

SEGURANÇA ESTRUTURAL DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS INOVADORES: RELAÇÃO CUSTO/BENEFÍCIO – ESTUDO DE CASO

OLIVEIRA, Fabiana L. (1); MACHADO JUNIOR, Eloy F. (2)

(1) Mestre em Engenharia de Estruturas — e-mail: fabianal@sc.usp.br

(2) Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Estruturas

Departamento de Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos –
Universidade de São Paulo

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 CEP 13560-970 São Carlos, SP Fax: (016) 273 9482

RESUMO

A aplicação do conceito de desempenho à avaliação da habitação, seus elementos e componentes tem se mostrado parâmetro essencial para aprovação de sistemas construtivos inovadores, contribuindo também, para uma sistemática de controle de qualidade. Sendo assim, este trabalho apresenta uma relação custo/benefício de 10 sistemas construtivos diferentes empregados na Vila Tecnológica de Ribeirão Preto que foram avaliados estruturalmente, verificando se o sistema construtivo mais caro é o que apresentou melhor desempenho estrutural. A avaliação estrutural foi realizada através de ensaios em campo e, seus resultados comparados com os de uma habitação convencional de alvenaria. De posse destes resultados, estabeleceu-se uma sistemática de pontuação com base no preço proposto na licitação, verificando-se daí a melhor relação custo/benefício dos sistemas construtivos considerados. Pretende-se com essa avaliação, balizar técnica e economicamente o desenvolvimento de novos sistemas construtivos contribuindo de forma concreta para a industrialização da construção.

ABSTRACT

The application of the concept of evaluation performance to the housing, its elements and components it has been showing essential parameter for approval innovative constructive systems, also contributing, for a systematic of quality control. Therefore, this work presents the relationship cost/benefit of ten different housing systems built in the Technological Village of Ribeirão Preto that were submitted to a structural evaluation being verified if the more expensive constructive system is what presented better structural performance. The structural evaluation was realized by tests in field and, its results compared with a conventional habitation of masonry. It was determinate with these results a systematic of punctuation based in the price proposed in the bidding, verifying the best relationship cost/benefit of the considered constructive systems. It is intended with this evaluation, to define technique and economically the development of new constructive systems contributing to the industrialization of the construction.

1. INTRODUÇÃO

Como a construção civil inicia em escala cada vez maior o emprego de técnicas industrializadas numa atividade que sempre se caracterizou pelo seu processo artesanal, se faz mister avaliar a evolução empregada a partir dos procedimentos tradicionais de edificar por um modo coerente que considere a natureza e as características da construção, DUARTE (1981).

Simultaneamente ao crescente aparecimento de novas tecnologias construtivas no ramo na construção civil, objetivando sanar o déficit habitacional no país, surge o interesse em avaliar os sistemas construtivos novos para que o usuário possa usufruir de uma habitação segura satisfazendo suas necessidades básicas.

Com isso, a prática da avaliação de desempenho vem sendo aplicada a novos sistemas construtivos para garantir que a habitação satisfaça as exigências do usuário, quando submetida a determinadas condições de exposição, obedecendo requisitos (qualitativos) e critérios (quantitativos) de desempenho estabelecidos através dos métodos de avaliação.

Este trabalho visa mostrar a relação custo/benefício de 10 sistemas construtivos diferentes, avaliados estruturalmente, que fazem parte da Vila Tecnológica de Ribeirão Preto inaugurada em julho de 1994. Esse tipo de avaliação (relação custo/benefício) já foi proposta por outros autores como por exemplo THOMAZ (1993) e SOUZA (1984) objetivando verificar se o sistema construtivo mais caro é o que apresenta melhor desempenho, ou não.

2. METODOLOGIA UTILIZADA

Segundo o IPT (1981), para se avaliar estruturalmente um sistema construtivo novo, a habitação deve atender a requisitos e critérios de desempenho estabelecidos quando solicitada por ações de corpo mole, corpo duro, peças suspensas, fechamento brusco de portas, forças devidas à ação de vento e cargas impostas pela estrutura.

