



1º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO
EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

São Carlos, 03 - 04 de novembro de 2005

Edifício pré-moldado com ligação rígida

Precast building with rigid connection

Angelo Rubens Migliore Junior (1)

(1) Eng^o Civil, Prof. Dr. e projetista estrutural, Fac. Unificadas FEB / Migliore & Pastore Eng^a Ltda.
rubens.migliore@terra.com.br:

Rua Santo André, 238 – Jd. Europa – São José do Rio Preto – SP – CEP 15.014-490
Telefone (17) 3232-2889

Resumo

Este trabalho apresenta os desafios tecnológicos envolvendo os procedimentos de projeto e de execução de um edifício de concreto pré-moldado composto por um subsolo e cinco pavimentos com finalidade educacional com salas de aula, laboratório, biblioteca e anfiteatro. São descritas as soluções utilizadas para conceber, projetar, detalhar e montar um edifício com pilares longos considerando as dificuldades inerentes ao entorno da obra em ambiente urbano densamente ocupado e com grande proximidade a construções existentes. Neste trabalho é destacado o emprego de ligações rígidas consolidadas no local entre pilares e algumas vigas e entre pilares e alguns painéis de fechamento para reduzir a deslocabilidade do edifício frente aos efeitos do vento decorrentes da altura elevada e da pequena seção dos pilares.

Palavras-Chave: Edifício pré-moldado; ligação rígida.

Abstract

This paper presents the technological challenges involving the procedures of project and execution of a precast concrete building composed by one subsoil and five floors with educational purpose with classrooms, laboratory, library and amphitheatre. The used solutions are described to conceive, to project, to detail and to mount a building with long pillars being considered the inherent difficulties by neighbors to the workmanship in densely busy urban environment and with great proximity at existing constructions. In this paper the use of rigid connection consolidated in the place between pillars and some beams and pillars and some façade panels is detached to reduce the flexibility of the building by the wind effects due to the high height and the small section of pillars.

Keywords: Precast building; rigid connection.

1 Introdução

Tradicionalmente, os edifícios projetados com estruturas de concreto pré-moldado têm a concepção estrutural de ligações entre pilares e vigas totalmente articuladas devido à maior facilidade de execução desta ligação em comparação com ligações capazes de restringir a rotação.

A rigidez estrutural necessária para limitar os deslocamentos decorrentes de ações horizontais neste tipo de solução fica sob responsabilidade do arranjo, da quantidade e da inércia dos pilares, sendo que tais pilares geralmente apresentam dimensões mais robustas do que aqueles empregados em construções moldadas in loco. Para o caso de edifícios de pequena altura, esta característica geométrica não é um impeditivo para a obtenção de uma solução economicamente viável, tais como aquelas geralmente utilizadas em galpões ou em edifícios com um ou dois planos de laje.

Para o caso de edifícios de maior altura, tipicamente há a ocorrência de maiores ações verticais devido ao maior número de pavimentos e de maior deslocabilidade em razão do efeito da maior altura em conjunto com a atuação de ações horizontais de vento. Como resultado, a estabilidade global do edifício não pode ser garantida apenas por pilares com dimensões mais avantajadas, sob pena de resultar em uma obra inviável do ponto de vista econômico.

Nestes casos, a utilização de ligações não articuladas entre os pilares e as vigas permite a criação de pórticos muito mais rígidos do que aqueles que seriam obtidos com a utilização de ligações articuladas, resultando em menor deslocabilidade horizontal e, portanto, menores efeitos de segunda ordem sobre os pilares. Como consequência, é possível viabilizar economicamente a execução de edifícios de concreto pré-moldado a partir da redução de custo devido ao uso de menores dimensões de pilares e do acréscimo de custo correspondente ao emprego de algumas ligações rígidas.

Este trabalho apresenta um estudo de caso envolvendo o projeto e a execução de um edifício de concreto pré-moldado composto por um subsolo e cinco pavimentos onde o autor teve a oportunidade de utilizar ligações rígidas entre pilares e algumas vigas dos pavimentos e entre pilares e alguns painéis de fechamento de concreto.

2 Descrição do edifício

O edifício aqui apresentado foi executado com elementos pré-fabricados de concreto compondo estrutura e vedação, foi iniciado em maio de 2002 e concluído em dezembro de 2002 tendo, por exigências arquitetônicas, integração com outro edifício existente de concreto moldado no local.

