

13ª Conferência Internacional da LARES

Centro Brasileiro Britânico, São Paulo - Brasil
11, 12 e 13 de Setembro de 2013



O MÉTODO DO CUSTO UNITÁRIO GEOMÉTRICO E O SEU POTENCIAL DE USO NO MERCADO IMOBILIÁRIO

Flávia Lima¹, Gilson Lima², Ricardo Naveiro³, Francisco Duarte⁴

¹ COPPE - Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rua Presidente Carlos de Campos 183/605, Laranjeiras, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. flavia.lima@cugconsultoria.com.br

² Faculdade de Engenharia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
limagilson@yahoo.com.br

³ COPPE - Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio de Janeiro -
fjcmduarte@gmail.com

⁴ COPPE - Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio de Janeiro -
ricardo.naveiro@poli.ufrj.br

RESUMO

Projetos com característica geométricas diversas, mesmo que com mesma tipologia, padrão de acabamento e área construída, apresentam custos unitários de execução variados. O Custo Unitário Geométrico (CUG) é um método recém desenvolvido para identificar essa variação e oferecer estimativas mais precisas nas fases preliminares do desenvolvimento do projeto. O método utiliza a regressão linear e a modelagem BIM para a construção de modelos de estimativa que considerem a influência das características geométricas do projeto nos seus custos unitários e totais, de forma simultânea ao seu desenvolvimento.

O modelo piloto construído com base da amostra de dados do sistema de informação de custos CUB (Custo Unitário Básico) estabelecido na norma ABNT NBR 12721 propicia um melhor enquadramento do projeto que se quer orçar entre os dezenove custo unitários divulgados mensalmente pelo Sinduscon, não pela tipologia, mas pelas características geométricas dos projetos, tais como forma e altura do edifício e seus compartimentos, grau de compartimentação e densidade de áreas molhadas, além do padrão de acabamento, resultando estimativas mais aderentes à realidade do projeto.

A construção de modelos com base nos dados históricos das empresas construtoras podem contemplar a realidade de consumo e produtividade de sua equipe de obra, o desempenho do seu setor de suprimentos nas compras e contratos de serviços firmados, a política de remuneração dos seus recursos humanos e ainda seus custos fixos praticados, sejam diretos ou indiretos, resultando estimativas mais realistas e completas capazes de balizar decisões mais seguras na fase de concepção e estudo de viabilidade.

Por outro lado, modelos construídos com base nos dados históricos de empresas ou órgãos da Administração Pública promotores de licitações de projetos podem resultar em estimativas mais realistas e completas das soluções apresentadas. A consideração do custo na análise multicritério das propostas

13ª Conferência Internacional da LARES

Centro Brasileiro Britânico, São Paulo - Brasil

11, 12 e 13 de Setembro de 2013



propicia a economia de recursos públicos enquanto a eliminação do certame das propostas incompatíveis com os recursos disponíveis protegem o empreendimento do estouro de orçamento

Palavras-chave: CUG, Estimativa de custo, Estudo preliminar, Regressão linear, BIM.

13ª Conferência Internacional da LARES

Centro Brasileiro Britânico, São Paulo - Brasil

11, 12 e 13 de Setembro de 2013



THE GEOMETRIC UNIT COST METHOD AND ITS POTENTIAL USE IN THE REAL ESTATE MARKET

ABSTRACT

Projects with different geometrical characteristics, even with the same type, standard of finish and construction area, shows varied execution unit costs. The Geometric Unit Cost (CUG) is a newly developed method to identify this variation and provide more accurate estimates in the preliminary stages of project development. The method uses linear regression modeling and Building Information Modeling (BIM) to build estimation models that consider the influence of the geometric characteristics of the project to their unit and total costs, simultaneously with its development.

The pilot model built based on the sample data from the costs information system CUB (Basic Unit Cost) established in ABNT NBR 12721 provides a better framework for the project that wants to budget between the nineteen unit costs published monthly by Sinduscon, not by typology, but by the geometric characteristics of the projects, such as shape and height of the building and its compartments, degree of fragmentation and density of wet areas, as well as constructive pattern, resulting estimates conform to the reality of the project.

Models based on historical data from the construction companies can contemplate the reality of the consume and productivity of your team work, the performance of your supplies sector in purchases and service contracts, the human resources standard payment system and their fixed costs, whether direct or indirect, resulting more realistic estimates, and able to beacon safer decisions in the design phase and financial valuation studies.

In the other hand, models based on historical data of public companies that provides projects bidding can result in more realistic and complete estimates of the solutions presented. The cost consideration in the multi-criteria analysis provides the economy of public resources while eliminating from the bidding proposals incompatible with the resources available protects the enterprise budget overruns.

Key-words: CUG, Cost estimatting, Early design, Linear regression, BIM.