Na avaliação estrutural realizada foram realizados os ensaios de impactos de corpo mole e duro, peças suspensas e fechamento brusco de portas. Os ensaios de cargas impostas pela estrutura (ensaio de compressão de paredes) e de ação de vento não foram realizados. O primeiro porque as unidades já estavam concluídas estando portanto com suas devidas cargas atuantes e, o segundo, devido a difícil viabilização de sua execução já que os ensaios foram realizados em campo.

Os resultados obtidos através desses ensaios em campo foram comparados com os valores de uma habitação padrão COHAB — que serviam de referência mínima — e com os valores máximos admissíveis pelo critério de desempenho. Para a avaliação estrutural foram adotados 3 níveis de qualidade: *satisfatório*, *regular* e *insatisfatório*. Considerou-se *satisfatórios* os sistemas que possuíam seus resultados menores ou iguais ao padrão COHAB (valores \leq COHAB), *regulares* os sistemas cujos valores estavam entre o padrão COHAB e o máximo admitido pelo critério ($\text{COHAB} \leq \text{valores} \leq \text{CRITÉRIO}$) e *insatisfatórios* os sistemas que tiveram seus valores maiores que o limite máximo admissível.

Os sistemas construtivos avaliados e a classificação obtida na avaliação estrutural estão

descritos a seguir:

Sist. B - painéis estruturais pré - fabricados em concreto.

Sist. C - painéis autoportantes, tipo "sandwich", estrutura interna de madeira tratada e recoberta por chapa tipo "Hard Board", revestida com argamassa epóxica.

Sist. D - alvenaria de tijolos de solo-cimento vazados intertravados.

Sist. E - painéis pré-fabricados em concreto armado com núcleo de bloco cerâmico.

Sist. F - blocos cerâmicos, com encaixe macho/fêmea, permitindo a superposição e o intertravamento, dispensando o uso da argamassa.

Sist. G - painéis pré-fabricados de poliestireno expandido e tela de aço, revestidos com argamassa jateada.

Sist. H - painéis em madeira de lei industrializada.

Sist. I - painéis pré - fabricados tipo "sandwich" de concreto e núcleo de poliestireno.

Sist. J - blocos de concreto com sistema de auto encaixe e auto travamento, executado com massa especial.

Sist. K - colunas pré-moldadas espaçadas com placas pré-fabricadas em concreto imitando tijolo à vista.

Tabela 01 – Classificação dos sistemas construtivos				
Sistema construtivo	Ensaio de corpo mole	Ensaio de corpo duro	Ensaio de peças suspensas	Ensaio de fechamento brusco de portas
B	Satisfatório	Satisfatório	—	Regular
C	Regular	Satisfatório	Regular	Regular
D	Regular	Satisfatório	Regular	Satisfatório
E	Satisfatório	Satisfatório	Regular	Regular
F	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório	Insatisfatório
G	Regular	Satisfatório	Regular	Insatisfatório
H	Insatisfatório	Satisfatório	Insatisfatório	Insatisfatório
I	Regular	Satisfatório	Regular	Satisfatório
J	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório	Regular
K	Insatisfatório	Satisfatório	Satisfatório	Regular



Figura 01 - Ruptura do painel. Sistema construtivo **K**.

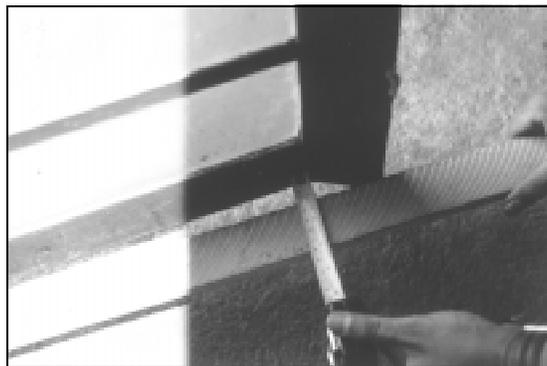


Figura 02 - Ruptura da folha no 7º fechamento brusco. Sistema construtivo **F**.