A obra foi implantada em região densamente ocupada na cidade de Ribeirão Preto-SP e o edifício é constituído de um subsolo e cinco pavimentos superiores com finalidade educacional contendo salas de aula, laboratórios, biblioteca e anfiteatro. A área construída totalizou 3.007,28 m² e os volumes de concreto utilizados foram de 333,50 m³ para lajes alveolares protendidas e de 389,50 m³ para pilares, vigas e painéis de fachada. Foram utilizadas vigas de concreto armado e de concreto protendido e alguns painéis de fachada são estruturais e outros apenas de fechamento, além de painéis arquitetônicos de acabamento.

A título de ilustração, as Figuras 1 e 2 apresentam as plantas arquitetônicas do pavimento térreo e do primeiro pavimento. Para efeito de registro das dimensões do edifício, foi adotada modulação dos eixos verticais de 5,81m e foi adotado espaçamento maior entre os eixos horizontais de 9,61m e espaçamento menor de 3,40m.

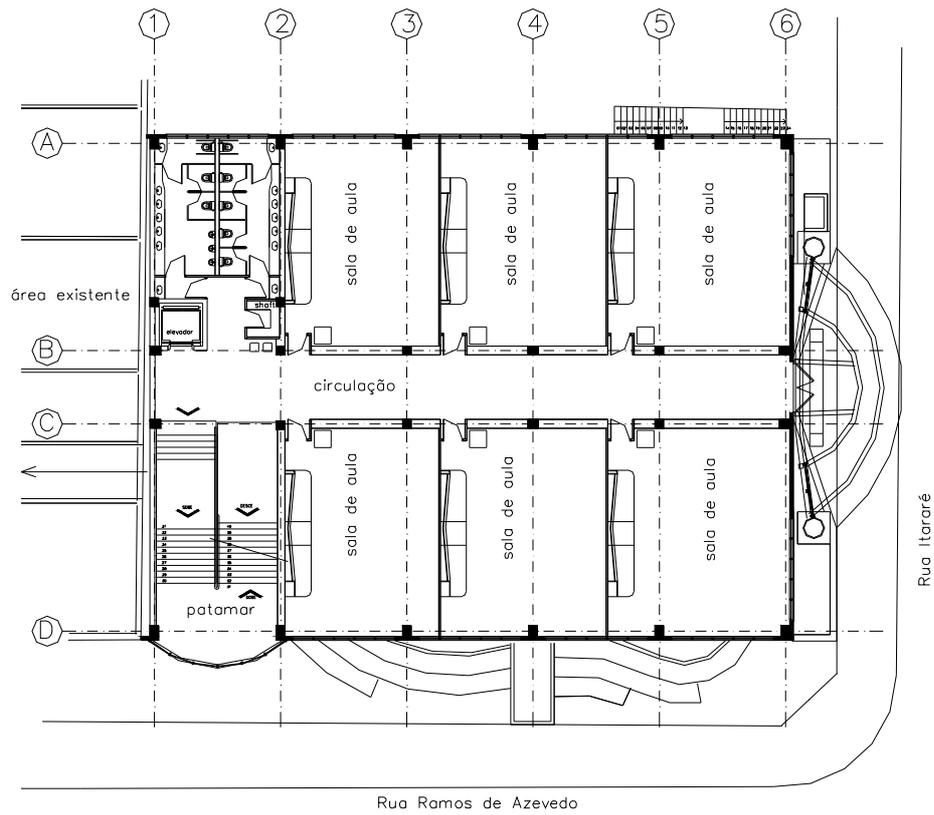


Figura 1 – Planta do pavimento térreo.

