

Otimização Paramétrica De Sistemas Estruturais Em Concreto Armado Para Residências De Alto Padrão

Renan Gustavo Pacheco Soares¹, Romilde Almeida de Oliveira², Arnaldo Manoel Pereira Carneiro³

¹Universidade Federal de Pernambuco / CTG / Email: renangpsoares@hotmail.com

²Universidade Católica de Pernambuco / UNICAP / Email: romildealmeida@gmail.com

³Universidade Federal de Pernambuco / CTG / Email: arnaldo2164@hotmail.com

Resumo

Este trabalho teve como objetivo caracterizar, através da otimização paramétrica, os parâmetros que influenciam o custo das estruturas de concreto armado para residências de alto padrão, considerando o consumo de aço, volume de concreto e formas. Para tanto, foram analisados os projetos de quinze residências edificadas em condomínios fechados na cidade de Garanhuns-PE e Caruaru-PE, com áreas construídas que variam entre 200 m² a 1500 m². Todos os projetos foram dimensionados conforme os requisitos estabelecidos na NBR 6118:2014 (ABNT, 2014) e suas correlatas, com o auxílio de um software de cálculo estrutural. Na análise estrutural foram utilizados os modelos de pórtico espacial de nós rígidos e analogia de grelhas (para as lajes), considerando-se os efeitos de segunda ordem global e a deslocabilidade da estrutura. As variáveis analisadas foram o consumo de aço (kgf), concreto (m³) e forma (m²). Os resultados apresentados destacaram a arquitetura como ponto fundamental na concepção de um sistema estrutural que proporcione economia para o usuário, além da experiência e consciência econômica do calculista como fatores de influência na adoção de soluções estruturais viáveis para cada projeto. Ficou evidenciada a otimização como procedimento fundamental nos projetos de estruturas para redução de custos, sem um número mínimo ou máximo de iterações para obtenção do ponto ótimo. Foram estabelecidos índices médios de consumo para residências unifamiliares de alto padrão em que a área de formas, volume de concreto e aço obedecem a relação aproximada de 34,36%, 34,68% e 30,96%, respectivamente.

Palavras-chave

Análise; dimensionamento; otimização; estruturas.

Introdução

Empresas do ramo da construção civil como escritórios de engenharia, construtoras e incorporadoras estão constantemente na busca de um produto que atenda aos parâmetros necessários para ser posto no mercado, com um custo ótimo. Entende-se ponto ótimo aquele no qual nenhuma outra possibilidade ou combinação é mais viável, dentro dos requisitos impostos para um determinado projeto, com um custo financeiro mínimo. Nesse contexto, é fundamental a avaliação do projeto estrutural, uma vez que a estrutura corresponde a um quantil significativo no custo global de uma obra, cerca de 20 a 30%.

É o projeto estrutural quem estabelece o consumo de materiais, como o aço, volume de concreto e fôrmas. Assim, a qualidade do projeto de estrutural está diretamente ligada ao consumo desses materiais (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2013).

Um dos meios para se atingir o ponto ideal de consumo de materiais é a otimização dos processos de produção. Sendo realizada de maneira iterativa, na qual todas as possibilidades de aplicação de determinado elemento são analisadas dentro do espaço de busca, a otimização tem sido aplicada à engenharia estrutural como uma opção viável por diversos pesquisadores e projetistas nas últimas décadas.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo elencar os principais parâmetros que influenciam o custo das estruturas de concreto armado para residências de alto padrão com áreas construídas que variam entre 200 m² a 1500 m², considerando o consumo de aço, volume de concreto e fôrmas. Para tanto, foram analisados os projetos de quinze residências edificadas em condomínios fechados na Cidade de Caruaru-PE. Todos os projetos de estruturas foram modelados em um software de cálculo estrutural, o Eberick. Todos os projetos foram elaborados conforme os requisitos estabelecidos conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) e suas correlatas. Em todos os projetos, foram avaliados os quantitativos de materiais (aço, concreto e forma).

Fatores que influenciam um projeto de estruturas

O projeto Arquitetônico

Um ponto essencial para a definição do tipo estrutural de uma edificação é a relação entre projetos arquitetônico e estrutural. A arquitetura é ponto determinante para a configuração da estrutura. É, de fato, a base para o projeto estrutural. Devem essencialmente haver requisitos harmônicos entre esses projetos se os objetivos a serem atingidos forem segurança, qualidade e economia (SILVA, 1999).