1. INTRODUÇÃO

No início do processo de desenvolvimento de um produto até 90% dos custos finais de execução são comprometidos (ROZENFELD *et al*, 2006), o que influencia diretamente o desempenho do negócio em questão. No entanto, nesta fase as ferramentas e métodos para orçamento adotados não são capazes de estimar esses custos finais com a precisão e a agilidade desejáveis. O método do Custo Unitário Geométrico foi desenvolvido com o objetivo de responder à esse problema aliando agilidade e precisão na estimativa de custos na fase inicial do desenvolvimento de projetos, considerando nessa estimativa a produtividade e os custos indiretos da empresa e as características do projeto em desenvolvimento. O desenvolvimento do método partiu de um modelo piloto, baseado na amostra de dados do sistema de informações de custo CUB da Norma NBR 12721 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). O modelo piloto, herda os problemas da base que o originou mas serve de guia para o desenvolvimento de variados modelos, com base em novas amostras de projetos e aplicabilidade na estimativa de custos por empresas construtoras, incorporadoras e órgãos públicos. O artigo inicia-se com uma análise crítica dos métodos de estimativa de custo disponíveis, apontando suas vantagens e os limites de sua utilização. Em seguida é apresentado o método do Custo Unitário Geométrico e suas vantagens. Na sequência é apresentada a metodologia desenvolvida a partir da construção do modelo piloto. Por fim, trata-se do potencial da metodologia desenvolvida apresentando-se os produtos resultantes e sua aplicabilidade no mercado imobiliário.

2. UMA ANÁLISE CRÍTICA DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DISPONÍVEIS NA FASE INICIAL DOS PROJETOS

2.1. Estimativa por Quantificação

O orçamento quantitativo, que multiplica quantidade de unidades pelo custo unitário de cada insumo, tem sua precisão proporcional à quantidade de informação disponível, ou seja, ao grau de detalhamento do projeto, que no início do processo é invariavelmente baixo. A composição de custos unitários agrupa insumos (produtos e serviços) em pacotes permitindo o orçamento de projetos menos detalhados. No entanto, essa composição carrega consigo uma estimativa de consumo dos insumos para cada pacote de serviços, e com ela algum grau de imprecisão. Essa composição se dá em níveis, com grau de imprecisão crescente conforme pode ser observado na fig. 1. Quando o projeto é ainda pouco detalhado os pacotes de serviços precisam ser gerais (vedações, estrutura, instalações, etc) e com isso o grau de estimativa de consumo e de imprecisão se eleva. Essa composição pode se elevar até o nível da construção, em que o custo unitário é relativo a uma unidade de área construída.

O método de composição de custo unitário CUB (Custo Unitário Básico) foi instituído pela lei federal 4.591/1964 e normatizado pela Norma NBR 12721/2006 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), sendo os seus custos unitários divulgados mensalmente pelo Sindicato da Construção Civil (Sinduscon) de cada Estado. A composição de custos no nível da construção é uma alternativa para a estimativa de custos nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos da Construção Civil, quando o grau de detalhamento é baixo. No entanto, ao elevar o nível da composição até a construção, além da estimativa de consumo dos insumos para a execução de um determinado serviço (que depende de quem/como executa), passamos a lidar também com uma estimativa do quantitativo de serviços necessários para a execução de 1 metro quadrado da construção (que depende das características do projeto). A fim

de reduzir as incertezas em relação a esse quantitativo, as composições do CUB são feitas por tipologia

Figura 1: Os níveis da composição de custo

| Item elementar | Composição nível 1 | Composição nível 2 | Composição nível 3 | Composição nível 4 | Composição nível n |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--|---|--|--------------------|
| Cimento | Argamassa 1:8 (RV 05.10.0071 (A)) | Alvenaria de bloco de concreto (AL 05.25.0050 (/)) | | Alvenaria de bloco de concreto com revestimento em argamassa e pintura | |
| Areia | | | | | |
| MO servente | | | | | |
| Encargos sociais + EPI + Ferramentas | | | | | |
| Perda em areia | | | | | |
| Perda em cimento | | | | | |
| Tijolo | | | | | |
| MO pedreiro | | | | | |
| MO servente | | | | | |
| Encargos sociais + EPI + Ferramentas | | | | | |
| Cimento | Argamassa 1:3 (RV 05.10.0059 (A)) | Chapisco (RV 10.05.0050 (/)) | Emboço com chapisco (RV 10.05.0106 (A)) | | |
| Areia | | | | | |
| MO servente | | | | | |
| Encargos sociais + EPI + Ferramentas | | | | | |
| Perda em areia | | | | | |
| Perda em cimento | | | | | |
| MO pedreiro | | | | | |
| MO servente | | | | | |
| Encargos sociais + EPI + Ferramentas | | | | | |
| Cimento | | | | | |
| Areia | | | | | |
| MO servente | | | | | |
| Encargos sociais + EPI + Ferramentas | | | | | |
| Perda em areia | | | | | |
| Perda em cimento | | | | | |
| MO pedreiro | | | | | |
| MO servente | | | | | |
| Encargos sociais + EPI + ferramentas | | | | | |
| Lixa | Pintura (PT 05.15.0153 (A)) | | | | |
| Massa | | | | | |
| Tinta | | | | | |
| Selador | | | | | |
| MO pintor | | | | | |
| MO servente | | | | | |
| Encargos sociais + EPI + ferramentas | | | | | |
| | | | | | |

