
	135	136	-9	-14	-6	-1	2	2	-2	-9	3	3	0	5		
262	190	200	-15	-21	-9	-2	4	2	1	-7	5	5	-1	9		
	190	200	-16	-20	-8	-2	7	1	1	-7	5	5	-2	8		
312	257	264	-24	-29	-15	-5	11	0	5	-6	7	8	-5	12		
	257	264	-24	-28	-15	-5	11	0	4	-6	7	9	-5	12		
362	312	328	-33	-36	-21	-7	14	1	8	-5	9	13	-8	15		
	312	328	-32	-37	-19	-9	14	0	8	-4	9	12	-8	14		
412	374	392	-45	-39	-42	5	10	10	12	-4	11	17	-13	20		
	371	392	-44	-39	-42	5	10	10	12	-4	10	16	-14	19		
462	434	456	-51	-49	-73	25	-10	27	18	-2	12	21	-20	26		
	434	456	-51	-49	-73	25	-10	28	18	-2	12	21	-21	27		
512	494	520	-62	-57	-104	44	-15	45	22	-2	14	26	-28	32		
	494	520	-62	-57	-104	44	-14	45	21	-2	14	26	-28	31		

T3.82 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 5 - MODELO MSC
PONTOS DOS PAINÉIS

MSC PRIMEIRO ENSAIO

CARGA kg/m² (kPa) (23kgf)		DEFORMAÇÕES (x 10**6)					
		AS9S	AS9I	BS9S	BS9I	AS7'1	BS7M
162	68	72	2	0	11	16	-12
	68		0	0	8	11	-13
212	133	136	-3	5	15	23	-30
	135		-3	2	16	22	-32
262	190	200	-3	8	23	34	-45
	190		-1	10	24	35	-46
312	257	264	-2	16	26	44	-68
	257		-7	17	30	48	-64
362	312	323	-6	17	30	56	-88
	312		-8	16	31	56	-88
412	374	392	-12	22	37	66	-112
	371		-12	24	34	66	-109
462	434	456	-17	31	40	90	-129
	434		-13	29	44	90	-130
512	494	520	-19	37	33	220	-154
	494		-14	38	33	225	-154
							25

DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)
T3.83 SÉRIE 5 - MODELO 'MSC'
 PONTOS DAS DOBRAS DOS PAINEIS

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kN/m) 2(kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)	CARGA															
		A01S	A01I	B01S	B01I	A02S	A02I	B02S	B02I	A03S	A03I	B03S	B03I	A04S	A04I	B04S	B04I
212 126	129 136	-5 -4	7 6	3 3	-46 -48	-5 -3	6 4	5 2	-2 3	-1 0	4 3	-5 22	21 -10	-11 10	10 10	-6 -7	
262 196	196 200	+9 -11	13 11	9 8	-90 -95	-7 -11	14 13	13 12	-8 7	8 1	10 10	-9 52	-19 -19	24 23	-16 -16		
312 261	264 264	-14 -15	20 19	13 13	-128 -129	-18 -18	23 22	19 19	-12 -11	12 13	-1 16	-15 -13	88 87	-32 -31	36 35	-24 -24	
362 321	321 328	-21 -21	25 25	18 18	-169 -171	-30 -27	32 31	25 25	-17 17	17 0	24 22	-18 -19	118 118	-43 -42	47 47	-29 -29	
412 375	375 392	-23 -23	31 30	24 24	-208 -210	-30 -32	36 38	31 31	-22 -23	21 20	0 0	29 28	-22 -23	148 150	-48 -48	58 58	-36 -36
462 448	451 456	-26 -29	39 39	32 30	-260 -262	-32 -34	47 46	40 40	-25 -25	25 24	0 0	34 34	-27 -26	186 185	-59 -60	72 72	-45 -45
512 500	503 520	-30 -31	45 45	35 35	-319 -321	-32 -32	55 54	46 45	-30 -29	30 30	0 0	38 39	-30 -29	221 221	-65 -65	84 83	-51 -51
562 568	570 584	-35 -35	53 53	44 44	-380 -381	-42 -44	65 66	54 53	-33 -32	28 27	7 6	41 40	-32 -32	750 753	-108 -110	96 96	-55 -55
612 612	615 648	-27 -36	80 61	57 56	-519 -508	-18 -54	68 77	66 61	-13 -36	22 20	15 15	9 37	-29 -33	889 882	-112 -112	42 40	-62 -54
662 683	691 712	-7 -6	87 88	68 68	-550 -552	74 78	65 61	72 72	2 3	17 15	24 25	-15 -16	-26 -27	991 982	-113 -112	37 34	-63 -60
712 735	743 776	-13 -13	71 71	84 89	-576 -582	6 7	86 85	83 83	-26 -28	-1 2	47 49	9 7	-36 -34	939 986	-100 -96	39 36	-50 -48
762 810	818 840	-17 -14	73 71	140 141	-651 -654	-22 -22	106 105	88 86	-32 -30	-16 -17	72 73	3 0	-28 -26	1203 1224	-90 -84	26 21	-18 -12
85 19	19 0	28 28	18 17	39 39	-618 -621	63 64	-9 -8	0 0	43 43	-34 -35	30 31	-71 -71	15 16	367 367	36 -101	45 44	

valores negativos correspondem a encurtamentos
valores positivos correspondem a alongamentos

**** + valor superior a 9999

carga inicial: 160 kgf/m²

carga 1 + valores acusados pelo Sistema de Aquisição de Dados H.P.

carga 2 + valores acusados por ponte analógica

T3.84 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 5 - MODELO MSC - REP. 1

PONTOS DAS VIGAS DE BORDA

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kN/m) 2(kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)	CARGA															
		A05S	A05I	B05S	B05I	A06S	A06I	B06S	B06I	A07S	A07I	B07S	B07I	A08S	A08I	B08S	B08I
210 126	129 136	3 -4	6 4	8 6	6 5	7 7	4 4	4 4	-4 6	6 2	5 6	-8 -7	6 6	2 2	-6 -7	6 6	2 2
260 196	196 200	8 -10	14 14	7 10	11 13	13 14	7 7	9 8	-12 12	16 15	6 5	15 15	-18 -19	16 15	-7 5		
310 261	264 264	14 -14	22 23	12 12	17 16	21 21	20 20	11 12	14 14	-20 25	25 25	10 9	23 24	-29 -28	24 23	9 9	
360 321	321 328	20 -17	30 30	17 16	23 24	28 27	28 27	17 16	19 20	-27 32	32 32	12 12	30 30	-37 -37	31 32	12 13	
410 375	378 392	25 -22	38 37	20 19	28 28	33 35	32 32	21 21	25 25	-34 42	42 42	16 15	41 40	-45 -45	41 40	17 15	
460 448	451 456	29 -27	46 46	25 25	35 34	43 43	39 40	25 25	31 30	-41 51	51 51	21 21	50 49	-57 -57	50 51	20 20	
510 500	503 520	35 -32	53 53	29 28	39 40	51 51	44 44	28 29	38 38	-46 60	60 60	24 23	60 61	-64 -64	59 58	23 23	
560 568	570 584	37 -35	59 58	34 34	45 45	54 53	51 50	33 33	45 44	-51 66	66 66	28 29	66 65	-74 -74	66 67	28 27	
610 612	615 648	3 -38	63 60	62 59	48 50	58 53	66 44	32 35	-42 -51	14 18	100 97	27 24	69 69	-86 -83	67 66	9 27	
660 683	691 712	-23 -31	-62 -61	52 50	84 81	61 91	89 93	28 27	-42 -41	56 56	131 129	28 28	59 54	-90 -89	68 68	-3 -3	
710 735	743 776	-1 -2	-86 -86	66 66	78 78	69 114	81 81	38 37	-53 -53	45 45	137 136	35 35	4 1	-84 -83	108 122	21 23	
760 810	818 840	2 -96	74 72	81 81	79 147	96 92	40 40	-48 -47	27 27	154 154	29 27	-93 -94	-99 -97	874 877	82 84		
85 19	19 0	-57 -59	-4 -3	-14 -13	34 -1	13 13	9 9	3 2	-49 -50	83 83	20 19	-6 -5	-79 -80	12 11	429 430	-1 -1	

T3.85 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)