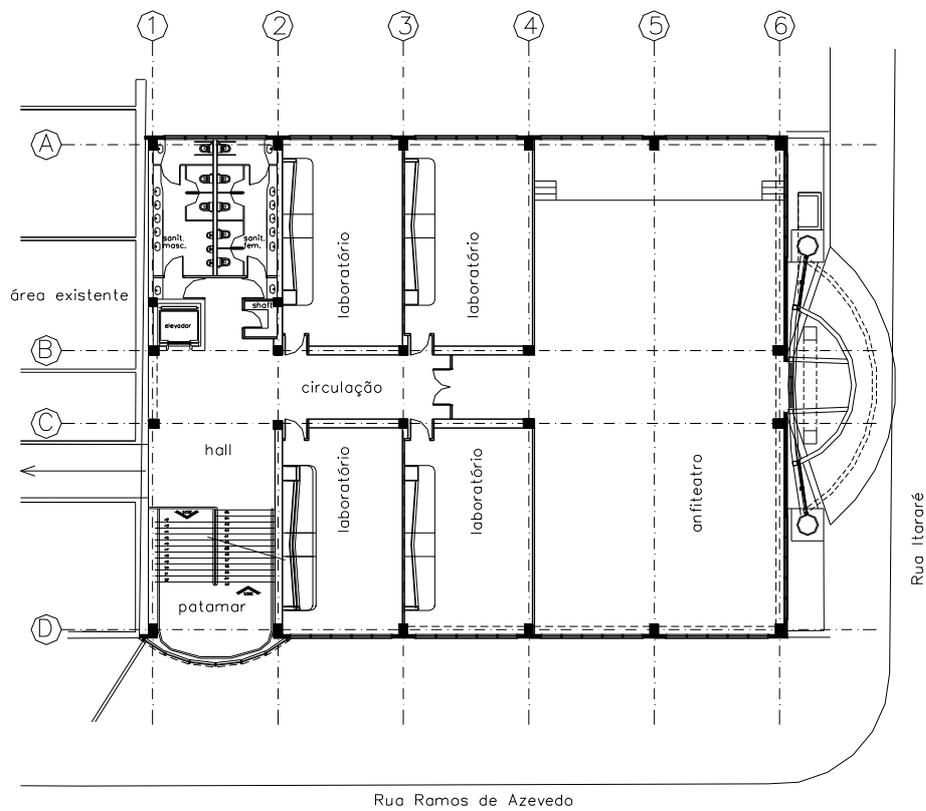


Figura 2 – Planta do primeiro pavimento.

A Figura 3 apresenta um corte transversal da obra mostrando que o desnível entre os pisos foi variado para compatibilizar os acessos ao edifício vizinho existente. Estão apresentados na Tabela 1 os comprimentos adotados para os lances de pilares.

Tabela 1 – Comprimentos adotados para os lances de pilares

Lance	Piso de referência	Compr. (m)
7	Casa de máquinas	3,00
6	Piso do reservatório	1,70
5	Cobertura	2,80
4	Terraço	3,90
3	Segundo pavimento	4,20
2	Primeiro pavimento	4,55
1	Térreo	3,50