Na concepção estrutural, o engenheiro deve tomar precauções quanto a compatibilização de projetos, tais como o arquitetônico, instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, telefonia, segurança, som, imagem e rede, tendo foco especial no arquitetônico, visto que o mesmo norteará a maioria das decisões (ALVA, 2007).

Um projeto estrutural concebido com base em um projeto arquitetônico bem elaborado facilita o trabalho do engenheiro. Há projetos arquitetônicos que permitem uma configuração estrutural simplificada e que podem ser extraídos bons resultados no dimensionamento dos elementos estruturais, como é o caso, por exemplo, das edificações do tipo caixão, largamente utilizados em moradias multifamiliares no Brasil. Uma arquitetura com essa tipologia, onde não se têm de vencer grandes vãos e geralmente se tem a concepção de paredes sobre paredes possibilita um dimensionamento otimizado do sistema estrutural.

No entanto, uma arquitetura idealizada sem a preocupação com as ideias estruturais pode gerar resultados antieconômicos quando do resultado final do projeto. Situações desse tipo minimizam as possibilidades de escolha e concepção do sistema estrutural, além de dificultar o processo de otimização.

Observa-se, ainda, que a comunicação entre o arquiteto e o engenheiro é um fator importante. A capacidade de trabalho em equipe, conhecimento técnico e experiência profissional influenciam a qualidade de integração entre os projetos. Não se pode pensar em elaborar um projeto arquitetônico sem pensar nos aspectos estruturais e vice-versa.

O lançamento da estrutura

O lançamento da estrutura é a disposição dos elementos estruturais no projeto arquitetônico de modo a formar um sistema estrutural de uma edificação. Está ligado à ideia do projeto com a experiência do engenheiro. É a partir do lançamento da estrutura que será composto o sistema estrutural e o comportamento da edificação se dará em função do que for definido na etapa de lançamento dos elementos (BARBOZA, 2008).

O procedimento de locar pilares e vigas no projeto resulta da concepção estrutural que o projetista adote. Características como a geometria dos elementos e tipos dos materiais, processo construtivo, forma de execução, tipo de solo, preço das estruturas, preço da mão-de-obra e tempo disponível de construção também devem ser consideradas na etapa de lançamento (SOARES; DEBS, 1999).

Para Santos *et al.* (2001), para um correto lançamento estrutural, deve-se levar em consideração, dentre outros, os aspectos de funcionalidade, estética, resistência quanto aos esforços horizontais e economia.

A resistência quanto aos esforços horizontais entra como requisito fundamental ao lançar uma estrutura, pois de nada adianta obedecer aos requisitos de funcionalidade e estética sem que haja segurança na edificação. O estabelecimento da estrutura na etapa de lançamento com uso de um núcleo estrutural rígido e/ou pórticos (planos ou espaciais) contribui para que a mesma tenha configuração que possa suportar as ações do vento, empuxo, desaprumo e efeitos sísmicos (SANTOS *et al.*, 2001).

Na prática de projetos verifica-se que, no lançamento das vigas, os tamanhos dos vãos e embutimento nas paredes são requisitos também considerados. Os vãos e as lajes surgem em função do posicionamento das vigas. O ponto ótimo pode ser obtido quando da obtenção de esforços máximos semelhantes na maioria das lajes.

A experiência do calculista

A experiência do calculista de estruturas conta bastante em diversas etapas de projeto, pelo que com a prática os erros de lançamento e análise poderão ser reduzidos e mais soluções estruturais poderão ser adquiridas.

Tem se verificado que a distribuição dos elementos estruturais se torna mais próxima da ótima quanto maior a experiência do engenheiro (SOARES; DEBS, 1999). Contudo, alguns softwares fazem o lançamento automático da estrutura, porém não se tem como garantir que será o melhor posicionamento dos elementos.

Como o dimensionamento é um processo ligado à concepção, a experiência subjetiva do calculista entra como um importante fator, pois a mesma atua na mistura entre intuição e racionalidade ligadas às condições objetivas para a elaboração da estrutura.

O modelo de análise estrutural por analogia de grelhas também é um ponto que a experiência do projetista é levada em consideração. A subdivisão dos pavimentos em pequenos elementos que serão analisados exige bastante do engenheiro, pois cabe a ele o estabelecimento das características (inércia e área, por exemplo) e dimensões dos elementos de barra que serão analisados (KIMURA, 2007).