SÉRIE 5 - MODELO MSC - REP. 1

PONTOS DAS DOBRAS DOS PAINÉIS

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kgf)	2(kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A09S	A09I	A10S	A10I	B09S	B09I	B10S	B10I	A11S	A11I	A12S	A12I	B11S	B11I	B12S	B12I
212 ¹²⁹ 126	136	-1 0	1 0	-2 -1	-1 -2	0 0	-1 -1	0 -1	0 0	2 2	-3 -3	-2 -2	0 0	1 1	-1 -1	0 -1	-1 0
262 ¹⁹⁶ 196	200	-2 -1	4 3	-4 -3	-3 -2	2 -4	-4 -4	-2 -4	1 3	4 6	-6 -11	-4 -5	1 2	3 6	-4 -6	-2 -1	0 0
312 ²⁶⁴ 261	264	-3 -1	6 5	-4 -4	-3 -3	5 5	-8 -8	-4 -4	3 3	6 6	-10 -11	-6 -5	2 2	6 6	-6 -6	-1 -1	0 0
362 ³²¹ 321	323	-2 -3	8 9	-5 -5	-2 -3	8 9	-11 -11	-4 -3	3 3	8 7	-12 -12	-6 -7	2 2	7 6	-8 -8	0 0	0 0
412 ³⁷⁸ 375	392	-2 -3	12 11	-4 -5	-5 -4	10 9	-15 -13	-5 -4	5 5	9 8	-15 -15	-8 -9	2 4	9 9	-9 -10	-1 -1	1 1
462 ⁴⁵¹ 448	456	-2 -3	14 15	-6 -6	-6 -6	13 13	-17 -18	-6 -6	6 6	10 11	-19 -19	-11 -11	4 3	11 12	-12 -12	-1 -1	2 2
512 ⁵⁰³ 600	520	-3 -3	17 17	-8 -7	-7 -7	15 14	-19 -19	-6 -6	6 7	12 13	-23 -23	-15 -15	3 4	14 13	-13 -13	-4 -4	3 3
562 ⁵⁷⁰ 568	584	-2 -3	19 19	-9 -10	-8 -10	19 19	-23 -23	-7 -8	9 9	16 16	-27 -27	-18 -18	5 5	18 18	-17 -17	-5 -5	4 3
612 ⁶¹⁵ 612	648	0 -1	26 22	-45 -12	-19 -8	19 23	-2 -30	-15 -12	14 12	46 20	-42 -32	-40 -21	33 12	23 23	-18 -23	-57 -58	9 5
662 ⁶⁹¹ 683	712	-1 -1	32 33	-73 -81	-29 -29	21 20	24 30	-21 -21	20 20	72 76	-50 -57	-54 -57	54 58	29 29	-19 -17	-97 -104	13 13
712 ⁷⁴³ 735	776	-4 -4	34 34	-46 -46	-19 -19	38 39	-14 -14	-21 -21	24 24	53 53	-44 -43	-42 -43	31 31	45 45	-34 -33	-59 -60	13 13
762 ⁸¹⁸ 810	840	-5 -4	37 36	-46 -47	-18 -17	85 90	-57 -60	-29 -30	41 41	57 57	-52 -51	-43 -43	28 29	16 14	-16 -15	-61 -61	23 22
85 ¹⁹ 19	0	11 12	1 1	-49 -49	-10 -12	21 21	7 7	-16 -16	14 14	41 41	-17 -18	-33 -33	27 26	-28 -28	20 20	-65 -65	6 6

T3.86 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 5 - MODELO MSC - REP. 1
PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kgf)	2(kgf)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A13S	A13I	A14S	A14I	B13S	B13I	B14S	B14I	A15S	A15I	A16S	A16I	B15S	B15I	B16S	B16I
212 ¹²⁹ 126	136	2 -1	-2 -2	-7 -9	1 0	-3 -2	0 0	0 0	-19 -18	-7 -6	-8 -8	12 12	6 6	0 -1	***** *****	3 3	
262 ¹⁹⁶ 196	200	5 5	-4 -4	-4 -20	-19 -3	3 -3	-4 -3	0 1	0 0	-40 -39	-15 -13	-19 -19	27 27	14 14	-5 -5	***** *****	8 7
312 ²⁶⁴ 261	264	10 10	-5 -5	-6 -6	-27 -28	6 6	-6 -6	2 2	0 0	-60 -60	-20 -20	-27 -27	43 42	24 23	-12 -12	-6546 -5304	13 14
362 ³²¹ 321	328	16 15	-5 -5	-7 -7	-32 -32	9 9	-9 -9	2 2	0 0	-78 -78	-26 -27	-35 -36	56 56	31 32	-22 -23	***** *****	20 19
412 ³⁷⁸ 375	392	19 18	-6 -6	-8 -8	-37 -38	11 11	-11 -11	3 1	0 -1	-97 -97	-32 -32	-44 -45	70 70	39 39	-30 -29	***** *****	23 24
462 ⁴⁵¹ 448	456	21 22	-7 -7	-10 -11	-33 -33	12 14	-13 -13	4 4	-1 0	-119 -119	-38 -39	-56 -57	86 86	50 50	-33 -33	***** *****	29 29
512 ⁵⁰³ 500	520	26 23	-10 -9	-11 -11	-32 -32	14 14	-14 -14	5 5	-2 -2	-136 -136	-45 -45	-65 -66	100 100	56 56	-39 -39	***** *****	35 34
562 ⁵⁷⁰ 568	584	29 27	-12 -12	-12 -13	-7 -7	17 16	-19 -18	6 6	-2 -2	-158 -157	-50 -57	-76 -77	116 116	67 67	-46 -46	***** *****	39 39
612 ⁶¹⁵ 612	648	25 32	-51 -16	-6 -13	-147 -110	-26 -18	-22 -22	11 7	14 13	-169 -172	-37 -37	-79 -85	132 125	81 80	-14 -47	3154 1329	42 45
662 ⁶⁹¹ 683	712	29 28	-81 -86	-1 -2	-207 -214	-57 -64	-6 -4	13 14	27 30	-159 -155	-15 -14	-81 -79	130 128	94 93	0 2	***** *****	49 47
712 ⁷⁴³ 735	776	44 43	-51 -51	-6 -4	-192 -193	-22 -23	-12 -11	8 8	12 12	-154 -150	9 12	-100 -100	116 114	93 91	-10 -7	5353 -6392	70 72
762 ⁸¹⁸ 810	840	50 49	-57 -57	-9 -9	-187 -187	-11 -19	-20 -19	9 10	10 10	-148 -146	36 37	-116 -114	112 110	113 114	-29 -27	-3863 -7931	114 113
85 ¹⁹ 19	0	-6 -6	-48 -48	12 12	-158 -159	-56 -56	17 17	7 7	11 11	32 32	40 41	1 0	-13 -13	1 1	43 42	-5816 -5085	14 13