Imprecisão da estimativa

Elaborado pelos autores com dados do Sistema SCO-RIO (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2012)

A composição por tipologia é falha quando se faz necessário estimar os custos de uma edificação que não se enquadre dentre as tipologias disponíveis, impedindo o adequado enquadramento do projeto nas opções de custos unitários divulgados. Essa situação é comum a diversos programas como escola, universidade, academia de ginástica, hotel, shopping, e até mesmo aos programas residencial e comercial, quando não se enquadram exatamente nas características das tipologias previstas nos sistemas de informação de custo disponíveis. No entanto, salvo em edificações com instalações complexas como hospitais, fábricas etc, o que diferencia todas essas tipologias é principalmente o nível de compartimentação, a proporção entre área molhada e construída e outras proporções entre os elementos da edificação em função das diferentes formas e alturas, tanto do edifício quanto de seus compartimentos.

Vale lembrar ainda que mesmo projetos que se enquadrem na mesma tipologia podem apresentar diferenças significativas nessas proporções que, fazem variar o seu custo do metro quadrado de área construída. Tomemos como exemplo a tipologia R8N do sistema CUB, que caracteriza-se como um edifício residencial de 8 pavimentos com padrão construtivo "normal". O projeto padrão dessa tipologia possui um pavimento tipo com 4 unidades de 3 dormitórios e 3 banheiros (sendo 1 suíte, 1 social e 1 wc). Na mesma tipologia se enquadrariam diversos projetos de edifício residencial de 8 pavimentos com padrão construtivo "normal", mas cujas demais características poderiam variar bastante e com elas as proporções e os custos unitários. Seria o caso de um projeto com pavimento tipo com 2 unidades de 2 dormitórios e 3 banheiros (sendo 1

suíte, 1 social e 1 wc) ou ainda outro com pavimento tipo com 8 unidades de 1 dormitório e 2 banheiros (sendo 1 suíte e 1 lavabo).

Assim, o sistema de composição de Custo Unitário Básico (CUB) é incompleto e, portanto, pode ser falho pois não é capaz de considerar as características já conhecidas do projeto em sua estimativa. Além disso, o sistema exclui de sua estimativa os custos indiretos e considera os custos de produção como uma constante entre diferentes empresas. Uma composição de custo da construção próprio de uma determinada empresa resolveria o problema da estimativa da quantidade de insumos necessários para uma unidade de serviço, já que basear-se-ia na produtividade daquela empresa. Eventualmente poder-se-ia ainda incluir os custos indiretos nessa composição reduzindo ainda mais os erros e incertezas. No entanto, os erros oriundos da estimativa da quantidade de serviços necessários para uma unidade de área da construção (que varia com o projeto) seria ainda um problema não solucionado e aparentemente sem solução possível já que o nível de detalhamento nas fases iniciais é muito baixo, exigindo composições no nível da construção.

2.2. Estimativa por Comparação

Uma alternativa à estimativa por quantificação é a estimativa por comparação. Na estimativa por comparação, que compara uma ou mais dimensões características do projeto cujo custo se quer determinar com as mesmas dimensões de um ou mais projetos de referência, não há relação entre o nível de desenvolvimento do projeto e o grau de erros e incertezas da estimativa, bastando que a dimensão característica comparada já seja conhecida. O fator determinante para a precisão da estimativa é a qualidade das informações dos projetos de referência. Ou os projetos de referência devem ser o mais parecido possível com o projeto em desenvolvimento ou o efeito da variabilidade das dimensões características deve ter sido efetivamente considerado a partir de um estudo de amostra representativa composta por projetos de referência onde o projeto em desenvolvimento tenha características mais próximo possível do centro do espaço amostral.

O método da comparação para a identificação de custo é normatizado pela Norma NBR 14635-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011), que prevê a utilização de variadas técnicas para o tratamento dos dados. O ponto falho de sua utilização pode ser a dimensão característica comparada normalmente utilizada: a área de construção, assumida como diretamente proporcional ao custo de construção. Diferentes soluções de projeto apresentam diferentes custos unitários de construção, que resultam diferentes custos totais, mesmo para projetos de igual área construída. Assim como no método da quantificação, a comparação com projetos de mesma tipologia reduz o problema, mas encontra as mesmas dificuldades de enquadramento descrita anteriormente já que projetos de mesma tipologia podem apresentar variados custos unitários.