Para a referida análise, necessitou-se atribuir uma pontuação final a cada sistema construtivo avaliado. Cada classificação recebeu uma pontuação que refletisse a sua importância no desempenho do sistema construtivo. Os sistemas que tiveram desempenho insatisfatório em qualquer ensaio foram eliminados. Sendo assim, o desempenho do sistema construtivo em relação ao custo será expresso num índice obtido pela divisão do custo por metro quadrado pela pontuação obtida. Portanto, o melhor sistema construtivo é aquele que apresentará o menor índice, CAVANI (1993).

Ressalta-se que para estabelecer-se tanto uma avaliação de desempenho como uma relação custo/benefício, também devem ser considerados outros fatores na totalização da pontuação dos sistemas construtivos. Por exemplo, os sistemas construtivos **F** e **G** foram considerados **insatisfatório** no ensaio de fechamento brusco de portas não pela ocorrência de fissuras ou diminuição da rigidez do conjunto painel/porta (requisitos de desempenho que devem atender os sistemas construtivos), mas sim por danos na porta

que impossibilitaram a realização do ensaio após o 7º fechamento brusco. Com isso, estes sistemas não foram descartados na avaliação mas receberam pontuação **zero** neste ensaio. Nos demais ensaios, a classificação **satisfatória** recebeu pontuação 4 e para a classificação **regular** foi atribuída a pontuação 2. A pontuação total foi então determinada pela soma dos valores devido a classificação dos sistemas dividida pelo número de ensaios realizados. O custo por metro quadrado e a pontuação de cada sistema construtivo estão demonstrados na tabela abaixo.

Tabela 02 – Tabela de custo e pontuação dos sistemas construtivos			
Sistemas construtivos	Preço/m ² (R\$)	Pontuação obtida	Relação custo/benefício
B	154,40	3,33	46
C	168,87	2,50	68
D	170,00	3,00	57
E	195,00	3,00	65
F	111,17	3,00	37
G	195,00	2,00	98
H	176,54	ELIMINADO	ELIMINADO
I	171,00	3,00	57
J	154,64	3,50	44
K	175,10	ELIMINADO	ELIMINADO

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos pode-se verificar que o sistema construtivo **F**, apesar de ter apresentado classificação insatisfatória no ensaio de fechamento brusco de portas apresentou menor índice na relação custo/benefício. Se o fabricante tivesse utilizado um controle de qualidade mais rigoroso para escolha das esquadrias, provavelmente seu desempenho e conseqüente pontuação resultaria em resultados ainda melhores. Ressalta-se também que o custo desse sistema foi o mais barato em relação aos demais sistemas.

O sistema construtivo **J** — mesmo com um custo superior — teve seu índice bem próximo do sistema **F**. Tal fato se deve ao sistema construtivo **J** não apresentar classificação insatisfatória em nenhum dos ensaios realizados. Isto mostra uma qualidade de produto melhor.

Não foi possível a realização do ensaio de peças suspensas no sistema construtivo **B**, por isso considerou-se apenas os demais ensaios na atribuição da pontuação. Seu índice se aproximou mais dos sistemas construtivos **D** e **I**, embora apresente custo maior que os demais. Verifica-se então, uma melhor qualidade desse sistema construtivo na avaliação estrutural do que os sistemas construtivos **D** e **I**.

Os sistemas construtivos **D** e **I** como apresentaram os mesmos resultados na classificação estrutural e possuíam o preço final parecidos, seus resultados na pontuação final foram iguais. Estes sistemas apresentaram classificação regular no ensaio de corpo mole e fez com que a suas pontuações fossem superior ao sistema construtivo **B** que apresentou classificação satisfatória. Tal fato é coerente, visto que o cumprimento dos requisitos e critérios do ensaio de corpo mole retrata uma maior segurança ao usuário.

O índice apresentado pelo sistema construtivo **E** mostrou que o sistema construtivo mais caro não foi o que apresentou menor pontuação. Pode-se constatar então que nem sempre a qualidade está ligada ao custo elevado.