T3.87 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 5 - MODELO MSC - REP. 1
PONTOS PRÓXIMOS ÀS ARESTAS

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kN/m ²)	T (kN)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A17S	A17I	A18S	A18I	A19S	A19I	B17S	B17I	B18S	B18I	B19S	B19I	A20S	A20I	A21S	A21I
212 129	136	5	-5	1	0	0	4	0	-1	1	0	0	-2	-5	1	-2	4
126		4	-4	1	1	0	4	0	-1	1	0	0	-3	-5	0	-3	4
262 196	200	10	-8	5	4	-1	9	0	-1	3	-1	1	-5	-6	2	-6	10
196		11	-8	4	6	-1	9	0	-1	2	0	1	-5	-5	2	-6	11
312 264	264	16	-12	7	8	-1	14	0	0	4	0	2	-7	-5	3	-6	16
261		14	-13	5	8	-1	14	1	-1	4	-1	2	-7	-5	2	-7	17
362 321	328	20	-15	8	10	0	18	1	-2	7	-1	4	-8	-5	5	-7	21
321		20	-16	9	10	0	18	0	-2	7	-1	4	-8	-5	5	-7	21
412 378	392	26	-20	11	14	-1	23	2	-1	8	-1	6	-11	-4	6	-8	27
375		25	-19	12	13	-1	23	2	-1	8	-1	6	-10	-5	7	-9	25
462 451	456	32	-23	13	17	-2	28	2	-1	10	-2	6	-13	-5	8	-12	33
448		33	-24	15	16	-1	28	1	-1	10	-1	6	-13	-5	8	-10	32
512 503	520	38	-28	20	19	-3	35	2	-1	11	-1	9	-15	-5	10	-14	36
500		38	-27	20	19	-3	35	3	-1	12	0	9	-15	-4	10	-14	36
562 570	584	46	-31	24	25	-3	41	3	0	13	0	10	-16	-2	11	-16	44
568		46	-31	24	25	-3	41	3	0	13	0	10	-16	-2	12	-15	46
612 615	648	33	-42	44	-8	-11	58	-18	0	13	32	18	-24	29	14	-50	78
612		52	-33	28	29	-1	50	5	0	13	31	15	-16	29	14	-50	50
662 691	712	17	-49	57	-35	-17	66	-37	3	11	58	26	-31	52	17	-75	105
683		13	-50	60	-45	-21	68	-44	4	11	57	25	-31	60	17	-78	102
712 743	776	43	-46	46	3	-10	66	-22	9	12	38	29	-26	26	28	-49	86
735		43	-46	47	5	-9	66	-22	9	12	39	30	-25	25	27	-50	85
762 818	840	51	-47	47	24	-9	78	-31	17	8	38	29	-24	21	34	-51	96
810		52	-41	49	23	-9	80	-32	17	8	38	29	-24	23	34	-51	95
85 19	0	-9	-2	34	-32	-2	24	-21	4	0	42	12	4	33	8	-35	28
19		-8	-2	34	-30	-1	24	-20	5	0	44	12	4	35	8	-36	30

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)T3.88 SÉRIE 5 - MODELO MSC - REP. 1
PONTOS DOS PAINÉIS

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kN/m ²)	T (kN)	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		A22S	A22I	B20S	B20I	B21S	B21I	B22S	B22I	A23S	A23I	A24S	A24I	A25S	A25I	B23S	B23I
212 129	136	-5	3	1	-1	5	-3	3	-5	-1	4	-5	0	0	1	6	-4
126		5	3	0	-1	5	-3	3	-5	-2	4	-5	0	0	1	5	-4
262 196	200	-9	7	3	-3	11	-8	6	-10	-4	-2	9	-9	1	2	11	-8
196		-10	7	4	-2	11	-8	7	-11	-5	-2	9	-9	0	2	10	-8
312 264	264	-14	11	6	-3	18	-13	12	-14	-6	-2	15	-13	0	6	17	-12
261		-15	11	6	-3	16	-14	12	-15	-6	-3	15	-13	-1	5	18	-12
362 321	328	-17	15	8	-4	25	-17	16	-18	-5	-4	21	-16	-1	7	24	-16
321		-18	15	8	-4	24	-17	16	-18	-5	-4	21	-16	0	7	24	-16
412 378	392	-22	20	12	-6	31	-21	21	-22	-7	-4	26	-20	-1	10	29	-20
375		-22	19	11	-6	31	-20	20	-22	-8	-4	26	-21	0	9	28	-20
462 451	456	-27	24	14	-8	38	-25	24	-27	-11	-5	32	-26	0	12	35	-24
448		-27	24	14	-7	38	-25	25	-27	-10	-5	32	-25	-1	13	33	-24
512 503	520	-31	28	18	-8	44	-29	28	-31	-15	-4	37	-29	0	16	38	-27
500		-31	27	18	-9	43	-29	28	-33	-16	-4	36	-29	0	16	38	-27
562 570	584	-36	33	24	-11	55	-34	35	-37	-18	-4	43	-31	0	21	42	-31
568		-35	33	24	-11	55	-35	35	-37	-17	-4	42	-31	-1	24	42	-31
612 615	648	-38	37	0	-23	79	-89	43	-56	-104	10	51	145 ****	3	30	23	-39
612		-37	37	42	-23	82	-87	51	-54	-112	1	51	145 ****	3	27	48	-39
662 691	712	-37	44	-22	-31	90	-128	47	-68	-175	22	65	-29 ****	41	-2	-39	
683		-37	45	-32	-32	92	-138	45	-71	-192	23	65	-35 ****	41	-4	-40	
712 743	776	-32	38	378	-112	742	-227	616	-154	-91	1	77	142 ****	50	28	-40	
735		-31	38	421	-117	804	-229	665	-155	-92	2	75	142 ****	50	28	-40	
762 818	840	-41	40	2184	-227	3105	-315	2377	-249	-90	9	82	133 ****	59	41	-38	
810		-41	39	2267	-230	3195	-315	2448	-252	-91	9	80	136 ****	59	39	-37	
85 19	0	11	2	1516	-119	2055	-136	1551	-102	-89	29	11	189 ****	11	12	-23	-1
19		11	3	1515	-118	2054	-137	1550	-103	-88	29	11	189 ****	11	11	-22	-1

DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)T3.89 SÉRIE 5 - MODELO MSC - REP. 1
PONTOS DOS PAINÉIS

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kg/t)	PONTOS B24S B24I B25S B25I A26S A26I A27S A27I A28S A28I B26S B26I B27S B27I B28S B28I	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)															
		B24S	B24I	B25S	B25I	A26S	A26I	A27S	A27I	A28S	A28I	B26S	B26I	B27S	B27I	B28S	B28I
212 129	136	1	-1	-1	0	-1	-6	-1	-4	0	-1	-4	3	-2	3	-5	4
126		0	-1	-2	-1	-1	-5	-1	-6	1	-1	-2	3	-1	3	-5	5
262 196	200	3	-3	-2	-2	-2	-13	-2	-10	0	1	-3	7	-2	7	-13	12
196		4	-3	-2	-1	-2	-12	-3	-11	1	0	-3	7	-3	7	-13	13
312 264	264	7	-4	-2	-3	-4	-20	-4	-15	0	2	-4	11	-5	13	-21	19
261		8	-4	-3	-3	-5	-20	-4	-15	0	2	-4	11	-4	13	-21	19
362 321	328	12	-5	-4	-3	-4	-25	-3	-17	-1	5	-2	14	-6	16	-27	26
321		11	-5	-3	-4	-5	-27	-3	-17	-1	4	-3	12	-6	17	-27	27
412 378	392	13	-5	-4	-4	-6	-32	-4	-21	-2	7	-3	16	-7	22	-33	34
375		12	-7	-4	-5	-5	-32	-4	-21	-2	7	-3	17	-7	21	-33	34
462 451	456	16	-8	-5	-6	-8	-39	-5	-28	-3	9	-4	20	-9	26	-42	42
448		17	-9	-4	-6	-8	-39	-6	-27	-2	9	-4	21	-9	27	-43	42
512 503	520	17	-10	-4	-6	-9	-44	-6	-32	-2	10	-6	23	-10	31	-50	51
500		17	-11	-6	-5	-9	-44	-8	-32	-1	10	-7	24	-9	31	-50	51
562 570	584	21	-11	-7	-3	-8	-52	-8	-35	-5	15	-6	29	-11	38	-58	60
568		21	-10	-6	-3	-8	-52	-9	-35	-6	16	-7	28	-12	38	-58	60
612 615	648	-8	-28	-7	2	-3	-44	-24	-63	-9	22	-19	35	-4	41	-74	92
612	612	25	-8	-2	1	-3	-61	-13	-34	-14	29	-18	35	-4	41	-73	91
662 691	712	-35	-36	-12	6	3	-34	-42	-40	-17	28	-28	38	0	45	-87	114
683		-41	-40	-13	7	5	-30	-43	-41	-16	27	-30	39	2	45	-88	117
712 743	776	4	-29	-7	17	-14	-35	-49	-13	-47	57	-18	51	-12	56	-115	135
735		8	-29	-6	18	-14	-35	-49	-13	-47	57	-16	47	-12	56	-115	136
762 818	840	25	-21	-18	32	-14	-49	-52	-13	-64	74	-12	63	-32	91	-158	177
810		26	-23	-19	34	-14	-49	-53	-15	-64	73	-13	63	-33	92	-158	178
85 19	0	-25	-12	-2	29	18	22	-19	-1	-14	17	-9	21	4	14	-30	62
19		-25	-10	-3	30	20	23	-19	0	-14	16	-10	20	4	13	-30	62

T3.90 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 5 - MÓDULO MSC - REP. 1
PONTOS DOS PAINÉIS