Já na comparação composta, onde o projeto é decomposto em partes e o custo total é a soma dos custos de cada uma delas, estimados por comparação, a precisão se eleva devido a uma maior semelhança com projeto de referência, mas a inadequação da área de construção como característica comparada se mantém. Um exemplo prático é a decomposição de um projeto em desenvolvimento em fundação, construção e acabamento e a comparação de cada parcela com diferentes projetos de referência: um de mesmo tipo de solo para a estimativa do custo de fundação, um de mesma tipologia para a estimativa do custo de construção e um de mesmo padrão construtivo para a estimativa do custo de acabamento.

2.3. Precisão X Agilidade

Algumas empresas, a fim de reduzir o grau de incertezas de suas estimativas buscam resolver o problema da falta de detalhamento do projeto avançando com seu desenvolvimento para que se tenha uma estimativa mais precisa. Essa postura, no entanto, tem consequências como o alto investimento no desenvolvimento de projetos que podem acabar cancelados e o tempo necessário para esse desenvolvimento, muitas vezes não disponível em um mercado de forte concorrência para a aquisição de terrenos.

No cenário atual o empreendedor imobiliário precisa escolher entre trabalhar com estimativas pouco precisas e, conseqüentemente, em negócios de alto risco ou fazer altos investimentos no desenvolvimento de projetos que podem não se concretizar, perdendo agilidade nos estudos de massa e de viabilidade e, com isso, se prejudicando na disputa por terrenos.

3. O MÉTODO CUG

Neste cenário, o método do Custo Unitário Geométrico surge como solução para aliar agilidade e precisão na estimativa de custos na fase inicial do desenvolvimento de projetos, considerando nessa estimativa a produtividade e os custos indiretos da empresa e as características do projeto em desenvolvimento. Para tanto o método baseia-se na estimativa por comparação múltipla por regressão linear utilizando a modelagem BIM como ferramenta de apoio.

O método adota, entre as variáveis explicativas do custo unitário final, as características geométricas do projeto, que segundo nos mostra MASCARÓ (2010), são determinantes no custo unitário de cada projeto. Para que o modelo seja aplicável na fase inicial é necessário que tais variáveis explicativas sejam características do projeto já conhecidas nessa fase.

A partir do estudo de uma base de dados de projetos de referência constrói-se um modelo matemático que a represente e sirva para a estimativa de custo dos futuros projetos. O estudo utiliza a regressão linear para o tratamento estatístico dos dados, identificando os parâmetros populacionais das variáveis explicativas e testando o poder de explicação dessas variáveis.

A partir do modelo construído, basta que se informe os dados referentes às variáveis explicativas do projeto em desenvolvimento para se conhecer a estimativa de custos instantaneamente. A utilização da modelagem BIM para o estudo de massa permite que o levantamento dos dados do projeto seja automático e a estimativa ainda mais rápida. O método CUG permite, além de uma estimativa mais precisa (se comparado com os métodos de composição de custo unitário da construção ou de comparação cuja característica comparada é apenas a área construída), a agilidade necessária para o estudo de diversas soluções de aproveitamento para um terreno e seus respectivos custos, permitindo escolhas seguras já nas fases iniciais do processo.

4. O MODELO PILOTO

A metodologia para modelos CUG foi desenvolvida a partir de um modelo piloto baseado na amostra de dados do Sistema CUB. O método de composição de custo unitário de área construída CUB parte do orçamento detalhado - de projetos considerados como representativos de cada tipologia - para a determinação do custo do metro quadrado de construção, a ser adotado nas estimativas de custo dos projetos de mesma tipologia. Os projetos-padrão e seus respectivos custo unitários de área construída puderam assim compor uma amostra de dados para o desenvolvimento do método desejado. Nesta situação, os custos unitários de área construída adotados não são custos realizados, que estão sujeitos à variabilidades que independem das características do projeto variando de empresa para empresa. A adoção de custos orçados utilizando uma mesma metodologia oferece uma amostra balanceada, ideal para o

desenvolvimento de um modelo piloto. O modelo piloto desenvolvido com base nessa amostra de dados tem dupla função:

- servir de base para o desenvolvimento de novos modelos a partir de novas amostras de dados, específicos para cada necessidade a partir de dados históricos realizados;
- incrementar os métodos de composição de custo unitário de área construída existentes, corrigindo suas falhas relativas à incapacidade de considerar a influência das características geométricas dos projetos na estimativa dos seus custos.