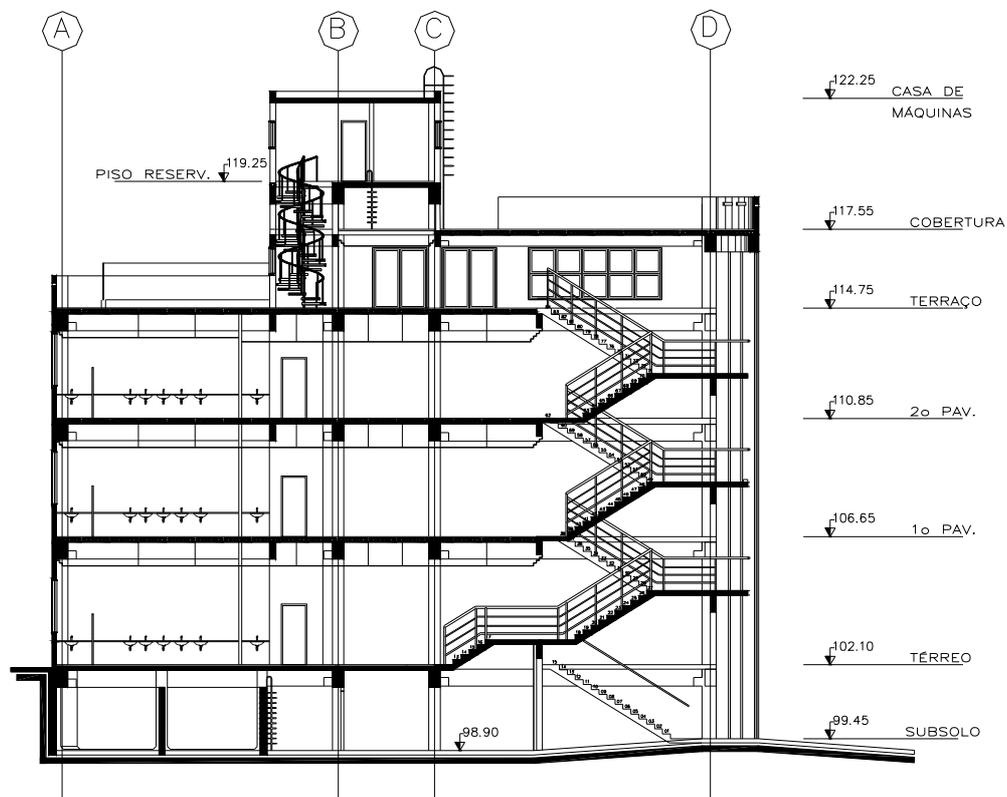


Figura 3 – Corte transversal do edifício passando pela região das escadas.

Todos os elementos estruturais foram pré-moldados, a exceção da estrutura do reservatório superior, a qual foi executada com concreto moldado no local a partir de arranques deixados nos respectivos pilares de apoio.

Os pilares principais foram posicionados nos encontros entre os eixos verticais e horizontais mostrados nas Figuras 1 e 2 desde a fundação até o respectivo nível mais alto, a exceção dos dois pilares posicionados nos encontros entre os eixos 5 e B e C. Estes pilares foram interrompidos no nível do primeiro pavimento em razão da

necessidade arquitetônica de maiores vãos livres para o anfiteatro localizado no primeiro pavimento.

Os pilares pré-moldados mais longos estão locados na região da casa de máquinas e foram executados em uma única peça com comprimento total de 24,40m. O comprimento típico dos pilares pré-moldados de periferia foi de 21,40m. Dessa forma, foram tomados cuidados especiais durante a fase de transporte e de montagem em razão da implantação da obra em área urbana densamente ocupada e dos elevados comprimentos de pilares.

As Fotos 1 a 4 apresentam detalhes de execução da obra durante a etapa de montagem realizada no ano de 2002. A Foto 5 foi obtida em julho de 2005 e mostra o edifício acabado e em utilização.

As fundações da obra foram realizadas sobre tubulões curtos e, eventualmente, sobre sapatas diretas, devido à ocorrência de rocha a pouca profundidade e ao comprimento necessário para embutimento dos pilares nos blocos de fundação. Outra característica das fundações foi a necessidade de execução de blocos excêntricos e respectivas vigas de equilíbrio em razão da proximidade com o edifício existente para os pilares locados ao longo do eixo vertical 1, tal como pode ser observado na Foto 1.



Foto 1 – Detalhe da etapa de montagem na região próxima ao edifício existente.



Foto 2 – Vista do interior da obra durante a etapa de montagem.



Foto 3 – Detalhes de montagem incluindo o posicionamento da armadura de continuidade das vigas do pavimento mais inferior apresentado.



Foto 4 – Vista da obra durante etapa próxima ao final de montagem.



Foto 5 – Vista atual do edifício acabado e em operação.

A ligação rígida descrita nas seções seguintes para as vigas internas foi consolidada no local após a concretagem do capeamento das lajes alveolares. Este fato ocasionou a exigência de contraventamento temporário durante a fase de montagem da obra devido à elevada altura livre da edificação.

A execução do contraventamento temporário ocorreu entre pavimentos alternados e entre pórticos alternados que não possuíam travamento dos painéis de fechamento. Este contraventamento foi realizado pela fixação com solda de barras de aço CA-25 entre o topo e a base de pilares próximos. O contraventamento foi retirado após a cura do concreto de consolidação de todas as ligações rígidas de um determinado pavimento,

A partir da Foto 4 é possível avaliar a dificuldade encontrada durante a execução da obra para a manobra e o descarregamento das carretas que transportaram os pilares mais longos em razão da pequena largura das vias de acesso ao local da obra.

3 Ligações rígidas utilizadas

Segundo EL DEBS (2000), são consideradas como rígidas aquelas ligações onde é transmitido momento fletor entre os elementos pré-moldados que são unidos.

Tipicamente, a ligação entre pilar e viga em obra de concreto pré-moldado é realizada simplesmente apoiando a viga diretamente sobre o consolo com a utilização de uma almofada intermediária de elastômero para efeito de regularização das superfícies das duas peças. Este apoio direto é responsável pela transmissão de forças verticais de compressão. A utilização de um ou dois pinos verticais cruzando os elementos ligados garante a transmissão de forças horizontais e, eventualmente, também a transmissão de momentos de torção pela viga. No entanto, FERREIRA (1993) demonstrou que o pino vertical não possui rigidez suficiente para transmitir momentos de flexão significativos pela viga, caracterizando este tipo de apoio como articulado.