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA kg/m ² (kg/t)	PONTOS A29S A29I A30S A30I A31S A31I B29S B29I B30S B30I B31S B31I	DEFORMAÇÕES (x 10 ⁻⁶)											
		A29S	A29I	A30S	A30I	A31S	A31I	B29S	B29I	B30S	B30I	B31S	B31I
212 129	136	-8	-6	-10	0	0	1	4	0	0	0	-4	3
126		-9	-7	-11	0	1	1	3	1	0	0	-4	3
262 196	200	-19	-15	-23	3	-1	5	6	1	1	5	-8	7
196		-20	-14	-23	4	-1	6	7	1	2	5	-7	5
312 264	264	-28	-22	-36	7	-1	9	10	3	4	8	-12	9
261		-28	-22	-35	7	0	10	11	3	4	8	-12	9
362 321	328	-36	-29	-46	9	-1	13	15	6	5	11	-16	12
321		-35	-29	-46	10	-2	13	15	6	5	11	-16	11
412 378	392	-43	-35	-58	13	-2	16	18	6	7	15	-20	16
375		-43	-35	-58	13	-2	16	18	6	7	15	-23	19
462 451	456	-54	-44	-72	16	-2	20	22	8	9	19	-24	20
448		-54	-44	-72	16	-3	20	22	7	9	19	-23	19
512 503	520	-62	-51	-85	21	-5	24	23	8	7	22	-28	24
500		-62	-50	-84	22	-5	24	23	7	11	22	-28	24
562 570	584	-70	-57	-100	29	-9	31	27	9	12	27	-32	29
568		-70	-57	-100	29	-8	31	27	9	13	27	-30	29
612 615	648	-85	-70	-142	41	-34	40	21	-2	14	34	-36	40
612		-83	-69	-142	42	-34	41	19	-3	13	35	-37	41
662 691	712	-95	-76	-186	66	-66	53	12	-11	12	39	-46	49
683		-96	-75	-190	68	-67	52	12	-14	11	39	-46	50
712 743	776	-96	-83	-191	73	-97	96	9	3	-90	122	-139	107
735		-94	-82	-190	74	-97	96	9	3	-92	123	-140	109
762 818	840	-105	-97	-207	79	-117	118	17	-17	-121	138	-185	143
810		-105	-98	-208	80	-118	117	16	-18	-121	137	-184	144
85 19	0	2	0	-36	25	-41	23	-21	-31	-48	35	-46	45
19		2	0	-36	25	-41	22	-22	-32	-48	35	-45	45

T3.91 DEFORMAÇÕES (x 10⁻⁶)
SÉRIE 5 - MÓDULO MSC - REP. 1
PONTOS DOS PAINÉIS

MSC SEGUNDO ENSAIO

CARGA Nº X1(kN)	X2(kN)	AS9G	AS9I	BS9S	BS9I	DEFORMAÇÕES (X 10**6)		
						AS7M	BS7M	
212	129	136	-3	3	1	13	-18	6
	126							
262	196	200	-4	2	4	34	-39	11
	198							
312	264	264	-7	14	5	53	-60	21
	261							
362	321	320	-8	18	5	70	-76	30
	321							
412	378	392	-10	22	8	88	-95	31
	375							
462	451	456	-13	26	10	110	-115	37
	448							
512	503	520	-14	34	13	131	-131	40
	500							
562	570	584	-15	39	0	176	-153	46
	568							
612	615	643	1095	1	13	212	-179	29
	612		1106	0	-6	206	-180	35
662	691	712	1391	1	22	237	-201	35
	683		1406	0	20	237	-196	15
712	743	770	1463	5	8	252	-226	28
	735		1456	5	9	255	-225	30
762	818	840	1625	-13	-5	308	-284	38
	810		1641	-13	-6	311	-286	36
85	19	0	1137	-25	-5	57	-35	-35
	19		1137	-24	-5	56	-34	-36

T3.92 DEFORMAÇÕES (x10⁻⁶)
 SÉRIE 5 - MODELO MSC - REP. 1
 PONTOS DAS DOBRAS DOS PAINÉIS

3.7 - Análise dos resultados dos ensaios

A maior parte dos resultados dos ensaios foram sendo analisados à medida que iam sendo apresentados e nas justificativas das variações que definiram cada série. Assim é que já salientamos a importância das vigas centrais no comportamento desta estrutura, principalmente como determinantes da sua ruptura, que somente se dá após ter ocorrido a das vigas. Essa importância induziu-nos a testar a substituição das vigas centrais por dobrás dos painéis, adquirindo a estrutura características de casca poliédrica, solução que ainda apresentava possibilidades de maior rigidez, facilidade construtiva e, inclusive, interessante aspecto arquitetônico.

Como também já dissemos, estes ensaios confirmaram o acerto do dimensionamento estabelecido pelo estudo em regime elástico, para as finalidades então previstas. Realmente, os ensaios da série 2, cujos modelos retratam fielmente a estrutura resultante daquele estudo, acusaram uma carga de ruptura maior do que 600 kgf/m^2 , guardando portanto um coeficiente de segurança da ordem de três em relação à carga prevista de utilização, de 210 kgf/m^2 . Igualmente satisfatória é a rigidez da estrutura, que pode ser facilmente constatada pelos gráficos representativos da evolução dos deslocamentos de alguns pontos e das deformações dos elementos definidos por estes mesmos pontos. Alguna restrição caberia talvez à fissuração, pelo aparecimento das primeiras fissuras, ao longo das arestas, com carga da ordem de 300 kgf/m^2 ; entretanto, o possível aparecimento destas fissuras não causa maiores preocupações, uma vez que não comprometem, como vimos, a segurança à ruptura.

Para a utilização desta estrutura com dimensões maiores, ou então como suporte de outra, é que as variantes testadas teriam interesse.

A primeira série, em que os painéis foram construídos simplificadamente com espessura constante de 1 cm,

por julgarmos que não conseguiríamos moldar, com a necessária regularidade, regiões com espessura variável, ou constante mas de apenas 0,5 cm, não se apresenta interessante. Realmente, não é necessário majorar as espessuras dos painéis, pois se os modelos desta série apresentaram deslocamentos e deformações algo menores que os da série 2, suas cargas de ruptura foram pouco superiores (em média, 660 kgf/m^2 contra 640 kgf/m^2 da série 2). Esta série foi portanto uma consequência de dificuldades construtivas, e a própria fabricação de seus modelos nos permitiu superar essas dificuldades e então construir a série 2 que, por reproduzir mais fielmente a estrutura-base, teve seu comportamento tomado como referência do nosso estudo.

A terceira série, construída com vigas centrais mais altas, cuja armadura se aproximava mais das bordas, apresentou carga de ruptura maior e deslocamentos menores; entretanto, com esta modificação a estrutura perdeu em estética, ficando prejudicada no seu aspecto de grande leveza, proporcionado pelas nervuras pouco acentuadas.

Maior resistência à ruptura e maior rigidez foram obtidas com a protensão das vigas de borda, introduzida na quarta série, e mais acentuadamente com a substituição das vigas centrais pelas dobras das faces, característica da quinta série.

O emprego da protensão aumentou a rigidez das vigas de borda, que passaram a fornecer apoio menos recalcável para as vigas centrais, com o que estas puderam suportar mais carga, aumentando, ao mesmo tempo, a rigidez da estrutura no seu todo. Além desta maior resistência e rigidez, a protensão forneceu à estrutura grande capacidade de recuperação após a retirada da carga, mesmo a de ruína, o que é de grande interesse com relação ao moderno conceito de segurança probabilística. Por ruína estamos agora considerando a situação em que a estrutura não apresenta capacidade de suportar carga maior, tendo as charneiras