O método de estimativa de custo pelo CUB é alvo de muitas críticas. Uma delas é sobre a inadequação dos projetos aos atuais padrões de desempenho e durabilidade mínima, impostos pelo mercado ou agora exigidos pela Norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Outra crítica é sobre as técnicas construtivas nas quais os orçamentos foram baseados, muitas já obsoletas, além de excluir de sua estimativa os custos indiretos e considera os custos de produção como uma constante entre diferentes empresas. Quanto a essas questões, o modelo CUG construído com base nos projetos e orçamentos do método CUB herda o problema, somente solucionável com a construção de modelos baseados em novas amostras para a qual o modelo desenvolvido serve de base.

Outra crítica comum ao método CUB é o questionamento sobre a representatividade dos seus projetos-padrão. Divulgados os custos unitários dos projetos de referência em cada Estado, cabe ao usuário escolher aquele cuja tipologia mais se aproxime do projeto cujo custo se quer estimar. É nesse ponto que o CUG oferece incrementos ao CUB:

- fornecendo parâmetros quantitativos para enquadrar o projeto que se quer orçar entre as opções de custo unitário disponível (sem a necessidade de os projetos terem exatamente a mesma tipologia);
- minimizando os erros de estimativa que até projetos de mesma tipologia podem apresentar, devido às diferenças entre o projeto de referência e o que se quer orçar.

O modelo piloto CUG-CUB foi desenvolvido no âmbito de uma pesquisa de mestrado em engenharia de produção na COPPE/UFRJ, concluída em junho de 2013 com base nos valores do sistema CUB de setembro de 2012 para o estado do Rio de Janeiro (LIMA, 2013). No modelo piloto, baseado em uma amostra de dezessete projetos (os desenhos de dois projetos normalizados na NBR12721 não foram localizados), o tratamento de dados por regressão linear múltipla resultou um modelo com quatro variáveis explicativas:

X_1 – variável quantitativa: área de paredes externas / área construída - relacionada à forma e altura do edifício e à altura dos pavimentos

X_2 – variável quantitativa: área de paredes internas / área construída - relacionada ao grau de compartimentação, à forma dos cômodos e à altura dos pavimentos

X_3 – variável quantitativa: área molhada / área construída - relacionada à densidade de áreas molhadas, permitindo a utilização de dados de diversas tipologias na amostra

X_7 – variável qualitativa do tipo código ajustado: padrão construtivo - relacionada à qualidade dos acabamentos (a opção pela utilização do código ajustado na variável X_7 foi devido à pequena quantidade de dados amostrais disponíveis)

O quantitativo das áreas foram levantados por meio da modelagem BIM dos dezessete projetos da amostra utilizando-se o *software Revit Architectural*. Os dados de saída da modelagem BIM foram então levados para uma planilha eletrônica onde as variáveis explicativas quantitativas foram calculadas. Em seguida foi utilizado o aplicativo TS-Sisreg para buscar transformações nas variáveis da escala original, visando encontrar modelos mais linearizados. Seguindo-se as recomendações de Silva (2000) adotou-se o coeficiente de determinação não-linear para

hierarquizar modelos de regressão com transformadas de variável dependente diferentes. No intuito de procurar modelos de transformações de variáveis mais simples, sob o aspecto de sua utilização corrente, que resultassem ainda em modelo satisfatório, conforme recomendação da Norma NBR 14653-2 (ABNT, 2011), limitou-se a transformação da variáveis conforme a seguir:

- a transformação da variável dependente em logarítmica apenas, buscando-se um resultado em que a variável dependente é explicada por um produto de fatores e, assim, o seu comportamento em relação à flutuação nos valores das variáveis independentes é de mais fácil leitura e compreensão.

- as transformações de variáveis independentes apenas em logarítmica e inversa, visto serem essas as transformações mais recorrentes em modelos de regressão, sendo as opções de transformação padrão do software TS-Sisreg e algumas vezes as únicas oferecidas em outros softwares

Com essas limitações o maior coeficiente de determinação não-linear encontrado foi 0,913293, para o modelo, que tem a função linear expressa conforme a seguir:

$$Y = 481,60837 * e^{(0,97266795 * X_1)} * e^{(0,13635413 * X_2)} * e^{(-0,003251045 * 1/X_3)} * e^{(0,99294145 * X_7)}$$

Podemos observar que neste modelo o custo é estimado por uma constante (481,60837) que é afetada por quatro fatores multiplicativos conforme a seguir:

$$FX_1 = e^{(0,97266795 * X_1)} \Rightarrow \text{que representa a influência da variável } X_1$$

$$FX_2 = e^{(0,13635413 * X_2)} \Rightarrow \text{que representa a influência da variável } X_2$$

$$FX_3 = e^{(-0,003251045 * 1/X_3)} \Rightarrow \text{que representa a influência da variável } X_3$$

$$FX_7 = e^{(0,99294145 * X_7)} \Rightarrow \text{que representa a influência da variável } X_7$$