Se forem inseridas teorias de análise com um grau elevado de complexidade, como análises não-lineares e modelos espaciais, a experiência do projetista será ponto positivo, visto que não é rara a constatação de profissionais sem o devido preparo para

definir os parâmetros necessários nos programas computacionais para que os mesmos possam representar a estrutura de maneira adequada e satisfatória (BARBOZA, 2008). Cuidados devem ser tomados com relação à experiência. O engenheiro não deve se basear apenas em sua experiência para conceber um projeto. Deve executar o trabalho com lógica, raciocínio e discernimento. A adequação às normas, às inovações e a busca constante pelo aprimoramento de conhecimentos são fatores que todos profissionais dessa área devem incorporar em seus perfis.

Materiais e métodos

Composição de custos dos elementos estruturais

A composição de custos de uma forma geral é de fundamental importância, tendo em vista o custo ser um dos fatores limitantes e primordiais para a concepção e viabilização de qualquer projeto. Além da função que já lhe é destinada, as edificações têm função econômica, seja qual for sua localização, recurso disponível e tipo de projeto (MATTOS, 2006).

Cada elemento estrutural tem um custo variável. Essa variabilidade se dá em função das características de concepção, cálculo e detalhamento de cada elemento. Por exemplo, para confecção dos pilares o quantil referente às formas é superior ao utilizado para confecção de vigas e lajes. Contudo, é corriqueiro se utilizar um valor médio de consumo de aço, concreto e forma para todos os elementos de concreto armado. A Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB), em sua tabela de preços para cotação de obras e serviços de engenharia, mês de referência dezembro/2014, verifica-se uma composição média de preços para o concreto, aço e fôrmas, para compor qualquer tipo de elemento estrutural de concreto armado. Tais valores, já incluso o valor da mão de obra, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Custo do concreto, aço e formas para elementos estruturais.

Material	Código	Unidade	R\$
Concreto estrutural, f_{ck} 25 MPa, condição a (NBR 12655) lançado em estruturas e adensado.	356	m ³	496,55
Ferro cortado, dobrado e colocado na forma, em Super ou Infraestrutura (CA-50).	344	kg	7,53
Formas para concreto armado em qualquer tipo de estrutura, com chapa de madeira compensada tipo resinada de 12 mm, inclusive escoramento.	337	m ²	77,87

De um modo geral, utilizam-se alguns valores médios ideais de consumo de materiais por metro quadrado de construção para as estruturas de concreto armado. Tais valores são o concreto 0,20 m³/m²; o aço 20 kgf/m²; e a forma 1,90 m²/m².

Considerando esses valores e os custos apresentados na Tabela 1, verifica-se que o valor do metro cúbico do concreto armado acabado médio é de R\$ 1.989,31. Observa-se que deste valor o concreto, o aço e a forma correspondem a 24,96%, 37,85% e 37,19%, respectivamente. Analisando tais percentuais, observa-se que as formas representam parcela significativa no custo total do concreto armado. Em edificações com múltiplos

andares é comum o reaproveitamento das formas em cerca de 10 a 12 vezes (pavimento tipo). Entretanto, no caso das edificações residenciais analisadas no presente trabalho o reaproveitamento é pequeno, uma vez que, não existe pavimento tipo e as vigas e os pilares apresentam secções e comprimentos muito variados. Deste modo, adotou-se no presente trabalho um índice de reaproveitamento de dois, com custo de 60% do apresentado na Tabela 1. Assim, o custo da forma é de R\$ 45,00/m² e o custo do m³ do concreto armado acabado médio é R\$ 1.693,41.

Projetos analisados

Foram utilizados quinze modelos arquitetônicos de residências com áreas de que variaram de 200m² a 1500m² e configurações distintas. Todas as residências foram executadas ou se encontram em execução na cidade de Garanhuns-PE e Caruaru-PE. Apresentam elevado padrão de acabamento e possuem custo global que variam entre R\$ 400.000,00 a R\$ 2.000.000,00. Todos os projetos estruturais foram calculados conforme os requisitos normativos vigentes.

Cada projeto recebeu uma denominação em função da configuração. Como é possível observar na Tabela 2, todas as residências apresentam características distintas, com detalhes arquitetônicos rebuscados, que tornam cada residência uma residência única.

Tabela 2 – Configurações dos projetos analisados.