PRINCIPAIS RESULTADOS DOS ENSAIOS

SÉRIE	MÓDULO	IDADE DO MÓDULO NA DATA DO ENSAIO (dias)	RESISTÊNCIA DO MICRO-CONCRETO CORRESPONDENTE A FISSURA PRIMEIRA (kgf/cm ²)	CARGA DE A CARGA DE 560 kgf/cm ² (ESTÁGIO 9)	VALOR MÉDIO DA SÉRIE	CORRESPONDENTES		
						CARGA DE RUPTURA kgf/cm ²	MÉDIO DA CANTO	MÉDIO DA MEIO DA VIGA DE ARESTA
1	M 1 A	36	303	27	400	650		
	M 1 B	30	386	—	250	630	1,6	6,9
	M 1 C	56	422	31	450	700		
	M 1 D*	85	429	32	460	700		
2	M 2 A*	46	383	35	310	660		
	M 2 B	37	317	31	340	610	2,9	14,3
	M 2 C*	35	518	23	460	660		
	M 2 D*	30	308	28	410	710	1,0	5,0
3	M 3 A	28	354	35	360	760		
	M 3 B	26	354	35	360	760		
	M 4 A	28	339	27	360	760	0,3	3,9
	M 4 B*	43	306	30	460	Indô rompeu		
4	M 4 C	92	280	32	—	860		
	M 4 D	28	296	28	340	780		
	M 5 A	28	292	33	510	860		
	M 5 B	28	288	30	560	860	0,5	0,6
5	M 5 C*	28	381	27	510	não rompeu		
	M 5 D*	28	381	27	510	não rompeu		
	M 5 E*	35	—	—	460	860		

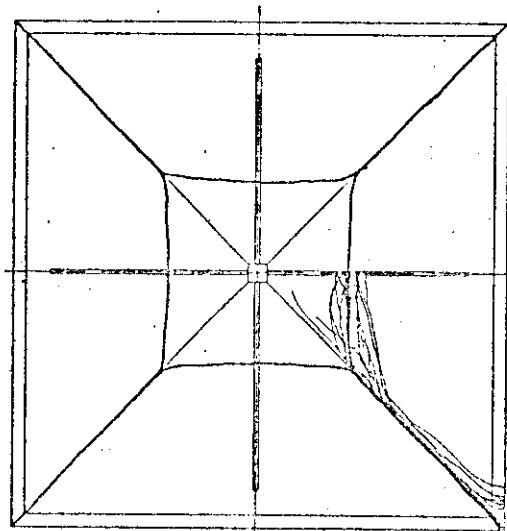
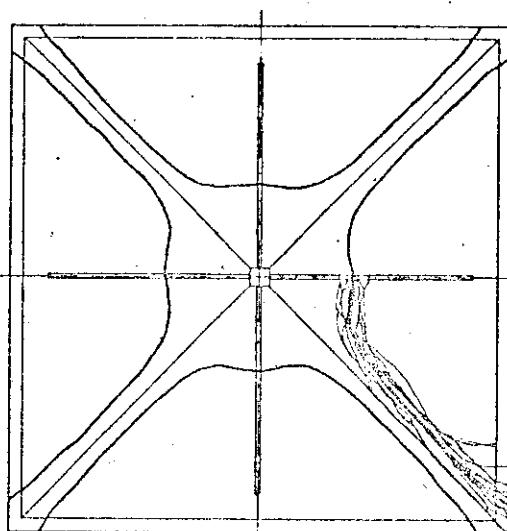
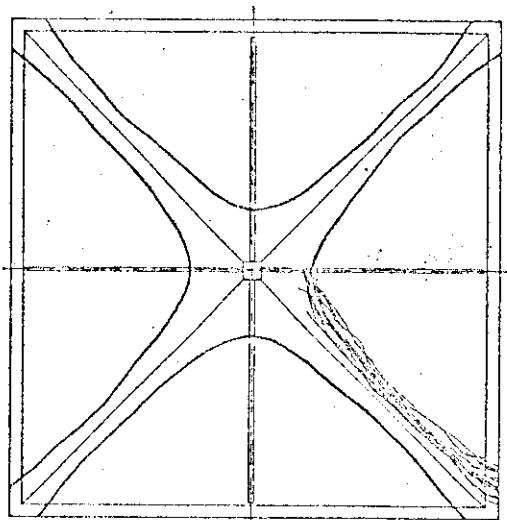
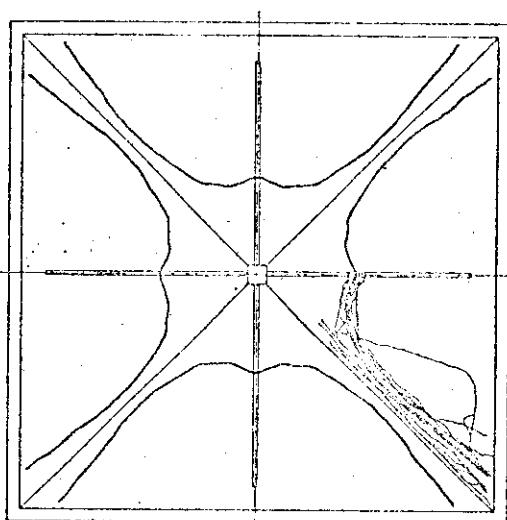
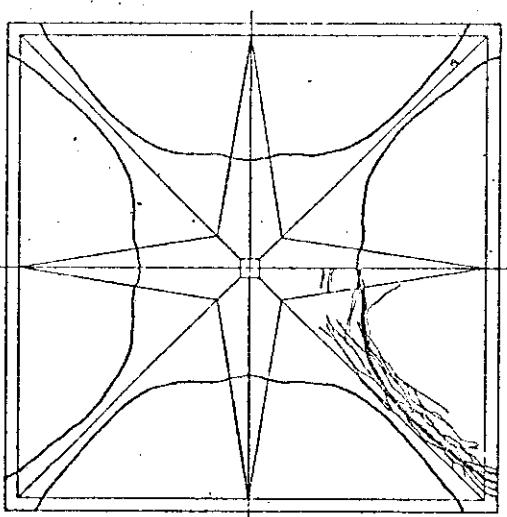
* modelos ensaiados assimétricamente — valores não determinados

T 3.93 - Principais resultados dos ensaios.

plásticas se desenvolvido a ponto de conferir à estrutura condições de hipostaticidade, em que qualquer aumento de carga torna impossível o equilíbrio, passando ela a se deformar livremente.

Estas conclusões podem ser quantitativamente obtidas pela comparação dos resultados já fornecidos, dos vários ensaios, ou de maneira mais direta e rápida, porém com as restrições normais de um resumo, pela observação da tabela da página ao lado (T3.93), onde procuramos fornecer um panorama dos resultados mais significativos destes ensaios.

Também para facilidade de visualização apresentamos a seguir (D3.30) o conjunto das configurações de ruptura observadas nas cinco séries. Os desenhos relativos às séries 2, 3 e 4, e mesmo da série 1, evidenciam, mais uma vez, a acentuada influência das vigas centrais na ruptura da estrutura. Na série 3, em que as vigas eram mais altas e possuíam uma melhor distribuição da armadura, notamos uma aproximação da configuração de ruptura ao pilar, com a rótula plástica da viga localizando-se em seção mais resistente e em consequência a estrutura suportando mais carga. Ao contrário, nas séries 2 e 4, observamos uma tendência de recuo da configuração de ruptura, o que sugere que as vigas centrais são aqui relativamente fracas, não aproveitando a tendência da estrutura se romper em região mais próxima ao pilar. Há necessidade de se aumentar a resistência destas vigas, pelo menos nas regiões onde as rótulas plásticas das séries 1, 2 e 4 se localizaram. Uma vez que o aumento da altura da viga não se mostrou solução convenientemente esteticamente, poderíamos procurar aumentar somente sua armadura, de modo a envolver aquela região de provável plastificação, mas lembrando sempre as dificuldades de concretagem. Solução que poderia atender estas considerações todas, seria a de se utilizar protensão para estas vigas. Estas observações são válidas também para a estrutura em casca poliédrica.

SÉRIE 1 - $Q_r \approx 660 \text{ kgf/m}^2$ SÉRIE 2 - $Q_r \approx 640 \text{ kgf/m}^2$ SÉRIE 3 - $Q_r \approx 740 \text{ kgf/m}^2$ SÉRIE 4 - $Q_r \approx 770 \text{ kgf/m}^2$ SÉRIE 5 - $Q_r \approx 860 \text{ kgf/m}^2$

D 3.30 CONFIGURAÇÕES
DE RUPTURA

Um aspecto que merece especial atenção é o da ocorrência de fissuras nas regiões próximas às arestas (mais precisamente, onde começa a variação de espessura dos painéis), com carga em torno de 300 kgf/m^2 . Embora, como dissemos, não prejudiquem a segurança à ruptura, seria interessante o seu aparecimento com carga maior. Para isto, uma solução é o alargamento das regiões engrossadas próximas às arestas e, principalmente, a colocação de mais uma tela.