Neste modelo:

$$\text{quando } X_7 = 0,16240504 \text{ (padrão alto), o fator } FX_7 = e^{(0,99294145 * 0,16240504)} = 1,174989;$$

$$\text{quando } X_7 = -0,45827492 \text{ (padrão baixo), o fator } FX_7 = e^{(0,99294145 * -0,45827492)} = 0,634422;$$

$$\text{quando } X_7 = 0 \text{ (padrão normal), o fator } FX_7 = e^{(0,99294145 * 0)} = 1$$

O coeficiente de determinação ajustado do modelo é de 0,906289, o que indica que cerca de 90,62 % da variação da variável dependente foi explicada pelo modelo, sendo os restantes 9,38% atribuídos a outras variáveis menos significativas, a erros de medida, contribuindo ora positiva, ora negativamente na formação do custo.

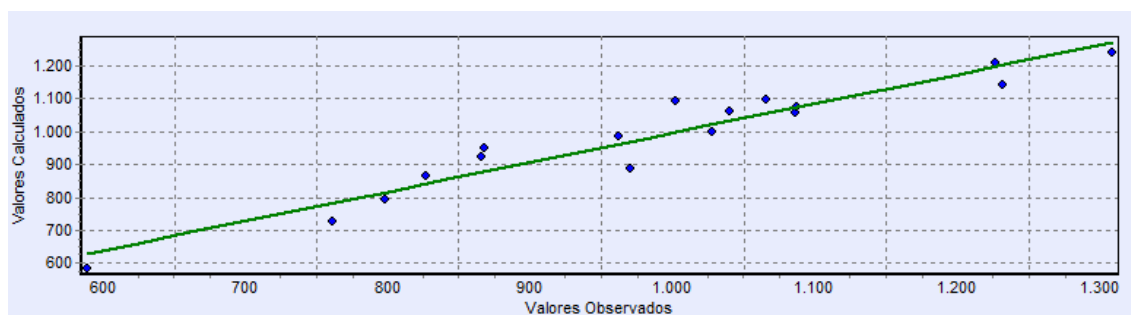
Na análise dos resíduos observou-se que a soma do quadrado dos resíduos dos valores calculados em relação aos valores originalmente observados resultou neste modelo 47.802,88, enquanto que no modelo com as mesmas variáveis sem nenhuma transformação resultou 74.625,94, confirmando o melhor ajuste das transformações adotadas. Observou-se ainda que os resíduos padronizados encontram-se no intervalo [-2;+2], com o maior resíduo/DP = 1,63. Já a forma da sua distribuição demonstrou que os erros são homocedásticos. O teste “t” de Student apresentou resultados satisfatórios, comprovando que as variáveis utilizadas estão efetivamente contribuindo na formação dos custos. Já a análise de variância apresentou F=39,68 e significância inferior a 1%, comprovando que a equação da regressão é representativa da formação dos custos sob a probabilidade mínima de 99%.

O modelo mostrou-se compatível com todas as condições esperadas, pois os custos unitários crescem à medida que aumentam as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , e a medida que o padrão construtivo

passa de baixo para normal e alto (variável X_7). A relação entre a quantidade de elementos amostrais (17) e a quantidade de variáveis dependente e independentes (5) e a quantidade de dados de mesma características nas variáveis de código ajustado (mínimo 3) indicam a inexistência de micronumerosidade no modelo. Quanto à multicolinearidade, ou seja, correlação linear elevada entre quaisquer subconjuntos de variáveis independentes, a análise de correlações entre as variáveis independentes não detectou indícios, pois o valor máximo encontrado foi de 76%, inferior ao limite de 80% recomendado pela Norma NBR-14653-2 (ABNT, 2011). O histograma de frequências mostrou que há indícios à favor da normalidade, com 70% dos resíduos situados no intervalo $[-1;+1]$ e 100% dos resíduos situados no intervalo $[-1,64;+1,64]$.

O poder de predição do modelo pode ser verificado no gráfico da figura 2, que apresenta pontos próximos da bissetriz do primeiro quadrante, revelando que os valores estimados se aproximam razoavelmente dos observados, cabendo ressaltar que o maior resíduo percentual em relação ao valor observado foi de 10,50%.

Figura 2 – Gráfico de valores observados X valores calculados pelo modelo



Fonte: LIMA, 2013

Por fim, em uma observação da influência dos fatores FX_1 , FX_2 , FX_3 e FX_7 na forma gráfica, observou-se uma certa carência de dados em algumas faixas de valores das variáveis X_1 , X_2 e X_3 , que numa modelo construído com base em uma amostra mais abrangente poderá ser evitada.