Para aumentar a rigidez da ligação entre pilar e viga de tal modo a permitir a transmissão de momentos fletores, podem ser utilizados recursos de concretagem local ou solda, tal como descrito por ELLIOTT (1996).

A arquitetura da obra em questão exigia a utilização de painel horizontal ligando os pilares de fachada. Como estes painéis podem funcionar como vigas de grande altura, foi adotado que algumas das ligações com os pilares fossem soldadas no topo e na base dos painéis através de grapas e cantoneiras. Este tipo de ligação não apresenta dificuldades executivas além da própria solda em campo e garante a transmissão de momentos de flexão tanto com tração na região superior (momento negativo) quanto de tração na região inferior (positivo).

Esta característica tornou-se importante para simplificar a análise estrutural visto que o modelo considerando esta ligação como rígida pode ser utilizado para a aplicação da ação do vento em dois sentidos opostos.

Para o caso das vigas sobre apoios tipo dente Gerber, a ligação rígida para alguns pilares foi adotada com luvas para emendas de barras de aço CA-50, tal como esquematizado na Figura 4. A altura final da viga na obra ficou acrescida da espessura da laje alveolar utilizada e da espessura do capeamento.

As luvas foram posicionadas durante a produção do pilar na face superior final das vigas e as barras foram emendas na obra através de rosca. A solidarização da ligação foi efetuada durante a concretagem do capeamento no local e respectivo preenchimento da parte superior da viga entre as lajes alveolares.

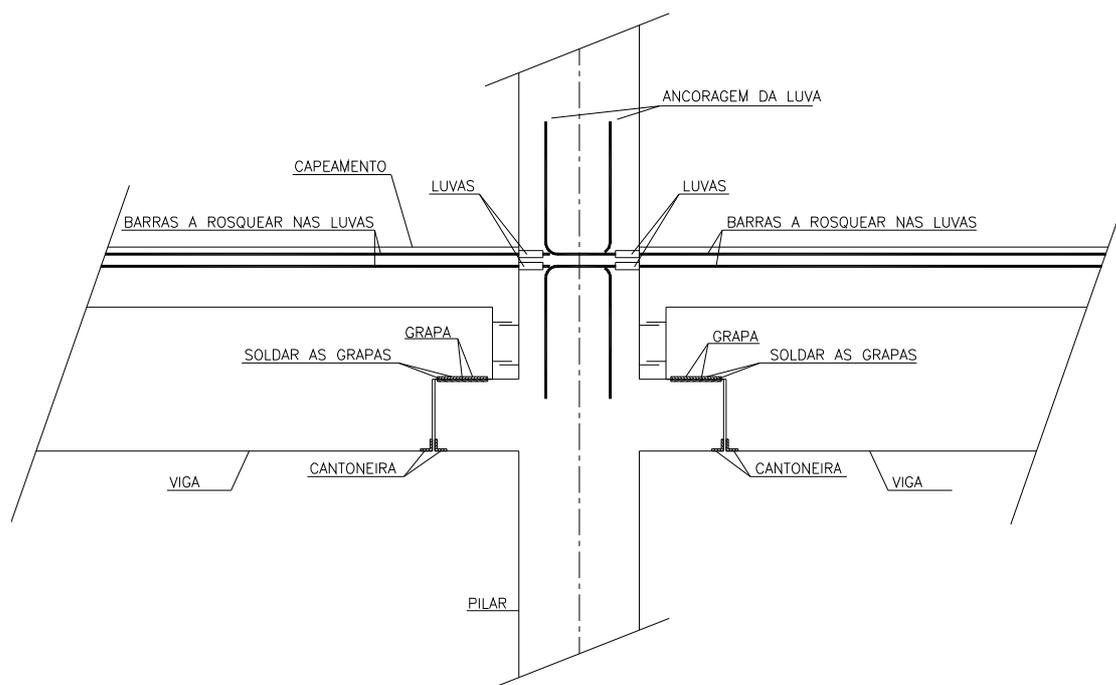


Figura 4 – Esquema de ligação entre pilar e viga com luvas e barras roscadas.