Convém repetirmos aqui que esta procura de maior resistência, maior rigidez e fissuração mais tardia é interessante principalmente para o caso de utilização desta estrutura com maiores dimensões ou como suporte de outra.

Em particular, a extensão dos resultados aqui obtidos a estruturas de maiores dimensões exige que se ponde re até quando isto é válido, o que poderá ser conseguido com um raciocínio bem simples, desde que conservada a hipótese simplificadora de que a carga de peso próprio (g) e a sobrecarga (p) nesta estrutura fiquem razoavelmente reproduzidas por uma carga uniformemente distribuída sobre toda a estrutura. Para sobrecarga, na falta de melhor definição, poderemos manter o valor de 50 kgf/m^2 .

No estudo de modelos de mesmo material que o protótipo, observadas rigidamente as condições de semelhança, vimos que as tensões, e portanto as cargas distribuídas, permanecem com o mesmo valor, ou seja, $\sigma_p = \sigma_m$. Assim, o carregamento de ruptura do modelo é também o do protótipo ($q_{\text{ruptura}} = q_r = q_{rm} = q_{rp}$). Sendo v o coeficiente de segurança, admitido o mesmo para a carga permanente e para a sobrecarga:

$$q_r/v = g + p$$

ou, para $v = 1,65$ e $p = 50 \text{ kgf/m}^2$,

$$g \leq \frac{q_r}{1,65} - 50.$$

Considerando a nossa estrutura-base temos que:

$$g_1 = \frac{\text{Vol. } 2,4}{\text{Área}} \approx 160 \text{ kgf/m}^2.$$

Qualquer outra estrutura semelhante a esta, que mantivesse com ela uma relação de dimensões λ , teria peso próprio $g = \lambda \cdot g_1$.

Vimos também que nossa estrutura-base foi reproduzida pela série 2, que acusou carga de ruptura de 640 kgf/m^2 , donde:

$$\lambda \cdot g_1 \leq \frac{640}{1,65} = 50 \quad \therefore \quad \lambda \leq 2,10.$$

Portanto a maior estrutura, para a qual o resultado da série 2 ainda é válido, será a de lado aproximadamente 17 metros, quando a relação entre o modelo e o protótipo seria aproximadamente 1/10. Apesar do rigor na reprodução dos materiais que deveriam compor o protótipo, a extensão dos resultados obtidos deve ser feita com certo resguardo quanto a possíveis efeitos de escala, embora relações de 1/16 já tenham sido pesquisadas (R.E. SHEWMAKER, M. XANTHAKIS, M.A. SOZEN, 1963, B26).

Apesar de nossa especial consideração com a carga de ruptura nas extrapolações dos resultados aqui obtidos a estruturas de maiores dimensões, também as demais grandezas merecem igual ponderação. Assim, mantidas as características da estrutura-protótipo, já com fator de semelhança geométrica de 1,47 a carga considerada de serviço igualaria aquela que determina o aparecimento das primeiras fissuras.

Embora tenhamos nos restringido aos resultados da série 2, por ser a que reproduz a nossa estrutura-base,

evidentemente a utilização dos resultados das demais séries exige igual ponderação.

Com relação às deformações obtidas com o uso de extensômetros, convém relembrarmos que somente foram objeto deste estudo numa tentativa de obtermos informações a mais sobre a estrutura, como uma complementação da técnica de ensaio e para, aproveitando a existência de um grande número de modelos de construção aprimorada, testar as condições de uso do Sistema de Aquisição de Dados. É neste sentido principalmente que iremos tecer algumas considerações.

Inicialmente justificamos a apresentação adotada, em que fornecemos todas as leituras obtidas e não procuramos uma possível compactação, por exemplo obtendo as médias das leituras de pontos análogos, ou das leituras de um mesmo ponto, correspondentes a um mesmo estágio de carregamento, justamente pela finalidade de possibilitar um exame da precisão desses valores.

As vantagens do equipamento foram apresentadas em 2.8, ao descrevê-lo, e agora nos deteremos mais em recomendações de utilização e nas dificuldades e imprecisões observadas, algumas superadas ou de causas previsíveis, e outras não.

Assim, uma primeira recomendação seria a utilização de dinamômetro com dupla ponte, uma acoplada a um equipamento de controle da carga que se quer aplicar, a outra ao Sistema de Aquisição de Dados, para o registro desta carga simultaneamente ao das leituras que lhe correspondem. Convém que a ponte do dinamômetro fique ligada ao último canal a ser lido, com o que sua leitura permanece no visor, permitindo o confronto entre a carga registrada e a que se pretendeu aplicar. A não observância desta particularidade nos levou a encontrar as surpreendentes e desagradáveis divergências entre estes valores, indicadas nas tabelas das deformações. Para que um ensaio não fique prejudicado pela

ocorrência desta possível divergência recomendariamos a dúpla recalibração do dinamômetro momentos antes do seu início.

Nos primeiros ensaios realizamos duas séries de leituras para um mesmo estágio de carregamento, tendo em vista as imprecisões observadas em ensaios anteriores com O USO DE OUTROS EQUIPAMENTOS. Antes que conseguíssemos o processamento dos nossos próprios dados, a boa repetição dos resultados dos ensaios de outro trabalho em desenvolvimento simultâneo nos levaram a abandonar esta orientação e passamos a realizar uma única série de leituras para cada estágio. Após o processamento dos dados dos nossos primeiros ensaios vimos a conveniência em retornarmos à primeira orientação. A discordância entre as leituras de um mesmo ponto (ou de pontos análogos), num mesmo estágio de carregamento, deveu-se muito provavelmente à precariedade da blindagem, realizada - como já se disse - de maneira global, sem utilizar o recurso que o equipamento fornece de cada ligação possuir a sua própria guarda. Nos nossos ensaios esta perturbação se fez sentir de maneira mais intensa pelo grande número de pontos observados.

Outra explicação possível para a divergência entre leituras de pontos análogos seria a de que as deformações são muito influenciadas por fatores locais, facilmente compreensíveis em modelos de micro-concreto armado. Isto também poderia explicar os iguais valores máximos de deformações acusados nestes pontos análogos porém correspondendo a diferentes estágios de carregamento.

Fica entretanto sem qualquer esclarecimento a conservação dos valores das deformações ou mesmo a inversão de suas variações com o crescimento contínuo do carregamento. Igualmente não podemos justificar os valores dispares encontrados para as deformações, na quase totalidade dos pontos, em correspondência a uma carga aplicada em uma fase inicial, e a igual carga ao refazermos o carregamento para

a continuação do ensaio, em modelos que tiveram que ser des carregados, como foi o caso dos M1C, M1D e M5C.

Notamos uma maior regularidade nas variações das deformações para solicitações mais elevadas, bem superiores às cargas de serviço e mais próximas às de ruptura. Entretanto a observação das deformações, na tentativa de se identificar o comportamento dos elementos estruturais, perde, nestas condições, seu significado, pois o aparecimento de fissuras modifica o estado de solicitações dos elementos vizinhos, deturpando qualquer tendência de comportamento que começasse a se definir. Nesta estrutura isto é agravado porque as fissuras começam a se formar relativamente cedo em relação às cargas de ruptura. Poderíamos inclusive tentar uma generalização de que, em estruturas em que a ruptura é previsível de ser atingida após um precoce e intenso estado de fissuração, pouco interesse poderá ter um estudo de determinação de deformações.

Nestes e em outros modelos pudemos observar esta aleatoriedade nos valores das deformações correspondentes a pequenas solicitações, levando-nos a acreditar na ocorrência, nestas condições, de um comportamento diferente do que se esperaria em concordância com as teorias da Resistência e da Elasticidade, muito influenciado pela imperfeita homogeneidade do material.

Portanto o grande número de dados fornecidos por modelos com características diferentes, a irregularidade de variação destes valores, a já comentada imprecisão na utilização do equipamento, principalmente com relação à blindagem, nos impediram aventar interpretações de comportamento dos elementos da estrutura tendo por base as deformações obtidas.