Residência	Área (m ²)	ESC	PDD	PP	RCA	VM (m)	PSC	VT
Modelo A	249,94	Plissada	Sim	Não	Sim	5,50	Sim	Sim
Modelo B	341,71	Metálica	Não	Não	Sim	5,00	Sim	Sim
Modelo C	242,80	Fundo Plano	Não	Sim	Sim	4,00	Sim	Não
Modelo D	350,67	Plissada	Não	Não	Sim	5,30	Não	Sim
Modelo E	332,00	Plissada	Sim	Não	Sim	5,00	Sim	Sim
Modelo F	365,57	Plissada	Sim	Não	Sim	9,00	Sim	Sim
Modelo G	334,86	Plissada	Sim	Não	Sim	5,00	Não	Sim
Modelo H	329,33	Fundo Plano	Não	Sim	Não	4,00	Não	Não
Modelo I	365,17	Plissada	Sim	Não	Não	6,00	Não	Não
Modelo J	500,00	Plissada	Sim	Sim	Não	5,00	Não	Sim
Modelo K	418,81	Metálica	Sim	Não	Sim	8,00	Não	Sim
Modelo L	1422,18	Plissada	Sim	Não	Sim	7,00	Sim	Sim
Modelo M	571,25	Plissada	Sim	Não	Não	8,00	Sim	Sim
Modelo N	477,74	Fundo Plano	Sim	Não	Não	8,00	Sim	Sim
Modelo O	975,00	Fundo Plano	Não	Não	Sim	6,00	Não	Sim

Onde, ESC se refere ao tipo de escada; PDD, se existe pé direito duplo; PP se é do tipo parede sobre parede; RCA se possui reservatório em concreto armado superior e inferior; VM é o vão médio; PSC se possui piscina em concreto armado; e VT se possui vigas de transição. Salienta-se ainda que todas as edificações possuíam dois pavimentos. Esses parâmetros são considerados restrições no que tange ao processo de otimização. Todos os projetos foram dimensionados com o auxílio do software AltoQi Eberick V9. Na análise estrutural foram utilizados os modelos de pórtico espacial de nós rígidos e analogia de grelhas (para as lajes), considerando-se os efeitos de segunda ordem global, a deslocabilidade da estrutura e os efeitos do vento.

Análise estrutural e otimização

Inicialmente foi realizado um estudo de cada projeto arquitetônico tomado como amostra. Em seguida, foi realizado um pré-lançamento da estrutura, o qual foi modelado e analisado. Após a análise da estrutura e finalizada a primeira iteração do processo, foram analisados o comportamento global e local da estrutura, de modo a atender todos os preceitos normativos. Finalmente, quando todos os elementos se encontravam em concordância, foi gerado o resumo de materiais, onde constam os dados referentes ao consumo de aço (kg), volume de concreto (m³) e área de fôrmas (m²). Tais valores foram inicialmente analisados.

Após primeira análise, otimizou-se a estrutura, sendo alteradas algumas configurações do modelo, de modo que pilares e vigas tiveram alguns vãos, posicionamentos e seções transversais alterados. Após reprocessada a estrutura e verificado o atendimento aos Estados Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU), da nova configuração, foi concluída a segunda iteração do processo. Foi gerado um novo resumo de materiais, comparados os dados com relação ao sistema estrutural anterior, levantados os custos finais e verificado se houve redução no custo final dos materiais analisados.

Esse procedimento se repetiu por diversas vezes com diferentes soluções estruturais para a mesma obra, onde o ponto ótimo foi atingido quando se chegou a um sistema estrutural que gerou o menor custo para as variáveis analisadas, considerando as restrições impostas no modelo arquitetônico.

De posse dos dados da otimização, foram geradas por meio de planilhas eletrônicas as tabelas de custo da estrutura de cada residência conforme a tabela da EMLURB.

Resultados e discussão

O resumo de materiais e a composição dos custos dos projetos analisados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo de materiais e custos finais dos sistemas estruturais.