No mesmo trabalho o modelo piloto foi utilizado para estimar os custos de diferentes projetos para um mesmo programa de necessidades. Como recurso metodológico, foram analisadas diferentes soluções de projeto, propostas por diferentes arquitetos participantes de um concurso público, a fim de simular as diferentes soluções que um projetista poderia adotar para um determinado projeto. O concurso escolhido para o estudo foi o de anteprojeto de arquitetura para a construção do centro de informações do COMPERJ, promovido pela Petrobras e organizado pelo Instituto de Arquitetos do Brasil – IAB-RJ em 2008. O critério para essa escolha foi a grande variedade formal entre as soluções apresentadas pelos participantes verificada na Figura 3, consequência da pouca restrição imposta pelos parâmetros urbanísticos e pela dimensão do lote.

A partir dos dados de entrada área construída, área de parede externa, área de parede interna, área molhada e padrão construtivo, estimou-se o custo de execução do projetos 1 a 5 com base nos custos do sistema CUB para o Rio de Janeiro em setembro de 2012. A partir das informações apresentadas nas pranchas do concurso, gentilmente cedidas pelos respectivos autores, os projetos foram modelados em software BIM para quantificação automática das áreas desejadas. Os resultados obtidos foram muito interessantes. Os custos totais estimados não apresentaram relação linear com a área construída, e os custos unitários, por sua vez, variaram 43,51%, comprovando que projetos com mesma tipologia e padrão de acabamento podem apresentar

diversas características geométricas e, conseqüentemente, diversos custos unitários e totais de execução. Diante disso, conclui-se que a área construída não deve ser a única dimensão característica comparada em uma estimativa por comparação.

Figura 3 – Seis diferentes soluções formais para um mesmo programa



Fonte: Imagens de divulgação ou cedidas pelos arquitetos autores dos projetos (1- Andrade Morettin; 2- Estúdio ARKIZ; 3-Eduardo Suzuki; 4-Arquitetos Associados; 5- Leonardo Lopes; 6- Biselli & Katchborian)

5. POTENCIAL DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA

No desenvolvimento de novos modelos baseados na metodologia desenvolvida, a utilização de dados de custos realizados permite uma estimativa de custo mais próxima do real. As variáveis independentes são as características que explicam o custo de cada projeto realizado da amostra e explicarão também o custo do projeto em desenvolvimento. As variáveis explicativas devem ser limitadas em número e características ao número e características dos dados da amostra disponível. Para a variável dependente custo de execução pode-se pré-definir algumas variáveis explicativas aplicáveis, conforme a seguir:

- Área de paredes de fachada / área construída: relacionada à forma e altura do edifício e à altura dos pavimentos;
- Volume da edificação / área construída: relacionada à forma e altura do edifício e à altura dos pavimentos;
- Área de paredes internas / área construída: relacionada ao grau de compartimentação, à forma dos cômodos e à altura dos pavimentos;
- Área de paredes de contenção / área construída: relacionada à forma e profundidade dos subsolos;
- Área de projeção da edificação / área construída: relacionada à área de cobertura e de fundação;
- Área molhada / área construída: relacionada à densidade de áreas molhadas
- Área não construída / área construída: relacionada à área de pavimentação e paisagismo
- Padrão construtivo: relacionada à qualidade dos acabamentos
- Volume com condicionamento de ar / área construída: relacionada à densidade de ambientes com condicionamento de ar
- Número de paradas de elevadores / área construída: relacionada à altura do edifício e à otimização da distribuição dos elevadores; entre outras.

Com dados limitados à uma única empresa, as variabilidades que independem das características do projeto (como consumo de material, produtividade da mão de obra, custos indiretos etc)

tendem a ser equalizadas visto que costumam ser resultantes de características de gestão, comum a todos os empreendimentos daquela empresa, devendo portanto ser consideradas nas estimativas. Variados modelos podem ser elaborados destinados aos diferentes campos de atuação no mercado imobiliário, conforme a seguir:

5.1. CUG Construção

Modelo voltado para empresas construtoras, cuja variável dependente é custo unitário da área construída. A construção de modelos com base nos dados históricos das empresas resultam estimativas que incluem a realidade de consumo e produtividade de sua equipe de obra, o desempenho do seu setor de suprimentos nas compras e contratos de serviços terceirizados, a política de remuneração dos funcionários adotada e ainda seus custos fixos praticados, sejam diretos ou indiretos.

5.2. CUG Incorporação

Modelo voltado para empresas envolvidas em negócios imobiliários, tais como incorporadoras e fundos imobiliários, cuja variável dependente é o custo unitário da área vendável. A construção de modelos com base nos dados históricos das empresas resultam estimativas que incluem a realidade dos negócios imobiliários praticados por elas: a proporção entre área vendável e área construída, o padrão de qualidade dos seus produtos, o desempenho do seu setor de suprimentos nas compras e contratos de serviços terceirizados de construção, a política de remuneração dos funcionários adotada, a carga dos demais custos envolvidos na incorporação (tais como projeto, marketing, etc) e ainda seus custos fixos praticados, sejam diretos ou indiretos.

