

A ANALISE ESTRUTURAL E A PRE-FABRICACAO

Alfredo V. Soeiro*

RESUMO

A importancia da análise estrutural na pré-fabricação é realçada através de exemplos. São apresentados quatro casos sublinhando os procedimentos analíticos indicando alguns insucessos. O primeiro refere-se a vigas parcialmente pré-fabricadas, o segundo a pré-lajes, o terceiro a elementos pré-fabricados para alargar o tabuleiro duma ponte de pedra e o quarto a um sistema de módulos pré-fabricados para habitação.

SUMMARY

The importance of structural analysis in prefabrication design is stressed. Four cases are presented underlining the analytical procedures listing some failures. One concerns precasting partial beams, another prefabricated slabs, another prefabricated elements to enlarge a stone bridge and a prefabricated module system for buildings.

1 - A IMPORTANCIA DA ANALISE ESTRUTURAL NA PREFABRICACAO

Uma das razões que tem desincentivado a utilização de elementos pré-fabricados na construção está relacionada directamente com a análise estrutural. Os elementos pré-fabricados exigem atenção especial na fase de fabrico, de transporte, de montagem e de desempenho. Os cálculos de verificação da segurança e de avaliação da resposta às acções não se enquadram nos cálculos estruturais de prática corrente.

Estas diferenças devem-se aos pré-fabricados serem estruturas com formas e apoios diferentes das estruturas correntes dos edificios de habitação além de não ser objecto do ensino corrente de estruturas nas escolas sobretudo no que toca às condições particulares a que ficam sujeitos desde o fabrico até à entrada em serviço.

Por estas razões apresentam-se um caso em que a falta de análise estrutural conveniente causou problemas e outros casos em que esta foi decisiva no uso adequado de pré-fabricados. Todos estes casos resultaram de experiencia de projecto e acompanhamento da execução não sendo abordadas as vantagens e inconvenientes da pré-fabricação na Construção.

* - Professor Auxiliar, Construções Civas, Dep. Civil, FEUP.

2 - PRE-FABRICACAO PARCIAL DE VIGAS

O estudo presente destina-se a justificar a metodologia empregue para modificar a execução de vigas de betão feitas numa só betonagem. Estas são substituídas por vigas parcialmente executadas no estaleiro de pré-fabricação e complementadas com betonagem, após colocação na estrutura, da camada correspondente à espessura das lajes adjacentes. Sem alteração das armaduras longitudinais do projecto, em termos de quantidade e amarrações, foi aumentada a armadura transversal para fazer face ao esforço tangencial na superfície de contacto entre os betões com idades diferentes.

Esta alternativa aos métodos tradicionais destina-se a diminuir o tempo de execução em obra evitando a montagem no local do escoramento, cofragem e armadura. Estas seriam feitas no estaleiro de pré-fabricação, com melhor garantia de qualidade de execução. Trata-se duma técnica corrente na construção de edifícios noutros países e habitual na execução de pontes.

Os Decretos-Lei 235/83 (R.S.A.), 349-C/83 (R.E.B.A.P.) e 445/89 (R.B.L.H.) são omissos no que respeita a caracterização das implicações criadas por este tipo de construção. A única menção relacionada com ligações de betões com idade diferente é o artigo 28.º do R.B.L.H., que aponta os cuidados a ter e que foram recomendados para a execução deste tipo de vigas.

No entanto, convém referir que é prática habitual no país não considerar a redução da capacidade de resistência ao esforço transversal ao longo da superfície de contacto entre os dois betões. Um exemplo bem conhecido é o que se verifica nos pavimentos aligeirados com vigotas pré-esforçadas e blocos ligeiros. A capacidade resistente ao esforço transversal na zona de contacto, sem qualquer armadura ou alteração da rugosidade, entre as faces superiores das vigotas e o betão colocado em obra é a indicada nos regulamentos para betão monolítico (1, 2, 3).

Na regulamentação estrangeira existem várias referências a este tipo construtivo. O regulamento mais explícito é o elaborado pelo American Concrete Institute (4), que é utilizado como regulamento nacional no que respeita a obras de betão armado. No capítulo 17 vem especificado que, em vigas compostas de betão, a tensão de corte admissível na superfície de contacto é de 80 psi se a superfície do elemento pré-fabricado for limpa e rugosa e sem considerar a resistência ao corte dos estribos (5). Tendo em atenção que os coeficientes de majoração das acções são idênticos poder-se-á admitir o valor de 0.56 MPa para a tensão resistente entre as duas superfícies de betão sem qualquer armadura. Este valor é aumentado para cerca de quatro vezes quando se coloca armaduras de corte com o eixo normal à superfície. Este tipo de ligações é frequente em pontes aonde se faz a ligação entre vigas, pré-fabricadas em betão ou metálicas, e lajes compostas de betão colocado em obra.

Alguns projectistas e investigadores recomendam que não haja redução da capacidade resistente desde que a superfície seja limpa e rugosa. Neste caso, indica-se mesmo que testes realizados na Universidade de Canterbury, Nova Zelândia, mostram um esforço de corte na ligação igual ou superior à capacidade de tensão diagonal. Considerou-se, no entanto, um valor máximo da tensão de contacto menor que o regulamentar em vigor. O valor adoptado, indicado para os estados limites últimos, é de 0.45 Mpa.

O limite imposto à tensão de deslizamento implicou a colocação de estribos adicionais para absorver a diferença entre a capacidade resistente inicial e a actual. O algoritmo utilizado compõe-se dos seguintes passos:

- a) Determinação da capacidade resistente ao esforço transversal da secção inicial: $V_{rd} = V_{cd} + V_{wd}$;
- b) Avaliação de V'_{cd} com base no valor de 0.45 MPa em vez de 0.65 MPa para o valor indicado no Quadro VI do artigo 53 do R.E.B.A.P.;
- c) Tendo em conta a distribuição da tensão tangencial ao longo da secção transversal o valor da capacidade resistente mínima, V_{rdmin} , é obtido multiplicando V_{rd} pelo coeficiente de 1.5;
- d) Determinação da nova distribuição de estribos de modo a manter a mesma capacidade resistente ao esforço transversal da secção. O novo valor da capacidade resistente das armaduras transversais, V'_{sd} , é igual a $V_{rdmin} - V'_{cd}$.

3 - PONTE PRE-FABRICADA

Este estudo destinou-se a pré-fabricar parcialmente a laje do tabuleiro duma ponte de pedra duma estrada nacional. Esta laje, construída sobre a estrutura em arco, tem uma largura superior à inicial em 1.5m de cada lado. As características geométricas foram determinadas de modo a fazer-se o estudo de pré-fabricação e de segurança (Figura 1). Esta ponte representava um estrangulamento do fluxo intenso de tráfego. Tendo em atenção os prejuízos causados pela interrupção demorada do uso da ponte no caso de ser utilizada uma execução clássica da laje em betão foi estudada uma solução com pré-fabricação parcial.

Os elementos pré-fabricados serviram simultaneamente de cofragem para o betão colocado no local e de elementos resistentes no funcionamento da laje (Figura 2). Foram pré-fabricados dez elementos de cerca de duas toneladas tendo os cálculos efectuados considerado as fases de elevação, de transporte, de colocação, de betonagem de segunda fase e de funcionamento. Teve-se em atenção as ligações dos dois betões e da laje como estrutura existente. Foi também feita a verificação da segurança da estrutura existente quando submetida às diferentes fases de solicitação.

A execução dos trabalhos principais levou um fim de semana. O primeiro dia foi ocupado com a remoção das guardas em pedra, com a escavação e a regularização do pavimento existente e com a colocação dos pré-fabricados. No segundo dia colocou-se o betão do novo pavimento, os passeios, tubagens e as guardas. Conseguiu-se deste modo encurtar consideravelmente o prazo de execução da obra com a utilização de elementos simples pré-fabricados.

4 - PRELAJES

O estudo referente à utilização de pré-lajes para a execução de lajes maciças de betão armadas num sentido e nos dois sentidos deveu-se à necessidade de executar cerca de doze mil metros quadrados num prazo curto. Tratando-se de edificios com variados tipos de equipamento era imperioso executar as pré-lajes com as aberturas previstas nas lajes de modo a evitar as tarefas de as implementar numa fase posterior o que era também desaconselhado pelo dono de obra que se recusava a pagar esses trabalhos extras. Deste modo havia uma dificuldade acrescida às resultantes da execução das lajes em duas fases com pré-lajes a servirem de cofragem ao betão colocado em obra e de elementos resistentes na fase de serviço (Figura 3).

Na falta de bibliografia nacional utilizou-se a francesa (7). Deste modo além dos pormenores construtivos tiveram-se em conta as acções particulares como as tensões de deslizamento entre os dois betões, a concentração de tensões devido às aberturas, a transmissão dos esforços nos paoios, a verificação da segurança das pré-lajes quando sujeitas ao peso do betão de segunda fase, a anisotropia resultante das lajes armadas em duas direcções terem alturas diferentes e a fase de elevação e de transporte.

Estas pré-lajes foram fabricadas no local sobre um leito de betão tendo em média a espessura de cinco centímetros para vãos de lajes oscilando entre os três e os nove metros. Esta tecnologia revelou-se bastante eficaz tendo os prazos sido respeitados e a percentagem de quebra das pré-lajes sido inferior a cinco por cento.

5 - SISTEMA MODULAR PARA EDIFICIOS DE HABITACAO

Estes edificios tinham quinze pisos com quatro apartamentos por piso executados em módulos paralelepípedo pré-fabricados ligados a um núcleo central composto de escadas e de elevadores. Os apartamentos eram constituídos por dois grupos de seis módulos. Estas eram fabricadas e montadas no local da obra e eram compostas por dois painéis de parede, um painel de piso e um painel de tecto (8). A espessuras dos painéis eram pequenas (Figura 4) sendo usadas vigas de rigidez.

Os módulos eram colocados em cima uns dos outros sendo a ligação entre os diversos módulos para resistir aos sismos feita por betonagem em segunda fase. Esta ligaria os

módulos entre si de modo a constituírem estruturas tridimensionais porticadas e estabeleceria uma transmissão horizontal dos esforços entre o núcleo central e os módulos. A obra parou por volta do nono piso em todos os edifícios em construção devido a vários erros de projecto e de execução.

No que respeita à análise estrutural há a destacar duas imperfeições. A primeira refere-se à falta de rigidificação dos módulos na fase de elevação, de transporte e de colocação. Não foram avaliados os esforços resultantes nesta estrutura tridimensional pelo que resultaram sérias deformações que alteraram a geometria do edifício existindo, nos pisos superiores, desníveis de cerca de sessenta centímetros entre o núcleo e os módulos e afastamentos da ordem de um metro entre os dois tipos de estrutura. A segunda resultou de não ter sido avaliada a rigidez horizontal do conjunto dos módulos pré-fabricados quando sujeito a acções dos sismos. Neste caso os sistemas de ligação previstos eram insuficientes para permitir, como projectado, um funcionamento solidário da estrutura pré-fabricada e da estrutura tradicional.

REFERENCIAS

- 1 - O Dimensionamento e a Optimização de Pavimentos Pré-Fabricados, J. Vasconcelos Paiva, Memória 332, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1969.
- 2 - Pavimentos Constituidos por Vigotas de Betão Pré-Esforçado. Regras para o Dimensionamento Analítico e Execução, Circular de Informação Técnica 29, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1964.
- 3 - Dimensionamento de Pavimentos Aligeirados com Vigotas Pré-Esforçadas, José C. Lello, Materiais de Construção, Ano VIII, nº 38, pp. 44-48, 1991.
- 4 - Building Code Requirements for Reinforced Concrete 318-83, American Concrete Institute, Chicago, 1983.
- 5 - Handbook of Concrete Engineering, Mark Fintel, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1974.
- 6 - Reinforced Concrete Structures, R. Park e T. Paulay, John Wiley and Sons, New York, 1985.
- 7 - CPT Planchers: Dalles pleines confectionnées à partir de prédalles préfabriquées et de béton coulé en oeuvre, Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment, nº 202, Paris, 1979.
- 8 - Prefabricated Housing System with a Low-Cost Site Factory, G. Hernandez, ACI SP 72-15, pp. 319-353.

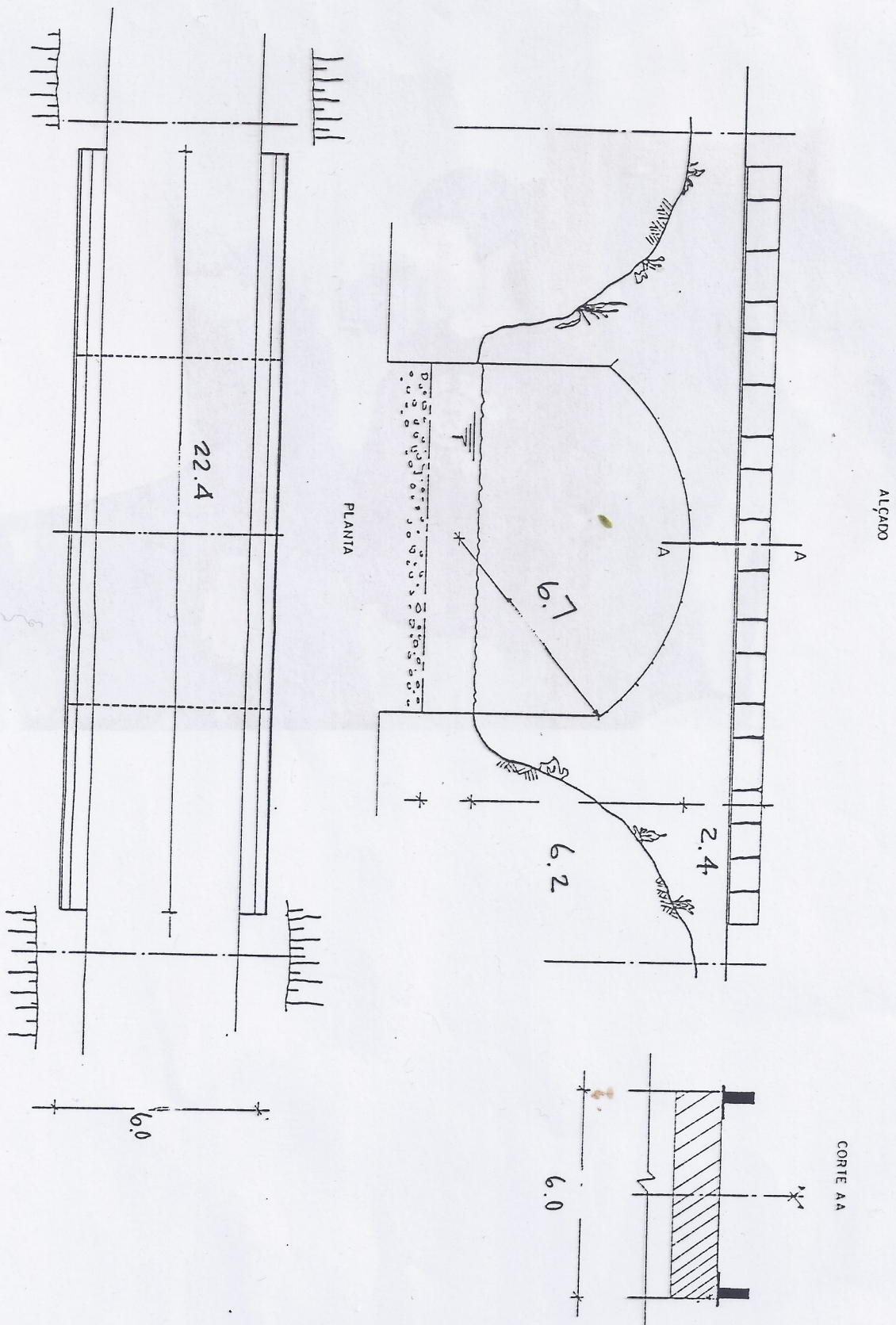


Figura 1

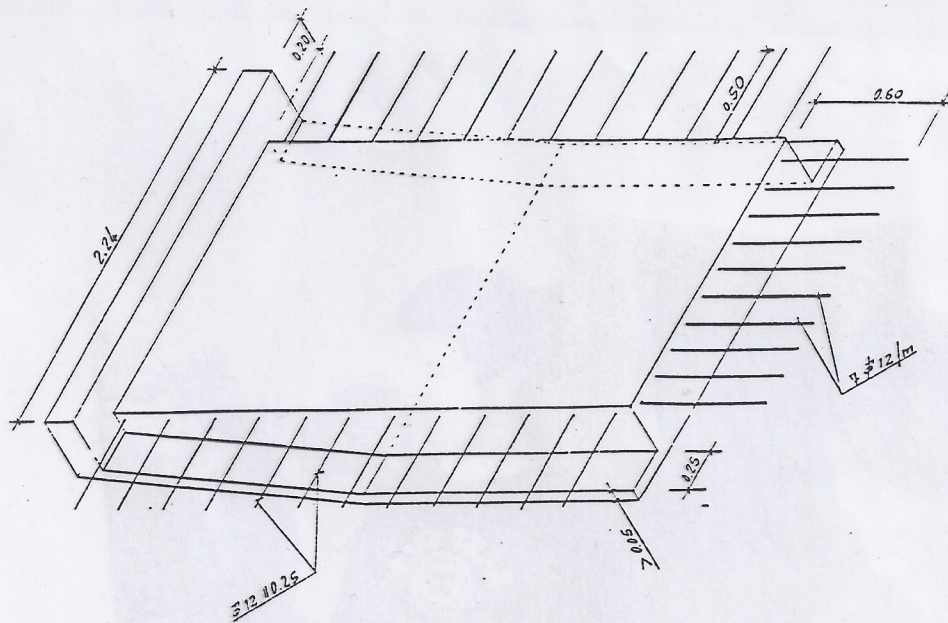


Figura 2

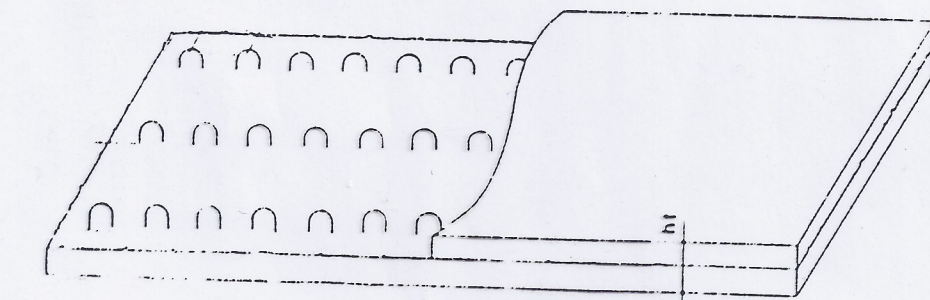
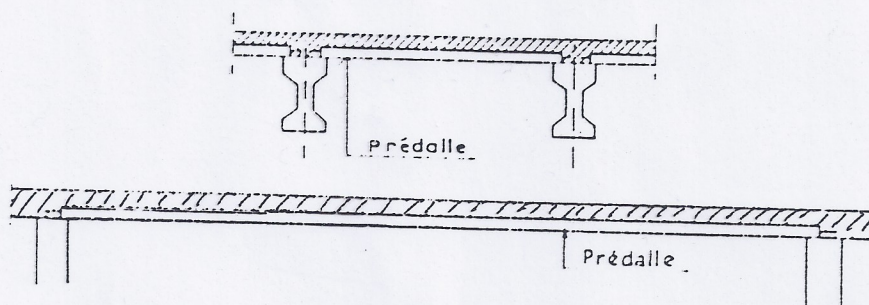


Figura 3