Amostra	Aço (Kgf)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)	Custo final (R\$)
A	6.582,30	95,00	990,70	141.318,47
B	6.351,50	97,20	1037,20	142.765,46
C	3.987,40	60,40	761,00	94.261,74
D	7.139,30	104,20	1160,20	157.708,44
E	6.904,40	107,80	1146,10	157.092,72
F	6.105,60	94,90	1009,10	138.507,26
G	6.852,60	95,50	1052,00	146.360,60
H	4.703,00	80,60	732,40	108.393,52
I	4.771,30	77,30	751,10	108.110,70
J	5.351,20	98,00	833,70	126.472,94
K	6.794,50	94,80	933,00	140.220,53
L	23.222,20	344,90	2.871,00	475.318,26
M	10.590,00	142,20	1.153,60	202.264,11
N	6.341,50	120,60	988,50	152.117,93
O	13.432,30	179,70	1762,30	269.678,75

Cada projeto analisado no presente estudo, por apresentar características que os tornam únicos, necessitaram de soluções específicas. Na Figura 1 a seguir, apresentam-se os sistemas estruturais otimizados em perspectiva 3D para cada residência.

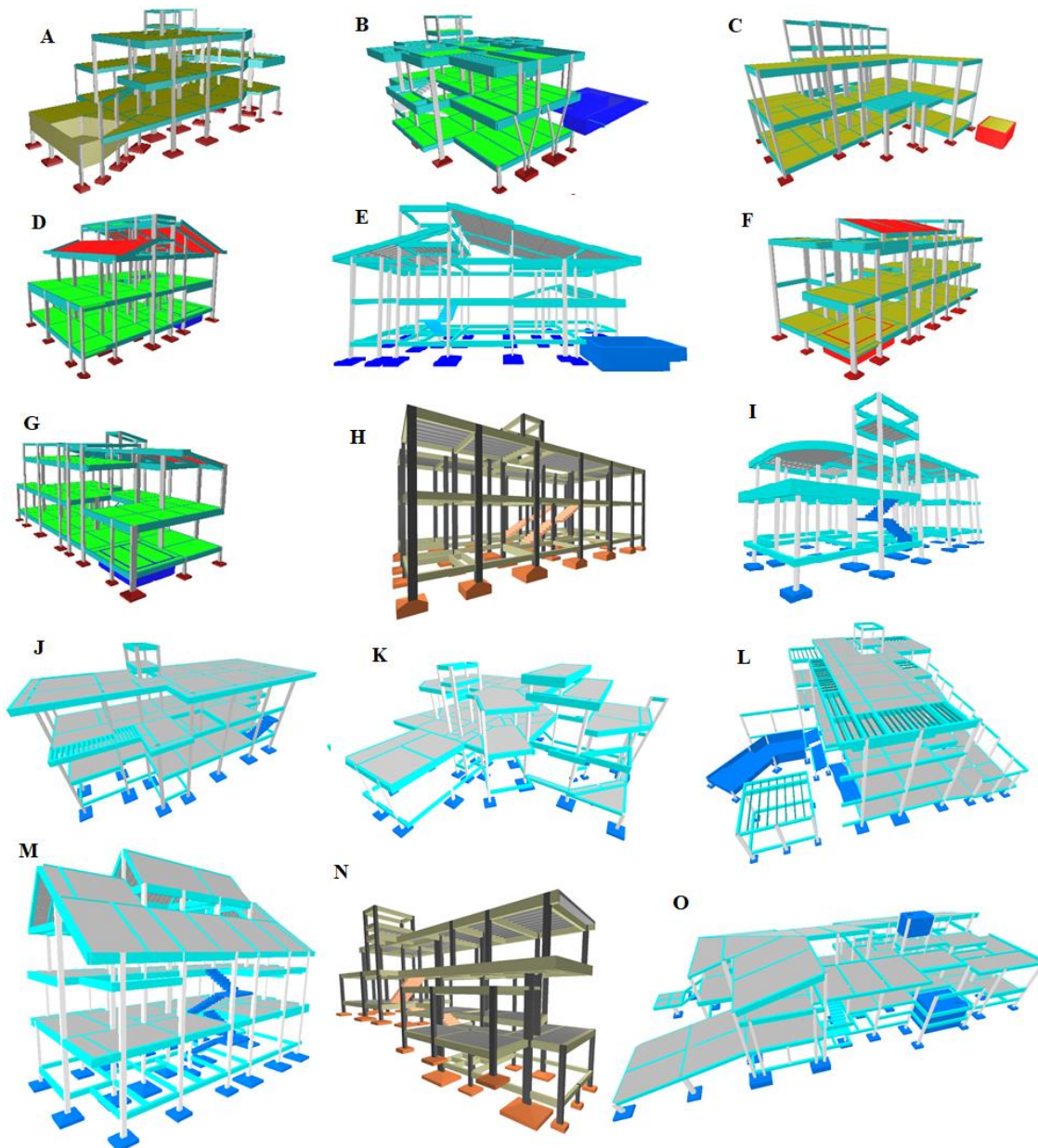


Figura 1 – Perspectivas 3D das amostras analisadas.