5.3. CUG Administração Pública

Modelo voltado para empresas ou órgãos da Administração Pública promotores de licitações. O desenvolvimento de modelos baseados no seu histórico de obras permitirá uma estimativa de custo realista das soluções apresentadas em licitações de projetos. Tal estimativa pode influenciar o julgamento da proposta pelo critério de “melhor técnica” ou apenas verificar se o custo da proposta estimado está compatível com os recursos disponíveis para sua execução, eliminando do certame aquelas fadadas aos estouros de orçamento. O modelo desenvolvido se presta ainda para aferição dos orçamentos executivos em licitações de obras, identificando desvios.

5.4. CUG Instalações Complexas

Desenvolvimento de modelo exclusivo para instalações complexas como hospitais e plantas industriais. Instalações complexas não podem utilizar modelos prediais convencionais, demandando modelos que consideram na sua estimativa suas especificidades por meio de variáveis explicativas que as representem.

5.5. CUG Operação

Além dos custos de execução, os custos de operação de uma edificação também podem ser estimado por meio de um modelo CUG que explique por exemplo o consumo energético em função das características geométricas da edificação. A relação entre superfície e volume e entre as áreas de ventilação/iluminação e insolação são exemplos de variáveis explicativas aplicáveis.

6. CONCLUSÃO

Projetos com mesma área construída, mesmo padrão de acabamento e mesma tipologia podem apresentar diversos custos unitários e totais de execução em função de suas características geométricas e do desempenho de seu construtor. Os métodos disponíveis para a estimativa de custos nas fases iniciais do desenvolvimento de projetos atualmente não são capazes de considerar tais influências em estimativas com a agilidade demandada nessa fase. O método do Custo Unitário Geométrico (CUG) foi desenvolvido para suprir essa carência. A amostra de dados que baseou a construção do modelo piloto CUG, foram os projetos padrão do método de estimativa de custo pelo Custo Unitário Básico (CUB). Assim, as críticas relativas à inadequação dos projetos aos atuais padrões de desempenho e durabilidade mínima e à obsolescência das técnicas construtivas nas quais os orçamentos foram baseados continuam válidas e pertinentes, da mesma forma que os serviços não contemplados no orçamento dos projetos padrão continuam de fora da estimativa. A contribuição do novo método é, no entanto, significativa, seja pela aplicação imediata dos resultados já obtidos, seja pelo seu potencial de utilização futura.

Quanto à aplicação imediata, o modelo CUG-CUB apresenta um incremento ao sistema de informação de custos CUB, propiciando um melhor enquadramento dos projetos na sua amostra de orçamentos, não pela tipologia, mas pelas características geométricas dos projetos, permitindo assim a estimativa de custo de projetos de tipologias diversas. Além disso, a simultaneidade entre projeto e estimativa com o auxílio da modelagem BIM permite que a estimativa de custos constitua também uma ferramenta de projeto, reduzindo o retrabalho oriundo do conhecimento tardio dos custos hoje observado. Se ao herdar algumas deficiências do sistema CUB, a estimativa resultante não traduz a realidade completa dos custos, sua utilização é perfeita para a análise relativa dos custos de diferentes soluções possíveis para um projeto. Se uma proposta custa 30% a mais que outra, essa proporção tende a ser mantida sejam quais forem os valores absolutos reais.

Como potencial futuro, observa-se a possibilidade de o método ser utilizado como uma ferramenta de estimativa com grande poder de predição dos custos totais. Amostras de dados com orçamentos realizados completos (incluindo todos os serviços envolvidos) e com projetos que atendam aos padrões de desempenho e durabilidade mínima executados com técnicas construtivas não obsoletas resultarão em modelos capazes de promover estimativas cada vez mais realistas e completas. A construção de modelos próprios para cada empresa com base em seus dados históricos, podem contemplar a sua realidade de consumo, produtividade e desempenho e ainda seus custos fixos diretos e indiretos, resultando estimativas ainda mais precisas.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575*: edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14653-2*: Avaliação de bens - Parte 2: Imóveis urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12721*: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

LIMA, F. *Custo Unitário Geométrico*: Uma Proposta de Método de Estimativa de Custos na Fase Preliminar do Projeto de Edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

MASCARÓ, J. *O custo das decisões arquitetônicas*. 5^a ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010.
PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Catálogo de itens Sco-Rio**. Disponível em: <<http://www2.rio.rj.gov.br/sco>>. Acesso em 06 jun. 2012.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.; AMARAL, D. *et al. Gestão de desenvolvimento de produtos*: Uma Referência para a Melhoria do Processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SILVA, S.A.P. *Seleção de Modelo por Variação Residual*. In: 2º Simpósio Brasileiro de Engenharia de Avaliações, “AVALIAR 2000”, ABDE, setembro de 2000, São Paulo, 2000.