Para garantir a transmissão de forças de compressão na face inferior da ligação, foi previsto um espaçamento de 10cm entre a extremidade da viga e o pilar com o intuito de facilitar o preenchimento com concreto moldado no local.

As Fotos 2 e 3 apresentam alguns detalhes do maior espaçamento entre a extremidade da viga e a face do pilar para a execução da concretagem de consolidação das citadas ligações rígidas.

Na Foto 3 é possível observar alguns detalhes de alinhamento de furos nas faces dos pilares, os quais são, na realidade, as luvas posicionadas no pilar aguardando a emenda das barras numa certa direção. Em particular, esta Foto também permite observar o posicionamento de algumas barras superiores de continuidade da viga na direção oposta com a emenda por luva já executada.

Foram também utilizadas pequenas grapas, cantoneiras e soldagem no campo apenas para posicionamento dos elementos e não foram consideradas como parte da ligação. De fato, a altura resistente da ligação foi considerada apenas entre o topo do consolo e o topo final da viga.

Com as características deste tipo de ligação é possível a transmissão apenas de momentos fletores negativos. Este fato resultou na necessidade de considerar a presença da ligação rígida apenas em algumas posições particulares quando da atuação do vento em um determinado sentido. Para o caso de vento atuando em sentido contrário, a mesma ligação não é capaz de transmitir momento fletor e, neste caso, foi considerada como articulada.

4 Análise estrutural do edifício

A estrutura do edifício foi modelada como pórtico espacial com auxílio do programa CAD/Formas e CAD/Pórtico versão 9.4.71 da TQS Informática Ltda., onde os subsistemas resistentes às ações de vento foram compostos por pórticos definidos nos planos contidos pelos pilares e as vigas e os painéis de fechamento.

Como o programa em questão foi concebido para o dimensionamento de estruturas de concreto moldadas in loco, este autor realizou algumas simulações e adaptações para representar o comportamento esperado devido ao método construtivo do edifício de concreto pré-moldado com ligações rígidas.

A geometria da estrutura foi lançada considerando a presença dos consolos e a perfeita articulação entre as vigas e estes elementos. Este procedimento foi o mesmo para os painéis de fachada de grande altura que foram considerados como vigas resistentes às ações horizontais.

A aplicação das ações verticais e horizontais e o processamento dos esforços solicitantes para as diversas combinações das ações foram realizados em etapas independentes e, posteriormente, os resultados foram consolidados na etapa final.

Na primeira etapa, foram aplicadas todas as cargas permanentes devido ao peso próprio da estrutura e do capeamento sobre as lajes alveolares. Nesta etapa, todas as ligações da estrutura foram consideradas como perfeitamente articuladas.

As cargas acidentais e as demais cargas permanentes a serem aplicadas após a consolidação das ligações entre vigas e pilares foram consideradas na segunda etapa. As ligações escolhidas como rígidas foram restringidas no modelo estrutural nesta etapa.

Na terceira etapa, foram aplicadas as ações horizontais devido à atuação do vento com direção de 0° em relação ao eixo A indicado nas Figuras 1 e 2. Todas as ligações adotadas como rígidas entre pilares e painéis de fechamento externos foram restringidas nesta etapa por permitirem a transmissão tanto de momentos fletores positivos quanto de negativos. Para o caso das ligações adotadas como rígidas entre os pilares e as vigas do pavimento, somente foram restringidas nesta etapa aquelas que permitiram absorver momentos negativos, visto que o dispositivo adotado para esta ligação não permite a absorção de momentos positivos.

As demais etapas correspondentes à atuação de vento com direções de 90° , 180° e 270° foram realizadas de modo semelhante à anterior, resultando em mais três novas combinações de restrições de ligações e os respectivos processamentos dos esforços internos na estrutura.

Para o dimensionamento e o detalhamento final dos elementos estruturais, foi consolidada uma sétima etapa com a introdução dos momentos de engastamento perfeito obtidos em cada etapa independente sobre o modelo com ligações totalmente articuladas. Dessa forma, foi possível superpor todos os carregamentos aplicados com os momentos corretos nas ligações.

Nesta última etapa, foi avaliada a adequação das seções resistentes de pilares e vigas frente aos esforços internos e aos deslocamentos obtidos. Foram também considerados os efeitos de instabilidade global do edifício com a determinação do coeficiente γ_z tal como hoje proposto pela atual norma NBR 6118:2003, a qual já se encontrava em discussão na época do projeto da obra.