Esses sistemas estruturais, em suas versões otimizadas, são as situações que apresentam o menor custo financeiro, dentre todas as possibilidades de lançamento estrutural compatibilizadas com as restrições arquitetônicas.

Os percentuais de consumo em relação ao custo total para as variáveis analisadas estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Índices de consumo dos sistemas estruturais analisados.

Amostra	Aço (%)	Concreto (%)	Forma (%)
A	35,07	33,38	31,55
B	33,50	33,81	32,69
C	31,85	31,82	36,33
D	34,09	32,81	33,10
E	33,10	34,07	32,83
F	33,19	34,02	32,78
G	35,26	32,40	32,34
H	32,67	36,92	30,41
I	33,23	35,50	31,26
J	31,86	38,48	29,66
K	36,49	33,57	29,94
L	36,79	36,03	27,18
M	39,43	34,91	25,67
N	31,39	39,37	29,24
O	37,51	33,09	29,41
Média	34,36	34,68	30,96

Na Tabela 4, observou-se uma tendência de uniformização do percentual de consumo em relação ao custo final das variáveis aço, concreto e formas. Para o consumo de concreto (m³), aço em (kg) e área de forma (m²), têm-se as médias de 34,36%, 34,68% e 30,96%, respectivamente.

Os parâmetros de custo e consumo de materiais por metro quadrado das amostras analisadas podem ser observados na Tabela 5 que segue.

Tabela 5 – Consumo de materiais por metro quadrado.

Amostra	Custo (R\$/m²)	Aço (Kgf/m²)	Concreto (m³/m²)	Forma (m²/m²)
A	565,41	26,33	0,380	2,38
B	417,80	18,58	0,284	1,82
C	388,23	16,42	0,249	1,88
D	449,73	20,36	0,297	1,98
E	473,17	20,80	0,325	2,07
F	378,88	16,70	0,259	1,66
G	437,08	20,46	0,285	1,88
H	329,13	14,28	0,245	2,22
I	296,06	13,07	0,212	2,06
J	252,95	10,70	0,196	1,67
K	334,81	16,22	0,226	2,23
L	334,22	16,33	0,242	2,02
M	354,07	18,54	0,249	2,02
N	318,41	13,27	0,252	2,07
O	276,59	11,72	0,184	1,80
Média	373,77	16,92	0,259	1,98

Os dados referentes ao custo da estrutura por metro quadrado apresentados na Tabela 5 são compatíveis o Custo Unitário Básico (CUB) para projetos residenciais de padrão alto (R-8). Observa-se que, em geral, o custo da estrutura fica entre 20 a 30% do custo total. Assim, tomando o valor do CUB para o mês de janeiro de 2018, que foi de R\$1.603,95/m², tem-se o intervalo de estrutura de R\$320,79/m² a R\$481,20/m². Esse valor é calculado em conformidade com a NBR 12721 (ABNT, 2006), através do Sindicato da Indústria da Construção Civil de Pernambuco – SINDUSCON-PE.

Analisando os valores médios apresentados na Tabela 5, observou-se que os dados condizem com o apresentado na literatura, com exceção do consumo de concreto das amostras A e E. Tal fato reside na utilização da piscina de grande área e das lajes de piso, cujo valor do volume de concreto foi contabilizado no cálculo. Usualmente, o piso do térreo das residências é realizado de concreto simples com espessura média de 7 cm. Situações análogas ocorrem nas amostras I, J, N e O, onde nesses casos houveram divergências no consumo de aço. Isso se deu devido a área total de estrutura considerada ser maior, pois levou em consideração fatores como rampas e lajes de piso. Nas amostras I, J e O, o custo do m² ficou abaixo do intervalo de referência. As causas dessas reduções justificam-se, dentre outras, pela não consideração de reservatórios de concreto, rampas e lajes de piso como área útil na composição do CUB.