Embora o sistema construtivo **C** tenha sido um dos que obteve o custo mais elevado, obteve pontuação inferior ao sistema construtivo **G**. Este sistema construtivo, também foi prejudicado pela classificação insatisfatória no ensaio de fechamento brusco de portas pela fragilidade que apresentava a folha da porta. Mesmo que o sistema construtivo **G** apresentasse classificação regular no ensaio, a sua pontuação já melhoraria consideravelmente.

Os sistemas construtivos **H** e **K** foram considerados insatisfatórios na classificação estrutural e eliminados de tal avaliação. Esse fato se deve à habitação colocar em risco a segurança dos usuários inviabilizando qualquer correlação entre custo do produto e desempenho da edificação.

4. CONCLUSÕES

A avaliação de um sistema construtivo inovador não se restringe só a segurança estrutural para uma relação custo/benefício. Outros fatores devem ser considerados para uma total avaliação do sistema inovador, como por exemplo o conforto térmico e acústico. Mas, como a avaliação estrutural está relacionada com a segurança dos usuários, sugere-se que esta seja fator preponderante para aprovação do produto.

Mesmo estabelecendo-se uma pontuação que sirva de referência para a relação custo/benefício, deve-se levar em consideração vários outros parâmetros, não restringindo-se apenas ao valor numérico dos índices alcançados. Tal fato pode ser exemplificado pelos sistemas construtivos **F** e **G**. Sugere-se também, que atribua-se níveis de importância para os ensaios realizados em uma avaliação.

Toda essa sistemática de avaliação serve de orientação para o desenvolvimento de sistemas construtivos novos para habitação, permitindo ao fabricante adotar processos de produção e materiais apropriados, resultando um produto final econômico e de qualidade.

A metodologia de avaliação apresentada pelo IPT não considera a avaliação econômica. Os critérios formulados são de caráter eliminatório, o que dificulta a decisão quando um determinado sistema construtivo deixa de atender a um determinado critério, pois não há uma definição de quanto este critério não atendido compromete o desempenho global do sistema construtivo, CAVANI (1993).

Propõe-se também que níveis da relação custo/benefício sejam adotados para constatação da viabilidade de construção do produto. A classificação por ordem de pontuação dos sistemas construtivos está demonstrada a seguir:

Tabela 03 – Classificação dos sistemas em função da relação custo/benefício		
Classificação	Sistema construtivo	Relação custo/benefício
01°	F	37
02°	J	44
03°	B	46
04°	D e I	57
05°	E	65
06°	C	68
07°	G	98
ELIMINADOS	H e K	—

É necessário lembrar que, apesar de alguns sistemas construtivos necessitem de melhoria para alcançar os valores mínimos de qualidade adotados na avaliação estrutural desse trabalho, os mesmos são considerados satisfatórios pelos critérios de desempenho. Espera-se então que a avaliação proposta, possa contribuir para futuras avaliações, além de fornecer subsídios para melhoria da qualidade de novas tecnologias a serem lançadas no mercado.

5. BIBLIOGRAFIA

- CAVANI, G.R. (1993). Avaliação de desempenho de sistema construtivo integrado por painéis sanduíches com miolo em poliestireno expandido e faces em argamassa armada. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA CIVIL DE ILHA SOLTEIRA, 4., Ilha Solteira, 6-8 outubro. *Anais*. P.15-24.
- DUARTE, R.B. (1981). Avaliação de sistemas construtivos industrializados. SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO ÀS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, São Paulo. v.1, p. 735-749.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981). *Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares: segurança estrutural*. São Paulo, IPT. Documento Preliminar, anexo do relatório 16277. 107p.
- OLIVEIRA, F.L. (1996). *Avaliação do desempenho estrutural de sistemas construtivos inovadores: estudo de caso*. São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- THOMÁZ, E. (1993). Sistemas construtivos para habitações de interesse social: proposta de avaliação e classificação pela relação custo/benefício. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3., São Paulo. v.3, p. 591-598.