Agravando esta situação tivemos ainda imprevistas dificuldades para o processamento dos registros destas deformações, determinadas pela deficiência do equipamento disponível para leitura de fitas perfuradas e, principalmente,

pelo mau funcionamento da perfuradora do Sistema de Aquisição de Dados, que muitas vezes provocou a superposição de caracteres. Assim a obtenção das deformações, que de início se apresentava como precisa e fácil, o que aliás foi um dos motivos que nos levaram a realizar estas observações, se transformou numa atividade árdua, quase que impossível de ser praticada, atuando inclusive como dispersor de nossas finalidades. Não conseguimos, por exemplo, processar os dados do último ensaio do M50.

A simples apresentação dos valores das deformações deve ser compreendido como um obstáculo transposto, e que tem pelo menos o mérito de ter criado condições para que em estudos futuros se possa dedicar toda a atenção somente à interpretação dos dados.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

4. - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro da nossa finalidade principal de contribuir para o estudo experimental à ruína de estruturas laminares, procuramos estabelecer uma técnica construtiva e de execução de ensaios tão precisa quanto possível e acreditamos tê-la alcançado ao completarmos a segunda série de modelos, com cuja descrição minuciosa esperamos facilitar a sua absorção, utilização e consequente aprimoramento. As demais séries procuraram atender à outra finalidade deste trabalho, já suficientemente discutida no final do capítulo anterior, de proporcionar melhor conhecimento da estrutura tomada como elemento de fixação desta técnica, ao mesmo tempo que confirmaram sua precisão pela regularidade de comportamento apresentada pelos vários modelos. Realmente observamos boa repetição dos resultados em modelos iguais, razoável coerência entre os de modelos diferentes e, num mesmo modelo, simetria da configuração de ruptura.

No estabelecimento desta técnica foi objeto de especial consideração a boa constituição do modelo, que depende preponderantemente da adequada definição do material a empregar. Essa definição apresenta grande complexidade, o que facilmente se comprehende se atentarmos que este material deve conservar as características reológicas do material do protótipo, no caso o concreto, de propriedades já por si complexas, e permitir a reprodução em escala das pequenas espessuras das estruturas laminares. Ainda assim somos de opinião que os modelos devam ser construídos com ma-

terial igual ao do protótipo, principalmente nos estudos com vista à ruína, o que encontra ressonância na orientação seguida na maioria dos trabalhos mais recentes.

Para que esta nossa opinião tivesse sentido prático era necessário provar a sua exequibilidade. Com relação à reprodução do concreto, seguimos a orientação de respeitar a escala para as partículas maiores, que seriam as responsáveis pela conservação das propriedades do concreto, e refazer o agregado de modo a apresentar uma granulometria ótima, como definida pela EB-4 - AGREGADOS PARA CONCRETO. Assim fazendo, estamos garantindo a obtenção de um micro-concreto com as melhores condições: boa resistência e trabalhabilidade e pequeno consumo de cimento, características que também devem reger a composição do concreto destas estruturas, pelas suas pequenas espessuras e suas tendências ao aparecimento de grandes efeitos de retração.

Com relação ao aço somente salientamos as dificuldades na obtenção de fios de pequeno diâmetro com características das barras comumente utilizadas, sendo que de todos os tratamentos possíveis para correção das propriedades destes fios somente necessitamos utilizar o recozimento, que com facilidade nos permite reproduzir razoavelmente o aço CA-24. Como dissemos, muito pouco se fez neste sentido até hoje, estando a exigir o desenvolvimento de uma pesquisa específica. Demos maior atenção à reprodução da armadura em tela, procurando conservar as suas características principais: que possua todos os nós soldados e que a solda não prejudique as seções soldadas e nem, o que é mais importante, modifique as propriedades do aço utilizado, normalmente de alta resistência. Tudo foi conseguido com a construção de um dispositivo de solda a ponto, não por fluxo mas por descarga eletrolítica controlada, que nos permite uma execução bastante rápida e sem o desprendimento excessivo de calor, conservando as propriedades do aço. Este processo tem o seu interesse valorizado pelo gran-

de emprego de armadura em tela nas estruturas laminares. As armaduras das vigas foram construídas soldando os cruzamentos das barras com estanho, processo de uso corrente na construção de modelos.

Com este micro-concreto armado conseguimos construir amplos painéis com pequenas espessuras, demonstrando a factibilidade de nossa proposição, e garantir uma boa constituição de todo o modelo, para o que contribuíram igualmente a boa elaboração da forma e os processos especiais de enchimento.

As formas para modelos normalmente exigem confecção tanto mais precisa quanto maior for o fator de redução. No caso de modelos em micro-concreto, além das características normais, devem atender a algumas outras particularidades do material: pequena fluidez, necessidade de vibração, limitação do tempo de lançamento, dificuldade de correções de forma posteriores ao endurecimento e dificuldade de preenchimento posterior dos eventuais vazios provenientes de falhas do enchimento.

Normalmente as formas devem permitir fáceis montagens e desformas parciais, não só para garantir sucessivos reaproveitamentos e facilitar o enchimento, mas também para assegurar a integridade do modelo que, nestes casos de estruturas laminares, se compõe de elementos delgados, portanto frágeis, e que tendem a apresentar efeitos de retração bastante pronunciados.

Bastante conveniente, para estes modelos em micro-concreto, é a remoção, logo após a execução da vibração, da maior parte possível dos elementos da forma em contato com as superfícies superior e laterais do modelo, o que possibilita realizar o enchimento adequado de possíveis vazios, remover regiões com concentração de bolhas de ar e nata de cimento, obter um conhecimento preciso do enchimento conseguido e ainda facilita o trabalho de acaba-

mento. Esta orientação exige entretanto trabalho mais habilidoso e o uso de variado instrumental auxiliar.

A fôrma deve sofrer um bom tratamento de impermeabilização para sua proteção e conservação e para impedir a aderência do micro-concreto, que na desforma pode provocar o destaque de regiões do modelo, facilitado, nos elementos de pequena espessura, pela presença da armadura em sua região central.

Na moldagem, para controle da pequena espessura de painéis amplos, horizontais ou pouco inclinados, o sistema que apresentou os melhores resultados foi o das guias metálicas, que permite sarrafeamento comum e fornece superfície bem regular. Este sarrafeamento deve ser feito em duas etapas: uma logo após a vibração do material lançado, quando é retirado o material em excesso, e outra, após se deixar a massa "descansar" aproximadamente meia hora, que fornece a superfície final acabada. Tem como inconveniente a remoção das guias e a consequente necessidade de enchimento dos vazios deixados. Estas guias devem então ser localizadas em regiões pouco solicitadas e, se possível, transversalmente às direções das prováveis fissuras.

Um controle complementar de espessura pode ser conseguido mediante pinos (como os usados), que ainda fornecem os orifícios para passagem dos tirantes, geralmente necessários para a aplicação da carga ao modelo. Estes orifícios devem sempre ser moldados, pois a sua execução após o endurecimento do micro-concreto provoca uma vibração intensa, inconveniente para estes modelos normalmente quebradiços devido às suas pequenas espessuras.

Como os modelos de estruturas laminares são geralmente de difícil enchimento, exigindo horas de trabalho, é interessante verificar sempre a conveniência de utilização de um retardador de pega ou o preparo da argamassa por partes.

A cura dos modelos de micro-concreto deve ser cercada de cuidado extremo pois, como se viu, as propriedades do material são muito sensíveis a qualquer variação das condições de cura. Para controle destas propriedades devem-se moldar pelo menos dois grupos de corpos de prova: um que deve ser deixado ao lado do modelo para que sofra as mesmas influências que este, e assim reproduza com mais exatidão o seu material, e outro mantido em condições especiais para que se possa constatar se o material obtido coincide com o pré-selecionado, permitindo inclusive que se faça uma comparação com os materiais utilizados em outros estudos.

Com relação ao dispositivo de carregamento, principalmente para ensaios à ruptura, podemos recomendar o uso do sistema em "árvore", em que os tirantes permitem a necessária adaptação às novas formas que o modelo vai assumindo na evolução de suas deformações até à ruptura e ainda conserva a repartição perfeita da carga. A reprodução de carga distribuída, a mais comumente usada, ficará tanto mais precisa quanto maior for o número de pontos de aplicação da carga e, neste caso, constitui uma boa solução fazer com que parte do dispositivo seja de compressão, como o usado. Assim, o número de tirantes ficará diminuído, facilitando a sua instalação e criando condições para que se observe a formação de fissuras também na face inferior do modelo. Este dispositivo de aplicação de carga por compressão deve dispor de uma grande mobilidade, permitindo sua adaptação às formas da estrutura deformada, porém dentro de certos limites para que o sistema não fique instável. Também para que a carga uniformemente distribuída fique reproduzida o melhor possível, o elemento de distribuição de carga, em contato com a superfície do modelo, deve abranger a maior área possível, resguardando duas condições: seu tamanho não deve prejudicar a movimentação das partes da estrutura na formação das charneiras e deve haver um equilíbrio entre as áreas carregadas e não carregadas, per-

mitindo a observação das fissuras e a instalação de aparelhos (o carregamento de 16% da área total, em nossos ensaios, se apresentou como de comportamento perfeito).

Além de tudo isto, deve-se contar sempre com a insubstituível habilidade dos técnicos, sem cujo concurso o trabalho experimental seria impossível.

No desenvolvimento deste trabalho evidenciou-se o interesse de serem aprofundados diversos pontos, cujo estudo, em posteriores pesquisas específicas, viria complementar a técnica estabelecida e o estudo de modelos de modo geral:

a) estudo da influência da presença no micro-concreto de partículas de maior diâmetro, em concordância com a escala de redução, como condição de conservação das propriedades do concreto do protótipo, com especial atenção para as condições de ruptura de clementos de pequena espessura;

b) verificação do tempo máximo de manuseio do micro-concreto sem que o mesmo sofra modificações em suas propriedades;

c) determinação das influências dos aditivos no micro-concreto;

d) estudo da influência do tratamento de impermeabilização da fôrma na variação das propriedades do material em contato com a mesma. Seria de interesse para os modelos de modo geral, pois possíveis alterações poderiam deturpar as observações das deformações por extensômetros elétricos instalados nestas superfícies externas. Para elementos de pequena espessura estas alterações teriam importância maior;

e) estabelecimento das condições de cura para que o micro-concreto do modelo não tenha suas propriedades modificadas;

f) estabelecimento dos tratamentos de aço mais

convenientes para a correção das propriedades dos aços de fios, assemelhando-as às dos aços de que normalmente se dispõe nas barras:

g) desenvolvimento de dispositivo de solda a ponto para a construção de telas de fios de maiores diâmetros;

h) a influência de carregamentos repetidos sobre o modelo, com especial atenção para os valores diferentes encontrados para cargas iguais.

Finalmente, quanto às formas estruturais, e principalmente para a nova, em casca poliédrica, seria de grande interesse um estudo com vistas à sua construção mediante painéis pré-fabricados, eventualmente utilizando-se pretensão para as ligações.

5 - BIBLIOGRAFIA

5- BIBLIOGRAFIA

- B1 - ALAMI, Z.Y.; FERGUSON, P.M. - Accuracy of models used in research on reinforced concrete. Journal of the American Concrete Institute. Michigan, 60 (11): 1643-63, Nov. 1963.
- B2 - BAUER, L.A.F. - Produção de Concreto. São Paulo, ABCP, s.d. 31p. (Notas de aula).
- B3 - BORGES, J.F.; LIMA, J.A. - Crack and deformation similitude in reinforced concrete. Lisboa, LNEC, 1961. 11p. (Memória, 162).
- B4 - BREEN, J.E. - Fabrication and tests of structural models. Journal of the Structural Division - Proc. ASCE, New York, 94 (ST6): 1339-52, June, 1968.
- B5 - BROCK, G. - Direct models as an aid to reinforced concrete design. Engineering, London, 187 (4857): 468-70, April, 1959.
- B6 - COSTA, C.P. da - Comportamento até à rotura de materiais para modelos sob a ação de solicitações triaxiais. Lisboa, LNEC, 1972. 13p. (Memória, 415).
- B7 - COWAN, H.J. et al. - Models in architecture. London, Elsevier, 1968. 228p.
- B8 - FIALHO, J.L. - Análise experimental de tensões. Lisboa, LNEC, 1969. v.2. (Curso, 103).
- B9 - GORISSE, F. - Etude des micro-bétons pour modèles de structures. Annales ITBTP, Paris, (291): 129-51, Mars, 1972.
- B10- JOHNSON, R.P. - Strength tests on scaled-down concretes suitable for models, with a note on mix design. Magazine of concrete Research, London, 14 (40): 47-53, Mar. 1962.
- B11- JONES, L.L. - Tests on a one-tenth scale model of a hyperbolic paraboloid shell roof. Magazine of concrete research, London, 13 (37): 21-36, Mar. 1961.

- B12- MARTINELLI, D.A.O. - Contribuição ao emprego de extensômetros elétricos de resistência no estudo de estruturas. São Carlos, EESC-USP, 1961. 113 p. Tese (Doutoramento) EESC-USP.
- B13- MARTINELLI, D.A.O.; MONTANARI, I.; SAVASSI, W. - Ensaios dos modelos reduzidos de coberturas em casca para o centro do cacau - Itabuna. São Carlos, SP, EESC-USP, 1966. 12p., 23 des. (Relatório LE-EXT.60/66).
- B14- MARTINELLI, D.A.O.; SAVASSI, W.; LIMA, R.L.R. - Tudo experimental do pilar típico do vertedouro da Barragem de Ilha Solteira - CESP. São Carlos, SP, EESC-USP, 1969. 32p., 16tab., 22des. (Relatório LE-EXT.62/69).
- B15- OLSZAK, W.; SAWCZUK, A. - Inelastic behaviour in shell. Netherlands, P. Noordhoff, 1967. 122p.
- B16- PREECE, B.W.; DAVIES, J.D. - Models for structural concrete. London, C.R. Books, 1964. 252p.
- B17- PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON MODELS OF STRUCTURES - RILEM. Madrid, 1959 - Bulletin RILEM, Paris, (7) Jun. 1960; (8), Sep. 1960; (10) Mar. 1961; (11) Jun. 1961; (12) Sep. 1961.
- B18- PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON NON-CLASSICAL SHELL PROBLEMS - IASS, Warsaw, Sept., 1963. Amsterdam, North-Holland, 1964. 1185p.
- B19- PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON SHELL RESEARCH - RILEM-IASS, Delft, Aug/Sept., 1961. Amsterdam, North-Holland, 1961. 364p.
- B20- ROCHA, M. - Dimensionamento experimental das estruturas. Lisboa, LNEC, 1952. 72p. (Publicação, 21).
- B21- ROCHA, M. - "Les applications pratiques de modèles". In: PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON MODELS OF STRUCTURES - RILEM, Madrid, 1959. Rapport Général, Cinquième session. General reports, 5th section. Bulletin RILEM, Paris, (12): 5-28, Sept. 1961.

- B22- ROCHA, M. - Structural model techniques some recent developments. Lisboa, LNEC, 1965. 49p. (Memória, 264).
- B23- ROCHA, M.; BORGES, J.F. - A utilização de modelos no dimensionamento das estruturas; aplicações diversas. Lisboa, LNEC, 1956. 33p.
- B24- ROLL, F. - Materials for structural models. Journal of the structural division - Proc. ASCE, New York, 94 (ST6): 1353-81, June, 1968.
- B25- SERAFIM, J.L.; COSTA, J.P. - Métodos e materiais para o estudo, em modelos, das tensões devidas ao peso próprio em barragens. Lisboa, LNEC, 1960. 10p. (Memória, 154).
- B26- SHEWMAKER, R.E.; XANTHAKIS, M.; SOZEN, M.A. - Very small scale reinforced concrete multi-panel flat slabs. Urbana, Ill., University Illinois, June 1963. 171p. (Civil engineering studies - Structural Research Series, 265).
- B27- SOBRAL, H.S. - Contribuição ao estudo da argamassa dos concretos. Salvador, BA, EPUB, 1963. 101p. Tese (catedra) - EPUB.
- B28- TUSET, J.; PERA, J.; CUBAUD, J.C. - Étude de modèles réduits de structures en micro-béton armé. Bulletin Technique de la Suisse Romande, Lausanne, 99 (12): 233-240, Juin, 1973.
- B29- WALING, J.L.; GRESZCZUK, L.B. - Experiments with thin-shell structural models. Journal of the American Concrete Institute, Michigan, 32 (4): 413-32, Oct. 1960.
- B30- ZAGOTIS, D.L. de - Contribuições brasileiras à teoria das charneiras plásticas. 14p. Trab. apresent. às II Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 1967.