Outro fato que se observa é a diferença do custo final entre os modelos A e C. A leve diferença de áreas entre esses dois modelos não é justificativa para apresentar uma discrepância da ordem de 33,29% no custo final, o que despertou algumas considerações sobre as possíveis causas. Ao analisar esses modelos, alguns pontos podem ter contribuído para esse aumento, a saber: foi constatado que o modelo C apresenta arquitetura mais simplificada, com vãos máximos em torno de quatro metros; primeiro andar possui compatibilidade entre paredes com o térreo, onde o alinhamento evita o consumo mais elevado de aço com armadura de suspensão ou vigas de transição; e a escada do tipo fundo plano ser mais econômica se comparada à escada plissada, utilizada na amostra A. Variáveis que, se forem levadas em consideração no momento da concepção arquitetônica, possibilitam grande economia no projeto estrutural.

A amostra E obteve um custo final de 11,83% superior à amostra F e 9,12% em relação a amostra B, mesmo com área 9,18% e 2,85%, respectivamente, inferior. Mesmo caso para comparação das amostras J e K. As possíveis causas dessa divergência são as mesmas descritas nas situações anteriores.

Desse modo, verifica-se que há situações em que a complexidade da arquitetura não permite que sejam adotadas soluções mais econômicas. Logo, fica evidente a influência da arquitetura no custo final do projeto estrutural, bem como o papel da otimização nesse aspecto, visto que os resultados encontrados proporcionaram reduções no consumo das variáveis analisadas, gerando economia da obra como um todo.

Conclusões

Após análise de todos os modelos em estudo, chegaram-se as seguintes conclusões:

- A arquitetura é ponto fundamental na concepção de um sistema estrutural que gere economia para o usuário final, pois as disposições dos elementos estruturais seguem o que foi definido no projeto arquitetônico, pelo que quanto mais complexa for a arquitetura, maior será o consumo das variáveis em estudo.

- A experiência e consciência econômica do calculista também influi para a concepção de um sistema estrutural que seja compatível com a arquitetura e os demais projetos, bem como sua sensibilidade e percepção mais aguçada em adotar um maior número de soluções estruturais viáveis para cada projeto.
- A realização da otimização deve ser uma constante nos projetos de estruturas, pois é possível ter uma redução significativa no consumo dos materiais e sua consequente redução de custos.
- O processo iterativo durante a otimização deve seguir um ciclo de repetições até que o ponto ótimo seja alcançado, não tendo definido, portanto, um número mínimo ou máximo de iterações.
- Ficam estabelecidos índices médios de consumo para residências unifamiliares de alto padrão em que a área de fôrmas, volume de concreto e aço obedecem a relação de aproximadamente 34,36%, 34,68% e 30,96%, respectivamente.
- O engenheiro deve incluir, em sua rotina de trabalho, ações contínuas para elaborar as estruturas com foco na melhor solução possível, garantindo os aspectos de segurança, economia e qualidade.

Referências

- ALTOQI, Eberick V9. Disponível em: <www.altoqicom.br>. Acesso em 28DEZ2017.
- ALVA, G. M. S. Concepção estrutural de edifícios em concreto armado. Departamento de estruturas e construção civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12721: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios. Rio de Janeiro, 2006.
- BARBOZA, M. R. Concepção e análise de estruturas de edifícios em concreto armado. FAPESP, Processo N° 07/50606-1. Universidade Estadual Paulista. Departamento de Engenharia Civil. Bauru, 2008.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. 3ª Ed. São Carlos: Edefscar, 2013.
- EMPRESA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA. Tabela de preços para contratação de obras e serviços de engenharia. Recife, 2014.
- KIMURA, A. informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. São Paulo: Pini, 2007.
- MATTOS, A. D. Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentista, estudo de caso, exemplos. 1ª Edição. São Paulo: PINI, 2006.
- SANTOS, L. M.; FRANÇA, R. L. S.; HISHITANI, H.; MACHADO, C. P. Projeto completo de um edifício de concreto armado. Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE). São Paulo, 2001.
- SILVA, M. C. B. Estrutura na arquitetura de edifícios. PUC. Departamento de Artes e Arquitetura, Goiânia, 1999.
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE PERNAMBUCO. Custos Unitários Básicos de Construção (ABNT NBR 12721:2006 – CUB 2006). Disponível em: <www.sindusconpe.com.br> Acesso em 01MAR2018.
- SOARES, R. C.; DEBS, A. L. H. C. Otimização de seções transversais de concreto armado sujeitas à flexão: aplicação a pavimentos. Cadernos de Engenharias de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 1999.