No caso da observação de que algum elemento estrutural não alcançava rigidez adequada ou que o coeficiente de instabilidade global γ_z era excessivo, o processo era retomado com alteração das seções transversais dos pilares e/ou imposição ou liberação de restrições nas possíveis ligações a serem consideradas como rígidas de alguns pisos.

Caso houvesse a necessidade de alteração geométrica ou de ligações consideradas como rígidas em algum pavimento, todo processamento de análise estática era refeito a partir da primeira etapa, mantendo os carregamentos lançados inicialmente, à exceção do peso próprio da estrutura.

Do exposto, pode ser avaliada a dificuldade operacional e o grande trabalho necessário para a correta análise estrutural e para a otimização das seções resistentes dos pilares, das vigas e das ligações, em razão da indisponibilidade de ferramentas computacionais orientadas para a consideração do modelo estrutural adequado ao sistema construtivo proposto.

Com o dimensionamento final da obra em questão em conformidade com as normas NBR 9062 e NBR 6118 vigentes, foram aceitos como adequados os resultados máximos obtidos com a atuação de vento na direção de 0° em relação ao eixo A. Para esta situação, foram obtidos os resultados para o coeficiente γ_z de 1,2 e para o deslocamento horizontal de 1,3cm no topo do edifício. Tais resultados são considerados satisfatórios pela norma NBR 6118:2003 e caracterizam o edifício como pouco deslocável.

Mantendo a mesma geometria da estrutura e os mesmos carregamentos anteriores, mas considerando que todas as ligações entre os pilares e vigas são articuladas, os resultados obtidos do processamento de análise estática para atuação do vento na mesma direção de 0° foram de coeficiente γ_z de 3,9 e de deslocamento horizontal de 6,3cm no topo do edifício.

Para que a estrutura do edifício com as condições descritas no parágrafo anterior pudesse atender às condições de estabilidade global, as inércias dos pilares deveriam ser aumentadas em muitas vezes, o que certamente inviabilizaria economicamente a obra.

Deve ser ressaltado que aspectos econômicos também governam a escolha de um maior ou menor número de ligações rígidas, principalmente aquela aqui descrita com a utilização de emenda de barras com luvas devido ao elevado custo unitário da ligação.

Com a metodologia utilizada para projeto aqui apresentada verifica-se a necessidade de várias iterações de análise até ser obtida uma solução viável técnica e economicamente. Havendo maior disponibilidade de ferramentas computacionais adequadas, é possível otimizar o emprego desse sistema construtivo com maior produtividade na etapa de projeto.

5 Conclusões

Foram apresentadas as características geométricas de um edifício com subsolo e cinco pavimentos com finalidade educacional onde a utilização de ligação rígida foi determinante para a estabilidade global do edifício, face às dimensões dos pilares.

As ligações rígidas utilizadas foram de dois tipos: a) soldadas para a ligação entre pilares e alguns painéis de fechamento; e b) consolidadas no local entre pilares e algumas vigas com a utilização de barras emendadas por luvas.

O procedimento de análise estrutural utilizado separando os carregamentos em etapas independentes foi considerado como satisfatório. Foi discutida também a necessidade de considerar o correto efeito das ligações rígidas tal como exposto neste trabalho para as vigas com barras emendadas por luvas frente ao sentido de atuação do carregamento de vento adotado.

Face à carência de ferramentas adequadas para o estudo de obras com as características aqui descritas, certamente serão bem vindas pelos projetistas todas alternativas e sugestões para modelamento e análise numérica que tenham o objetivo de simplificar a análise estrutural.

Finalmente, constatou-se a viabilidade técnica e econômica da solução adotada de utilização de ligações rígidas para redução das dimensões dos pilares participantes do

subsistema resistente de ações horizontais em comparação com as dimensões dos mesmos pilares que seriam obtidas com utilização da ligação articulada convencional.

6 Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). **NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003). **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro.
- EL DEBS, M.K. (2000). **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- ELLIOTT, K.S. (1996). **Multi-storey precast concrete framed structures**. Blackwell Science. Oxford.
- FERREIRA, M.A. (1993). **Estudo de deformabilidades de ligações para análise linear em pórticos planos de elementos pré-moldados de concreto**. Dissertação (Mestrado). EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos.