

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE CONCRETO CONVENCIONAL E CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO: ESTUDO DE CASO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL

[\[ver artigo online\]](#)

Lara Barbosa De Souza Santos ¹

RESUMO

O presente estudo faz uma análise comparativa do custo-benefício entre o Concreto Convencional (CC) e o Concreto de Alto Desempenho (CAD). Para obtenção dos índices de consumo de concreto, aço e forma de cada caso foram realizados dois estudos da mesma estrutura alterando somente uma variável: a resistência característica do concreto à compressão (fck). No primeiro caso, aplicou-se o fck de 25 Megapascal (MPa) representando o CC e, no segundo caso, fck 50 MPa correspondendo o CAD. Para análise dos elementos estruturais foi utilizado o Software Cypecad. Constatou-se que uma das hipóteses iniciais, de que o consumo de concreto, aço e forma diminuiriam com a utilização do CAD, foi confirmada. Já a segunda hipótese, de que o CAD seria mais vantajoso financeiramente que o CC, não foi confirmada, porém foram apontados fatores que possam ter levado a essa não confirmação.

Palavras-chave: Concreto armado. Concreto convencional. Concreto de alto desempenho. Custo-benefício. Estudo de caso.

COST-BENEFIT ANALYSIS BETWEEN CONVENTIONAL CONCRETE AND HIGH PERFORMANCE CONCRETE: CASE STUDY OF A RESIDENTIAL BUILDING

ABSTRACT

The present study makes a comparative analysis of the cost-benefit ratio between Conventional Concrete (CC) and High Performance Concrete (CAD). To obtain the consumption rates of concrete, steel and shape of each case, two studies of the same structure were carried out, changing only one variable: the characteristic strength of concrete to compression (fck). In the first case, the 25 Megapascal fck (MPa) representing the CC was applied, and in the second case, 50 MPa fck corresponding to the CAD. For analysis of the structural elements, the Cypecad Software was used. It was found that one of the initial hypotheses, that the consumption of concrete, steel and form would decrease with the use of CAD, was confirmed. The second hypothesis, that the CAD would be more financially advantageous than the CC, was not confirmed, but factors that may have led to this non-confirmation were pointed out.

Keywords: Reinforced concrete. Conventional concrete. High performance concrete. Value for money. Case study.

¹ Bacharela em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Salvador UCSAL, Pós-Graduada em Estruturas de Concreto Armado e Fundações pela Universidade Cidade de São Paulo UNICID. E-mail: larabarbosass@hotmail.com



INTRODUÇÃO

A discussão sobre custo-benefício é muito utilizada em nossa vida e em várias áreas, e não seria diferente na área da engenharia civil, onde a evolução é sempre para uma melhor qualidade e comportamento das estruturas, aliado à redução de gastos.

O Concreto Convencional (CC) é atualmente um dos materiais de construção mais utilizado e difundido em todo o Brasil (TROCOLI, 2009). Segundo MEHTA (1994), é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante (cimento hidráulico + água), dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados (material granular como areia, pedregulho, pedra britada), formando um bloco monolítico. E quando são utilizadas com armaduras recebe o nome de concreto armado.

O Concreto de Alto Desempenho (CAD) é um concreto especial a fim de melhorar os resultados já existentes (GEYER e SÁ, 2005). Difere do concreto convencional quanto à adição da sílica ativa e os superplastificantes, materiais capazes de melhorar significativamente o desempenho dos concretos, alterando suas propriedades químicas e mecânicas (AÏTCIN, 2000).

Cada obra possui características particulares, e é determinante a escolha do concreto mais apropriado na execução do projeto de acordo com a necessidade existente. Seja o seu interesse, o menor custo, menor consumo de armaduras, estruturas mais esbeltas, diminuição do peso próprio da estrutura ou até mesmo aumento na velocidade de execução e maior durabilidade. Cabendo ao engenheiro estruturalista juntamente com o arquiteto e o engenheiro construtor fazer a opção mais adequada para um determinado tipo de obra.

O presente trabalho apresenta um comparativo entre o concreto convencional e o concreto de alto desempenho em um estudo de caso de um Edifício Residencial, por meio de simulações efetuadas em computador utilizando o software Cypecad versão 2014, baseada na norma Brasileira (NBR) 6118 de 2014, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os cálculos dos esforços e dimensionamentos foram obtidos por meio de listagens emitidas pelo programa que, depois de verificados e analisados, permitiram a obtenção dos quantitativos referentes ao volume de concreto, ao peso de aço e à área de formas.

1. CONCRETO ARMADO

1.1. Concreto Convencional

Segundo PINHEIRO (2007), o concreto convencional é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de: aglomerantes, agregados e água. E segundo MEHTA (1994), é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante (cimento hidráulico + água), dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados (material granular como areia, pedregulho, pedra britada), formando um bloco monolítico. E quando armado com ferragens recebe o nome de concreto armado.

1.1.1. Vantagens

De acordo com SÜSSEKIND (1980), as principais vantagens responsáveis pelo verdadeiro crescimento do concreto e domínio absoluto do mercado mundial são: economia, liberdade à concepção do projeto, segurança, por se obter no resultado final uma estrutura monolítica, manutenção e segurança pouco frequentes, devido a sua grande durabilidade e por fim, não menos importante, a resistência a: efeitos térmicos, atmosféricos e a desgaste mecânicos.

Barata (1998, p. 1), acrescenta “[...] a repercussão econômica relativa à elevada incidência de manifestações patológicas nas construções com esse material implica em vultosas somas de recursos na recuperação. ”

1.1.2. Desvantagens

Ainda segundo SÜSSEKIND (1980), a grande desvantagem do concreto armado convencional é o seu peso próprio, na ordem de 2,5 t/m³, dificuldades de demolição (reforma), baixo grau de proteção térmica, com isso exige-se, principalmente em coberturas, aplicação de produtos a evitar este problema e por último, mas não de grave proporção a inevitável fissuração do concreto nas peças em zonas tracionadas.

1.2. Concreto de Alto Desempenho

De acordo com AÏTCIN (2000), o concreto de alto desempenho, difere do concreto convencional quanto à adição da sílica ativa e os superplastificantes, alterando suas propriedades mecânicas e outras. Já segundo PINHEIRO (2007), o CAD pode ser obtido pela mistura de cimento e agregados convencionais com sílica ativa, metacaulim e aditivos plastificantes. Em vez de sílica ativa, pode-se também utilizar cinza volante ou resíduo de alto forno.

Segundo BARATA (1998), a sílica ativa é subproduto de indústrias metalúrgicas que produzem o silício metálico e o ferro silício. Já o metacaulim é um material aluminossilicoso proveniente de calcinação de argilas caulínicas de temperaturas entre 600°C e 900°C. Quanto os aditivos superplastificantes, são aditivos químicos que possibilitam a completa dispersão dos grãos de cimento, permitindo assim, obtenção de misturas fluídas com baixa relação água/cimento, garantindo incrementos substanciais da resistência e durabilidade.

1.2.1. Vantagens

Quando PINHEIRO (2007) analisa o concreto de alto desempenho, argumenta que as características deste são melhores que o concreto convencional como: resistência mecânica inicial e final elevada, baixa permeabilidade, alta durabilidade, baixa segregação, boa trabalhabilidade, alta aderência, reduzida exsudação, menor deformabilidade por retração e fluência, entre outras.

Outro fator que merece destaque como vantagem do CAD e bastante válido é quanto sua aplicação. Segundo Mendes (2002, p. 1):

As principais aplicações do CAD na construção civil têm sido em edifícios de grande altura, plataformas submarinas, pontes, viadutos, pavimentos de rodovias e pisos industriais, tanto o concreto convencional e o concreto de alto desempenho é indicado. Porém, o CAD se destaca nas estruturas mais esbeltas e arrojadas, de maiores vãos, localizadas em atmosfera densamente urbanas ou industriais carregadas de agentes agressivos. Onde o interesse é na diminuição do peso próprio da estrutura, na carga das fundações, no aumento da área útil do pavimento e/ou redução significativa dos pilares.

De acordo com GAMINO (2003), a utilização cada vez mais frequente dos concretos de alto desempenho (CAD) é centralizada fundamentalmente nos seguintes aspectos como:

- Elevada resistência à compressão que permite a diminuição de seções transversais, obtendo-se estruturas mais esbeltas e com menor peso próprio proporcionando economia de fôrmas e menores custos com a fundação;

- Deformações instantâneas menores em consequência do seu elevado módulo de elasticidade;

- Redução do fenômeno da fluência;

- Maior durabilidade;

- Menor permeabilidade do concreto endurecido contribuindo para um processo mais lento de carbonatação que provoca corrosão nas armaduras;

- Boa resistência à compressão atingida em baixas idades que pode proporcionar menores tempos de desforma e menores prazos de execução de obras em concreto armado.

Segundo BARATA (1998), o emprego de adições minerais no concreto CAD, além de melhorar suas características tecnológicas, reduz consideravelmente o consumo de cimento para uma mesma resistência ou nível de permeabilidade.

1.2.2. Desvantagens

Segundo AÏTCIN (2000), o que pode ser considerado como desvantagens e alguns motivos da não utilização deste material, é que, o concreto de alto desempenho exige maior rigor técnico e científico na sua elaboração e maior cuidado no seu preparo, exigindo uma mão de obra mais especializada, aumentando o custo da produção do produto final. PINHEIRO (2007) confirma o que o autor acima, ao mencionar que, o concreto convencional tem baixo custo de mão de obra, em geral não exige profissional com elevado nível de qualificação e também baixo custo dos materiais – água e agregados graúdos e miúdos.

Ainda segundo AÏTCIN (2000), outra desvantagem seria quanto ao valor econômico de produção, pois a seleção de materiais para a produção do CAD é mais complicada, deve ser feita cuidadosamente, uma vez que os cimentos e agregados disponíveis apresentam grandes variações nas suas composições e propriedades e ainda não existe uma sistemática clara que facilite a escolha do tipo e agregado mais apropriado.

Entretanto, segundo GAMINO (2003), o comportamento frágil deste material pode ser um inconveniente, por exemplo, em regiões de elevado risco sísmicos ou locais de ocorrência de recalques diferenciais.

1.3. Propriedades Mecânicas e Reológicas do CC e do CAD

Segundo MEHTA & AÏTCIN (1999), desempenho e durabilidade são fatores ligados entre si que determina se um material tem ou não qualidade. O desempenho do material significa seu comportamento em uso e durabilidade de um material diz respeito à conservação do desempenho deste ao longo de sua vida útil.

De acordo com Gamino (2003, p. 4), a ductilidade é:

A medida da habilidade de um material, seção, elemento estrutural ou sistema estrutural de sofrer deformações inelásticas nas vizinhanças de uma possível ruptura, sem que ocorra perda substancial de sua capacidade resistente. Ela é uma importante propriedade conferida a elementos estruturais no que diz respeito à capacidade de redistribuição de esforços quando da ação, por exemplo, de recalques diferenciais ou sismos sobre a estrutura.

Chegando a conclusão após análise através da curva do tipo tensão – deformação, que concretos com resistências superiores, possuem curvas tensão – deformação mais acentuadas e lineares quando comparados a concretos de resistências inferiores. E acrescenta, que por fim, pode-se afirmar que concretos convencionais tendem a apresentar ductilidade superior frente aos concretos de alto desempenho, salientando, que esta observação é plenamente válida somente para o material concreto, não podendo ser estendida necessariamente para peças individuais, como por exemplo, vigas de concreto armado convencional e de alto desempenho. E que, no entanto, a ductilidade é afetada diretamente por grandezas de ordem física em relação às dimensões do elemento estrutural e por grandezas de ordem mecânica no que diz respeito aos materiais componentes da estrutura

Segundo NEVILLE (2001), a durabilidade significa que uma dada estrutura de concreto terá desempenho contínuo satisfatório, para as finalidades para as quais foi projetada, ou seja, que manterá sua resistência e condições normais de serviço durante a vida útil especificada ou esperada.

A resistência e durabilidade dependem da proporção entre os materiais que o constituem. Para obtenção de um bom concreto, seja ele convencional ou de alto desempenho, devem ser efetuadas com perfeição as operações básicas de produção do material: cimento, água, agregados: miúdos (areia), graúdos (pedra) e as operações básicas de produção do concreto que são: dosagem ou traço, mistura, adensamento e cura, pois é a soma de todos esses fatores que diferenciam o CC e o CAD (PINHEIRO, 2007).

As operações básicas de produção do concreto também são essenciais para avaliação da resistência do mesmo. A dosagem ou traço é a indicação das proporções e quantificação dos materiais componentes da mistura, a fim de obter um concreto com determinadas características previamente estabelecidas. Um ponto de destaque no preparo do concreto é o cuidado que se deve ter com a qualidade e a quantidade da água utilizada. Tanto o excesso como a falta, são prejudiciais ao concreto, pois a água é a responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Falta de água deixa o concreto cheio de buracos, se sua quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e se for superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso evaporar.

A relação entre o peso da água e do cimento utilizados na dosagem é chamada de fator água/cimento (a/c). Segundo NEVILLE (1982), a relação água e agregado é essencial para avaliação da resistência, pois quanto maior a partícula do agregado, menor a área a ser molhada por unidade de massa, ou seja, maior tamanho do agregado, menor a demanda de água. Com isso reduz a relação água/cimento com conseqüente aumento de resistência, pois eles são inversamente proporcionais.

Segundo ALVES (2005), além do cuidado que se deve ter com a escolha do agregado o CAD diferencia do CC, pois na dosagem adiciona-se a sílica ativa entre 5% e 10% da massa do cimento e aditivos superplastificantes com dosagem entre 0,5% e 3% do aglomerante. A sílica ativa é uma cinza colhida nos filtros eletrostáticos dos fornos de produção do ferro silício, cujos grãos são 100 vezes maiores que o cimento, exercendo influência nas propriedades do concreto fresco e também na hidratação dos compostos do cimento. É um aproveitamento dos resíduos industriais, apresentando assim, elevado potencial ecológico a incorporação deste material, pois a utilização de um concreto que tenha caráter socioambiental é de extrema importância nos dias atuais. Os superplastificantes tornam possível a redução do fator (a/c) de 0,40 até 0,24 com misturas perfeitamente viáveis para aplicação das técnicas disponíveis nos atuais canteiros de obras.

A resistência se eleva com a sílica ativa pela maior formação de C-S-H e pela adição de superplastificantes, possibilitando a redução do fator a/c . A durabilidade é melhorada pela redução da permeabilidade e fator (a/c). E a sílica ativa não contribui para a elevação do calor de hidratação, reduz para (a/c) menor que 0,40. Concluindo que a sílica ativa aumenta a resistência, sem aumentar a liberação de calor (ALVES, 2006).

Devido a essas adições é possível obter melhores características no CAD do que no concreto tradicional como: resistência mecânica inicial e final elevada, baixa permeabilidade, alta durabilidade, baixa segregação, boa trabalhabilidade, alta aderência, reduzida exsudação, menor deformabilidade por retração e fluência, entre outras (PINHEIRO, 2007).

Segundo NEVILLE (1982), a resistência depende de apenas dois fatores: relação água/cimento como já mencionado acima e o grau de adensamento. Adensamento é a compactação da massa de concreto, procurando retirar-se dela o maior volume possível de vazios - ganho de resistência. O meio usual de adensamento é a vibração. A vibração tem o efeito de fluidificar a componente argamassa da mistura diminuindo o atrito interno e acomodando o agregado graúdo. O concreto deve ter uma boa distribuição granulométrica a fim de preencher todos os vazios, pois a porosidade por sua vez tem influência na permeabilidade e na resistência das estruturas de concreto. A baixa qualidade no processo de adensamento do concreto traz como consequência a diminuição da resistência mecânica, aumento da permeabilidade e porosidade e falta de homogeneidade da estrutura.

A cura é a denominação dada aos procedimentos a que se recorre para promover a hidratação do cimento e consiste em controlar a temperatura e a saída e entrada de umidade para o concreto (NEVILLE, 1982). A cura com água deve ser contínua e durar pelo menos sete dias, embora seja preferível chegar aos vinte e oito dias. Se a cura com água é feita adequadamente, podem ser evitados problemas que afetarão a estabilidade volumétrica e as resistências mecânicas do concreto. O não atendimento da cura acarreta diminuição da resistência final do concreto e possibilidade de aparecimento de fissuras na estrutura (AZEVEDO, 2005).

Deve-se ser ter atenção e cuidado na seleção do material e no momento da preparação do concreto, seja ele o convencional ou o de alto desempenho, pois todas essas etapas interferem no resultado, alterando suas propriedades de: resistência, durabilidade e desempenho. Quanto a valor econômico de produção, o concreto de alto desempenho é mais caro que o concreto convencional. Pois a seleção de materiais para a produção do CAD é mais trabalhosa, deve ser feita cuidadosamente, uma vez que os cimentos e agregados disponíveis apresentam grandes variações nas suas composições e propriedades e ainda não existe uma sistemática clara que facilite a escolha do tipo de cimento e agregado mais apropriado para o CAD (AITCIN, 2000).

Os aditivos embora nem sempre baratos, não representam necessariamente um custo adicional porque pode resultar economia, como, por exemplo, no custo do trabalho necessário para o adensamento, na possibilidade de redução do teor de cimento ou na melhoria da durabilidade (SILVA, 2004).

Logo, é possível notar que o concreto de alto desempenho exige maior rigor técnico e científico na sua elaboração e maior cuidado no seu preparo quando comparado ao concreto convencional (AITCIN, 2000).

A aplicação do concreto é bastante ampla variando desde a construção de edifícios, galpões, pisos industriais, rodovias, obras hidráulicas e de saneamento, a diversas estruturas. Na maioria das vezes é a necessidade do projeto que determina a escolha do concreto a ser utilizado (PINHEIRO, 2007).

2. CUSTO-BENEFÍCIO DO CONCRETO CONVENCIONAL E DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

Segundo AITCIN (1999), muitas são as vantagens que justificam o crescente emprego do CAD no setor da construção. No Brasil, é possível destacar três fatores fundamentais: a alta durabilidade, a possibilidade de se construir estruturas mais esbeltas e a resistência do material em regiões particularmente agressivas. A utilização de sílica ativa no concreto em ambientes de atmosfera marinha garante níveis de porosidade compatíveis com o ambiente para minimizar a retração hidráulica do concreto, garantindo assim maior durabilidade na estrutura.

Planejar é inerente à construção. É necessário cotejar alternativas técnicas, e o custo, hoje em dia, é um fator imprescindível para verificação da viabilidade do projeto e para a realização do mesmo. A relação custo-benefício ou RCB (em inglês, cost-benefit ratio ou CBR) é um indicador que relaciona os benefícios de um projeto ou proposta e os seus custos. Em primeira instância a utilização do concreto convencional seria mais interessante, porém quando analisado todos os fatores em conjunto não é só um fator que determina, e sim a soma de todos eles, na escolha do concreto mais apropriado.

Segundo BARATA (1998), o concreto é, indubitavelmente, um dos materiais de construção mais empregados na engenharia, por apresentar baixo custo de aquisição, flexibilidade de execução e ser resistente à água.

Algumas das vantagens em utilizar o Concreto Convencional (CC), segundo PINHEIRO (2007) seriam: baixo custo dos materiais (água, cimento, agregados graúdos e miúdos), baixo custo de mão-de-obra, pois em geral não exige profissionais com elevado nível de qualificação, gastos de manutenção reduzidos, desde que a estrutura seja bem projetada e adequadamente construída, e por fim, facilidade e rapidez de execução, pois tempo é dinheiro.

De acordo com BARATA (1998), a produção do CAD está normalmente ligada ao uso de adições minerais, que no modo geral são rejeitos, resíduos ou subprodutos de outras indústrias. Existem inúmeras indústrias de mineração e metalurgia, em todo o país, que lançam ao meio ambiente, significativas quantidades de rejeitos que causam sérios problemas de poluição e desmatamento. Baseado nisso, podemos afirmar que o CAD além das citadas tem como benefício a facilidade de obter o material que o compõe, com o aproveitamento dos resíduos das indústrias, associado a sustentabilidade do meio ambiente.

Quanto ao CAD, mesmo este tendo maior custo na produção de materiais e mão-de-obra, pois exige maior rigor técnico e seleção de materiais, os chamados custos diretos, as maiores resistências trouxeram alterações significativas no uso do material concreto. A possibilidade de formas mais esbeltas, a diminuição do volume de concreto, menor área de forma, redução de taxa de aço, economia com a manutenção, diminuição do peso próprio da estrutura ou até mesmo aumento na velocidade de execução os chamados custos indiretos, é possível graças à adoção de resistências mais elevadas tendo como resultante a viabilidade econômica (NETO, 2005). Segundo MENDES (2002), apesar do custo do CAD ser um pouco maior que o convencional, pode ser devidamente utilizado quando o benefício se torna maior que o custo.

Este trabalho teve como suporte a utilização e importância do concreto, seja ele o convencional ou de alto desempenho, em busca do aperfeiçoamento do mecanismo das estruturas frente ao interesse de menores gastos. A relação custo-benefício é importante para de fato cooperar com a aplicabilidade e viabilidade da alternativa tecnológica proposta por esta pesquisa. De nada adiantariam os avanços tecnológicos se não for possível utilizar esses recursos em prol de um custo compensador associado a um consumo em alta escala.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi realizada a análise de um modelo estrutural por método comparativo. O modelo estrutural é um edifício residencial e para efeito de comparação foi alterado somente um parâmetro, a fim de diferenciá-los, pois são inúmeros os fatores que influenciam as propriedades desse material, tais como : relação água/aglomerante; tipo e consumo de cimento; composição da mistura; tipo e quantidade de adições minerais e aditivos; tipo, granulometria, forma e dimensão máxima característica do agregado graúdo e do agregado miúdo; grau de hidratação do cimento; tipo de cura, entre outros.

A pesquisa não aborda aspectos condizentes com a estabilidade dimensional, como por exemplo o módulo de deformação, propriedade bastante influenciada pelas características do agregado graúdo.

A variável avaliada e modificada foi uma propriedade mecânica, o fck (resistência característica à compressão do concreto), partindo da necessidade de fixar parâmetros como fatores para a limitação desta pesquisa, e como consequência das maiores resistências, houve alterações nas secções dos pilares.

No primeiro momento, o fck utilizado foi de 25 MPa, o mesmo utilizado no edifício já construído, correspondendo ao concreto convencional. E no segundo momento, para o concreto de alto desempenho (CAD), o fck adotado foi de 50 MPa, com o intuito de continuar a utilizar a Norma Brasileira (NBR 6118), que limita a classe do concreto a C50.

Onde os parâmetros fixos, ou seja, aqueles que não foram modificados nas duas análises foram: sobrecarga (SCU), carga permanente (CP), cobrimentos (pilar, viga e laje), dimensões das vigas e das lajes e ação do vento, baseada na NBR 6123 de 1988. As demais ações atuantes e materiais utilizados constam no APÊNDICE A desta pesquisa.

A pesquisa experimental foi dividida em três etapas. A primeira consistiu em definir toda a estrutura do estudo de caso no software, depois de rodar, fez-se todas as verificações de segurança e análises nos Estados Limites Último (ELU) e de Serviço (ELS). A segunda constituiu na obtenção dos dados quantitativos, extraídos do programa, para assim, poder montar gráficos a fim de poder fazer análises dos índices de insumos, como concreto em m³, aço em kg e forma em m², contemplando para o objetivo principal desta pesquisa. E por fim, a terceira etapa constituiu na avaliação e julgamento da possibilidade técnica e econômica de utilização de concretos com desempenho bastante superior ao normalmente empregado.

Depois de realizados os cálculos no Cypecad, e obtidos seus índices de consumo (APÊNDICE B), foram realizados gráficos das estruturas, analisando os custos de cada uma delas. Para os cálculos de custos das estruturas foram adotados os seguintes valores²:

Concreto Convencional: R\$ 300,00/m³;

Concreto de Alto Desempenho: R\$ 500,00/m³;

Aço dobrado: R\$ 5,00/kg;

Forma para laje maciça: R\$ 40,00/m².

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar e comparar do ponto de vista técnico e econômico o uso do Concreto Convencional (CC) com o Concreto de Alto Desempenho (CAD) através de coleta de dados bibliográficos e, para apanhar os resultados do estudo de caso, será utilizado o software Cypecad.

3.1.2. Objetivos Específicos

- Investigar as potencialidades e características de cada concreto - o concreto convencional e o concreto de alto desempenho - estabelecendo correlação entre ambas.
- Fazer a análise comparativa da viabilidade técnica e econômica dos concretos: convencional e o de alto desempenho desde a utilização do material, mão de obra até o produto final.
- Definir qual o melhor concreto a ser usado através da aplicabilidade de ambos os concretos estudados.
- Avaliar o custo-benefício individualmente do Concreto Convencional e do Concreto de Alto Desempenho.

² Valores com base na região metropolitana da cidade de Salvador-BA.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Apresentação do Modelo Estrutural

Para a realização destas análises, foi utilizado o projeto de uma estrutura real, cedida pelo escritório de projetos estruturais Francisco Peixoto Engenheiros Associados. O edifício residencial analisado compõe de 18 pavimentos, sendo: subsolo, térreo, 1º andar, tipo – 2º ao 10º andar, cobertura inferior, cobertura superior, casa de máquinas, barrilete e reservatório elevado. A seguir, para uma visualização e apresentação do Modelo Estrutural analisada e trabalhada, segue os pavimentos tipos de cada caso, estrutura, que foi lançada no programa.

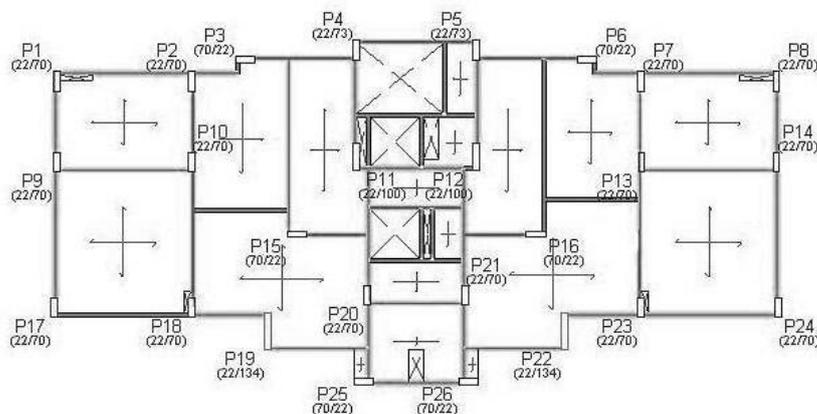


Figura 1 – Modelo Estrutural – Concreto Convencional. Fonte: Software-Cypecad.

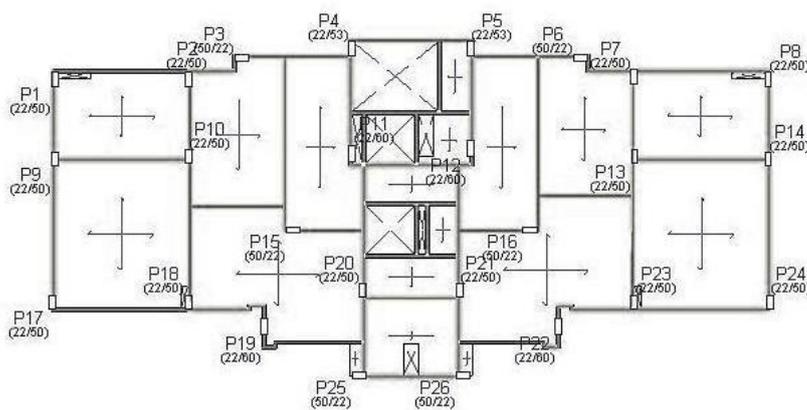


Figura 2 – Modelo Estrutural – Concreto de Alto Desempenho. Fonte: Software-Cypecad.

4.1.1. Dados Geométricos de Grupos e Pisos

Grupo	Nome do grupo	Piso	Nome piso	Altura	Cota
10	Tampa Reservatório	18	Piso 18	1.30	40.85
9	Barrilete	17	Piso 17	1.24	39.55
8	Fundo Reservatório	16	Piso 16	0.96	38.31
7	Casa de Máquinas	15	Piso 15	1.50	37.35
6	Cob. Superior	14	Piso 14	2.88	35.85
5	Cob. Inferior	13	Piso 13	2.88	32.97
4	6°A ao 10°Andar	12	Piso 12	2.88	30.09
		11	Piso 11	2.88	27.21
		10	Piso 10	2.88	24.33
		9	Piso 9	2.88	21.45
		8	Piso 8	2.88	18.57
3	2°A ao 5°Andar	7	Piso 7	2.88	15.69
		6	Piso 6	2.88	12.81
		5	Piso 5	2.88	9.93
		4	Piso 4	2.88	7.05
2	1°Andar	3	Piso 3	4.17	4.17
1	Térreo	2	Piso 2	1.40	-0.00
0	Subsolo	1	Piso 1		-1.40

Tabela 1 – Níveis dos Pavimentos. Fonte: Software-Cypecad.

4.1.2. Cobrimentos

- Pilares: 3.0 cm
- Vigas: 3.0 cm
- Lajes: 2.5 cm

4.2. Ações Consideradas

4.2.1. Verticais

Nome do Grupo	S.C.U	C. Permanentes
Cobertura, Barrilete e Reservatório	0.15	0.10
Pavimentos Tipo	0.25	0.10
Garagens e Play Ground	0.30	0.10

Tabela 2 – Ações Verticais. Fonte: Software-Cypecad.

4.2.2. Vento

- Realiza-se análise dos efeitos de 2º ordem – valor: 1.43 – aplicado como fator de majoração dos deslocamentos;

- Coeficientes de Cargas:

+X: 1.00 -X:1.00

+Y: 1.00 -Y:1.00

- Velocidade Básica: 30.00 m/s;

- Rugosidade: Categoria: III; Classe: B;

- Fator Probabilístico: 1.10;

- Fator Topográfico: +X:1.00 -X:1.00 +Y:1.00 -Y:1.00

4.3. Estabilidade Global Resultante (γ_z)

Segundo a NBR6118:2014, o coeficiente γ_z tem por principal objetivo, para efeito de cálculo, classificar a estrutura quanto à deslocabilidade dos nós; com isso, é possível avaliar a importância dos esforços de 2ª ordem globais. É determinado a partir dos resultados de uma análise linear de 1ª ordem, para cada caso de carregamento considerado na estrutura.

Seu valor é calculado e comparado com os valores limite a partir dos quais a estrutura deve ser considerada como de nós móveis. O valor de Gama-Z é definido por:

$$\gamma_z = \frac{1}{\frac{1 - \Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

Onde:

$\Delta M_{tot,d}$ – É a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem;

$M_{1,tot,d}$ – É momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for estabelecida a condição $\gamma_z \leq 1,1$.

4.3.1. Concreto Convencional – C25

Vento +X	1.064
Vento -X	1.064
Vento +Y	1.046
Vento -Y	1.046

Tabela 3 – Gama Z (γ_z) - CC. Fonte: Software-Cypecad.

Análise e Verificação:

- Vento +X e -X $\rightarrow \gamma_z = 1.064 \leq 1.1$ – OK

- Vento +Y e -Y $\rightarrow \gamma_z = 1.046 \leq 1.1$ – OK

4.3.2. Concreto de Alto Desempenho – C50

Vento +X	1.070
Vento -X	1.070
Vento +Y	1.048
Vento -Y	1.048

Tabela 4 – Gama Z (γ_z) - CAD. Fonte: Software-Cypecad.

Análise e Verificação:

- Vento +X e -X $\rightarrow \gamma_z = 1.070 \leq 1.1$ – OK

- Vento +Y e -Y $\rightarrow \gamma_z = 1.048 \leq 1.1$ – OK

5. RESULTADOS DAS ESTRUTURAS

5.1. Coletas dos Insumos

Após a análise das estruturas no software, Cypecad, foi possível extrair do mesmo os resultados dos seguintes valores dos consumos totais de aço (kg), forma (m²) e concreto (m³) de cada caso, Concreto Convencional e o Concreto de Alto Desempenho, explanados nas tabelas abaixo, para uma melhor análise quantitativa dos insumos.

Concreto Convencional	
Aço (kg)	65815
Forma (m ²)	6843
Volume (m ³)	618

Tabela 5 – Consumo Total dos Insumos do CC. Fonte: Elaborado pelo autor.

Concreto de Alto Desempenho	
Aço (kg)	58204
Forma (m ²)	6660
Volume (m ³)	519

Tabela 6 – Consumo Total dos Insumos do CAD. Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2. Percentuais de Custo dos Insumos

Com os valores retratados das tabelas 1 e 2 do Item 7.1 desta pesquisa, foi possível realizar gráficos percentuais, do custo dos insumos de cada uma das estruturas separadamente e respectivamente, concreto convencional e concreto de alto desempenho, utilizando os valores em reais (R\$), indicados no Item 6.

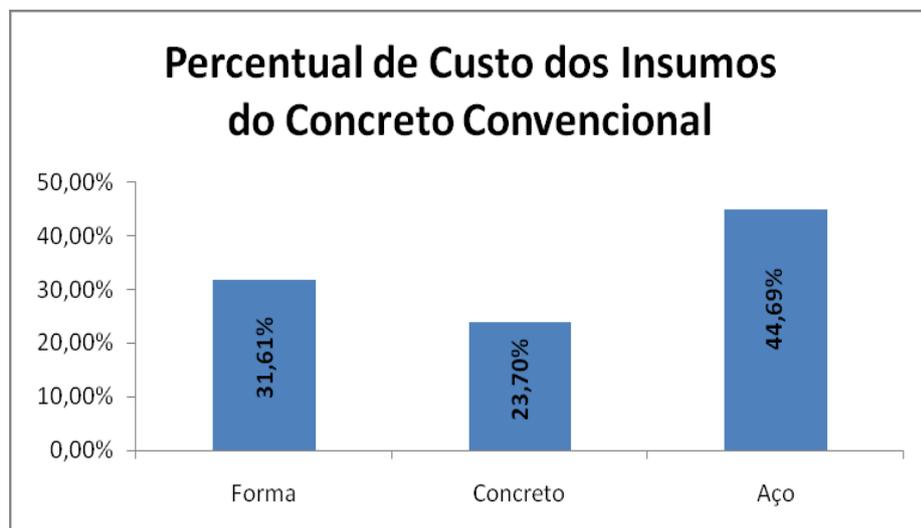


Figura 3 – Gráfico de Percentual dos Insumos do Concreto Convencional.

Fonte: Elaborado pelo autor.

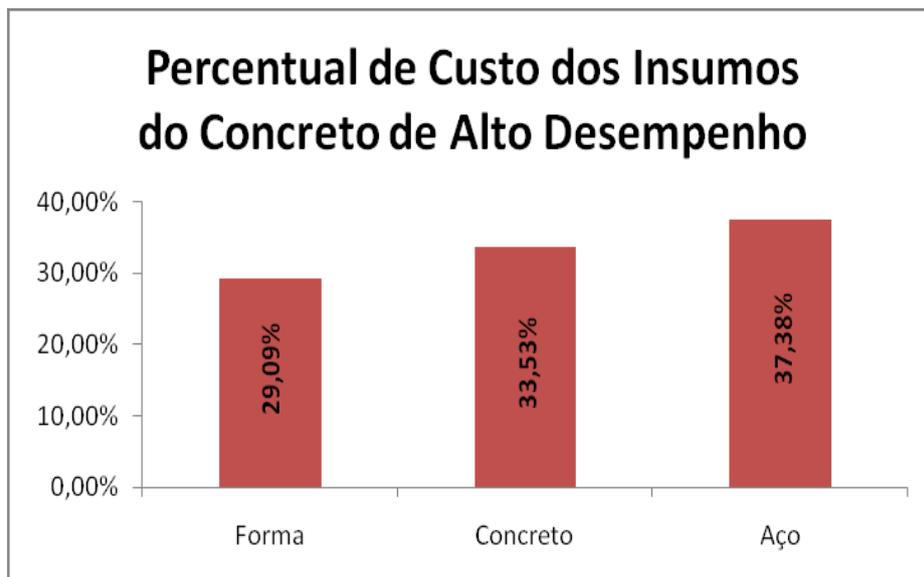


Figura 4 – Gráfico de Percentual dos Insumos do Concreto de Alto Desempenho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após analisados cada uma das estruturas isoladamente, para uma melhor análise comparativa e visualização, foi realizado gráfico dos dois casos juntos dos custos de insumos de cada concreto, como pode ser visto a seguir.

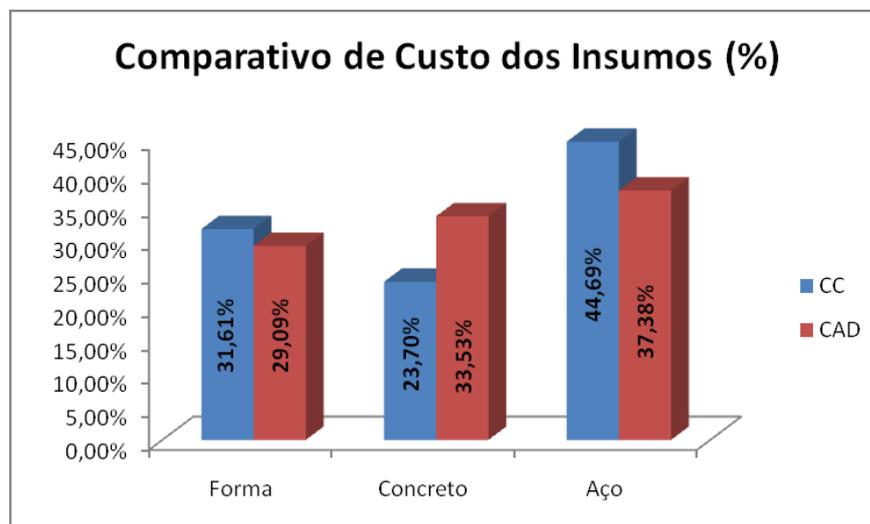


Figura 5 – Gráfico Comparativo do Custo Percentual dos Insumos entre o Concreto Convencional e o Concreto de Alto Desempenho. Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3. Custo dos Insumos em Reais por Metro Quadrado

Em teor de custos variáveis, custos que mudam de acordo com a produção ou quantidade, os materiais (forma, concreto e aço) se enquadram neste quesito, por isso a necessidade de fixar valores monetários, ver Item 6, para poder avaliar e comparar de ponto de vista financeiro a real diferença financeira entre os concretos aqui analisados. Segue na seguinte página, o gráfico comparativo do custo dos insumos em reais por metro quadrado.

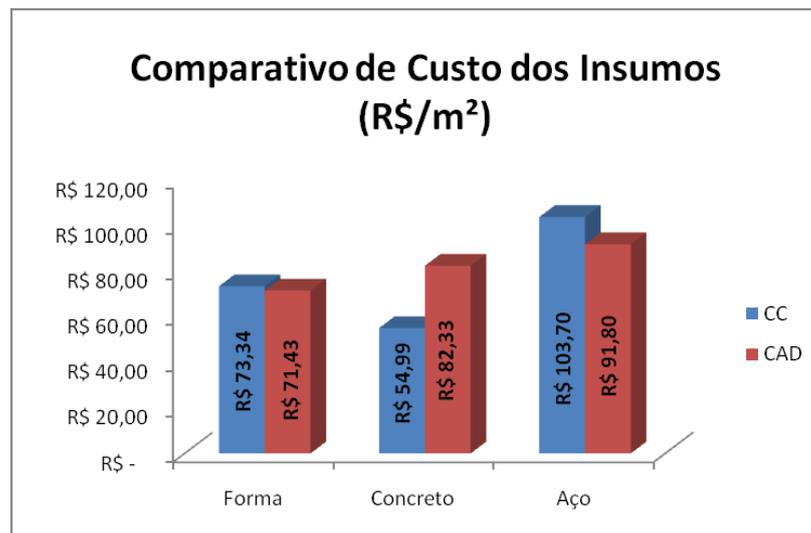


Figura 6 – Gráfico Comparativo do Custo em R\$/m² dos Insumos entre o Concreto Convencional e o Concreto de Alto Desempenho. Fonte: Elaborado pelo autor.

Com esses dados é possível fazer uma análise global dos insumos (forma, concreto e aço) que são os mais importantes nos gastos financeiros de uma obra e são os parâmetros condicionantes desta pesquisa. Ao fazer a soma destes insumos, quantificamos o gasto para cada caso (obra) analisado. Que resulta no gráfico comparativo do custo total das obras que é explanado na página seguinte (Ver Figura 7).

É válido ressaltar que a estrutura real projetada foi apenas alvo para motivação da análise de estudo aqui realizada. O custo financeiro total da obra aqui apresentada não corresponde o custo total da obra verdadeiramente construída, pois não foi levado em conta o custo de cada material utilizado na obra em que aqui discutimos, mas sim os valores abordados e retratados no Item 6.

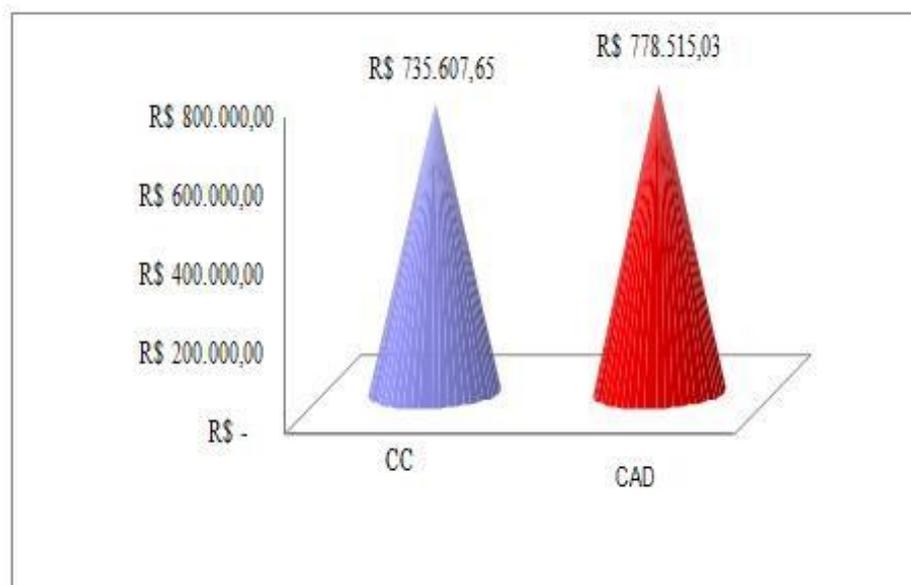


Figura 7 – Gráfico Comparativo do Custo Total das Obras. Fonte: Elaborado pelo autor.

6. ANÁLISES DOS RESULTADOS DAS ESTRUTURAS

Com base nos resultados fornecidos pelo software Cypecad e observados os gráficos resultantes gerados acima, foi possível chegar as seguintes análises:

6.1. Diferenças de Custos dos Insumos

6.1.1. Forma

O Concreto Convencional (CC) foi 2.67% mais caro que o Concreto de Alto Desempenho (CAD), correspondendo uma diferença de custo de R\$1,90/m² e totalizando uma diferença de gasto final na obra de R\$ 6.036,33.

É indiscutível a importância de se obter uma menor quantidade, em m², necessária a utilizar de forma em uma obra, pois são estruturas provisórias e nem sempre podem ser reutilizadas. Atualmente, com o alto custo da madeira, a necessidade de maior qualidade (controle tecnológico dos materiais), a redução das perdas (materiais e produtividade da mão-de-obra), redução de prazos de entrega (competitividade) etc., é imperioso que o engenheiro dê a devida importância ao dimensionamento das fôrmas e escoramentos provisórios considerando os planos de montagem e desmontagem e o reaproveitamento na mesma obra.

6.1.2. Aço

Ao analisarmos o aço, o Concreto Convencional (CC) foi de 12.96% mais caro que o Concreto de Alto Desempenho (CAD), correspondendo assim, uma diferença de custo de R\$11,90/m². Totalizando uma diferença de gasto final na obra de R\$ 37.727,05.

A diminuição da quantidade de aço, em kg, na obra acaba acarretando em outros fatores aqui não possíveis de serem contemplados quantitativamente, mas terá como consequência: menor custo com mão-de-obra e maior rapidez na construção.

6.1.3. Concreto

Já ao analisarmos o concreto, o de alto desempenho (CAD) foi 49.71% mais caro que o convencional (CC). Correspondendo uma diferença de custo de R\$ 27,34/m², totalizando uma diferença de gasto final na obra de R\$ 86.670,75.

Porém ao analisarmos o volume de concreto, o Concreto de Alto Desempenho (CAD) foi de 19,08% menor que o utilizado na estrutura feita com o Concreto Convencional (CC). Sendo assim, sabemos que existirá, conseqüentemente, outras reduções de custo na obra como: redução no tempo de execução, redução de custos com os funcionários (mão de obra), com alugueis e ou compra de formas, equipamentos e diversos outros ganhos de produtividade.

6.2. Diferença do Custo Total da Obra

Com isso foi possível contabilizarmos a soma deste três insumos aqui analisados, forma, aço e concreto e chegamos ao seguinte resultado quantitativo: a estrutura em que foi utilizado o Concreto de Alto Desempenho (CAD) foi 5,83% mais caro do que a estrutura que foi utilizado o Concreto Convencional (CC). Correspondendo assim, uma diferença no custo total entre as duas obras de R\$ 42.907,38. Valor este que, pode ser facilmente abatido em outras atividades existentes em uma obra como por exemplo as já mencionadas aqui nesta pesquisa no Item 8.1. Porém deixaremos para nos aprofundarmos e listar estes conceitos adiante.

6.3. Análise dos Pilares do Pavimento Tipo

Através da visualização da planta baixa do pavimento tipo de cada estrutura, onde constam as dimensões dos pilares utilizados, é possível perceber que há uma grande redução da dimensão deste elemento estrutural no edifício em que se usou o concreto de alto desempenho, como podem ser observados nas Figuras 8 e 9.

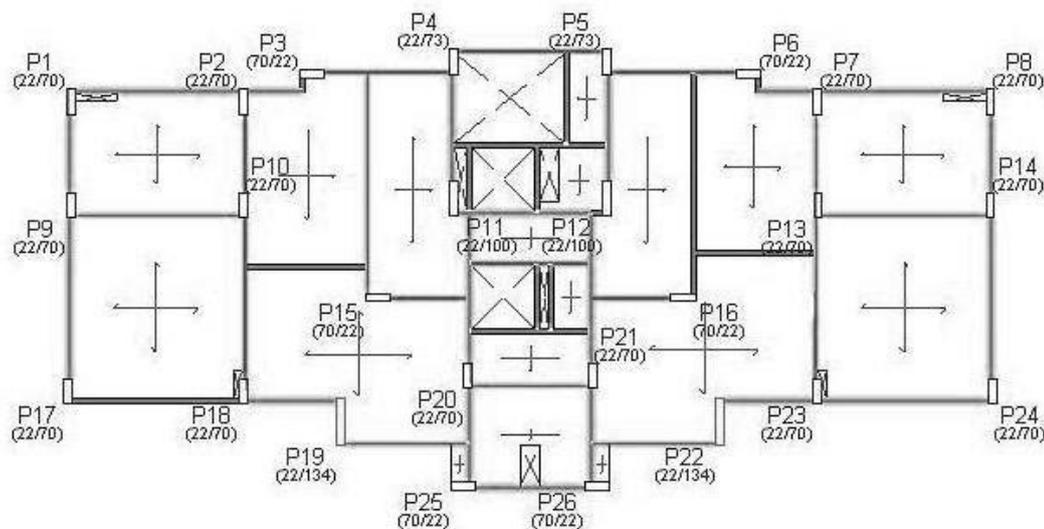


Figura 8 – Dimensão dos Pilares - Concreto Convencional. Fonte: Software-Cypecad.

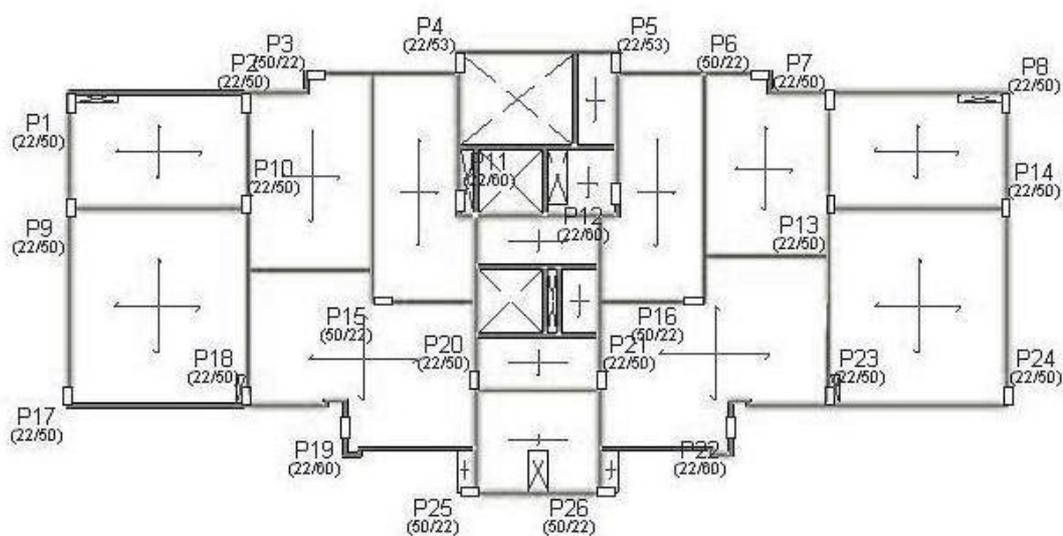


Figura 9 – Dimensão dos Pilares - Concreto de Alto Desempenho Fonte: Software-Cypecad.

Houve redução da secção em todos os pilares na estrutura em que foi utilizado o concreto de alto desempenho. Em sua grande maioria esta redução foi de 28,6%, com exceção dos pilares P11 e P12, onde esta redução chegou a 40%, cuja secção destes era de (22x100) passando para (22x60). E outros dois pilares, que merecem destaque, foram os pilares P19 e P20 cuja redução foi de 55,22%, mais do que a metade, diminuindo a secção de (22x134) para (22x60).

A diminuição das dimensões dos pilares é uma das grandes vantagens em se utilizar o concreto de alto desempenho, pois com a redução da secção dos pilares, além de trazer a redução do volume do concreto, da quantidade de aço e forma, como mencionado anteriormente, é totalmente interessante para aumento da área útil, fator este de importância indiscutível, já que o empreendedor visa sempre em maior área útil visando na venda do imóvel. Este fator também tem grande destaque nas áreas das garagens, pois na maioria das vezes existe sempre uma preocupação do engenheiro projetista em adaptar sua estrutura para atender a vontade do arquiteto e/ou empreendedor que é o ganho de vagas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não é uma tarefa fácil determinar qual dos concretos é o mais vantajoso e o mais viável economicamente na execução do projeto de um edifício residencial diante de tantas variáveis envolvidas. Porém, para este estudo de caso, através da restrição da variação somente do fck e mantidas as outras variáveis constantes, foi possível determinar, através da análise de resultados quantitativo-financeiros, qual das soluções é mais econômica.

No estudo, foi considerado um edifício convencional utilizando o fck de 25 MPa e em um segundo momento o mesmo edifício com o fck 50 MPa. Ao final do mesmo, elaborou-se um gráfico comparativo contendo o valor do custo total de cada obra das estruturas analisadas, neste ficou clara a diferença de custo de cada caso analisado.

Com os comparativos criados e os dados obtidos pelo programa Cypecad (APÊNDICE B), foi possível perceber que mesmo com a confirmação de uma das hipóteses, a diminuição dos valores brutos de forma, concreto e aço no concreto de alto desempenho, não foi determinante para este ser mais vantajoso financeiramente, pois o CAD apresenta maior custo por metro cúbico em relação ao concreto convencional.

Presumiu-se que com o uso do concreto de alto desempenho, os custos com os materiais e mão-de-obra seriam mais vantajosos que o concreto convencional, pois o custo elevado do CAD seria facilmente anulado quando comparados com bons resultados conseguidos com a diminuição do volume de concreto, menor área de forma, redução de taxa de aço e economia com a manutenção. Porém, os resultados apontaram que no custo total das obras, a utilização do concreto convencional foi mais viável economicamente. Sendo assim, a hipótese de que a estrutura realizada com o CAD seria mais econômica não foi confirmada, mesmo havendo diminuição dos insumos de consumo do CAD comparado com o CC.

Através destes estudos foi possível chegar à conclusão que o custo percentual com a forma do CC foi 2.67% maior do que o CAD. Na análise do aço, o custo percentual foi de que o CC é 12.96% maior do que o CAD. Já na análise do concreto, o custo percentual do CAD foi 49.71% maior do que o CC. E por fim, na estrutura em que foi utilizado o CAD o valor total do custo percentual foi de 5.83% maior que a estrutura que se utilizou o CC, correspondendo uma diferença de custo total das obras de R\$ 42.907,38.

Segundo Albuquerque (1999), uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar uma diminuição de 2% no custo total da edificação. Ou seja, para o estudo de caso analisado, com a utilização do CAD pode haver um aumento de aproximadamente 1.2% no custo total desta edificação.

Em contrapartida, houve redução significativa das secções dos pilares, em alguns casos chegando a mais do que a metade. O que pesou muito nesta análise, pois não é só o custo que está em foco e sim o custo-benefício. E como hoje em dia a área útil tão quanto as quantidades de vagas é uma preocupação constante dos engenheiros, tornou-se um fator crucial na decisão. Um custo adicional de 1.2% torna-se pequeno quando comparado o ganho que da área útil somado com o ganho na velocidade da construção, pois tempo é dinheiro.

O benefício envolve responsabilidades técnicas e econômicas de vulto, por isso a execução de obras tem que tirar proveito de todas as possibilidades disponíveis. Portanto, incorporar elaboração de um anteprojeto, de estudos laboratoriais criteriosos, de um acompanhamento das fases executivas, de controle de materiais, de formação de mão de obra qualificada para as obras é uma forma de implementar procedimentos de garantia da qualidade e conseguir benefícios em prol dos seus interesses.

Há que se pensar que atualmente existem imposições de estruturas mais modernas, no sentido de se desejarem maiores vãos e pouca interferência da própria estrutura na sua utilização, por este motivo, já necessitam de um concreto de maior resistência.

Logo, é imprescindível realizar estudos e quantificar o comportamento real desses parâmetros para as condições disponíveis no primeiro momento antes da obra iniciar. Estes estudos seriam análises: dos materiais adequados, proporções corretas e monitoração de resultados, os custos da implementação das metodologias para obra desejada, remuneração de profissionais especializados envolvidos em estudos técnicos e econômicos no projeto e execução, resultando na viabilidade da escolha adotada.

Desta forma, vale salientar que a escolha do concreto a ser utilizado depende de um grande número de variáveis, algumas delas não contempladas neste trabalho, tais como, tempo de execução, custos das fundações, entre outras. Portanto, este estudo não teve a intenção de apresentar resultados válidos para todos os tipos de estruturas, mas serve como parâmetro para auxiliar os profissionais da área durante a elaboração de um anteprojeto.

Por último, sugere-se como temas de estudos para futuros trabalhos alguns assuntos relacionados com a abordagem adotada:

- Fazer um estudo paramétrico variando os comprimentos dos vãos e os números de andares;
- Adicionar custo das fundações;
- Quantificar o tempo de produção da execução da estrutura;
- Incluir outros sistemas estruturais, tais como lajes nervuradas.

REFERÊNCIAS

- AITCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**. 1ª Edição. São Paulo: Pini, 2000.
- ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de Alternativas Estruturais para Edifícios em Concreto Armado**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- ALVES, J. D. **Manual de Tecnologia do Concreto**. 1ª Reimpressão. Goiânia: Universidade Católica de Goiás (UCG), 2005.
- ALVES, J. D. **Materiais de Construção**. 8ª Edição. Goiânia: Universidade Católica de Goiás (UCG). 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças Devido ao Vento em Edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.
- AZEVEDO, M. T. **Materiais de Construção**. Apostilas 1 e 2. 2005.
- BARATA, M. S. **Concreto de Alto Desempenho no Estado do Pará: Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de Produção de Concreto de Alto Desempenho com os Materiais Disponíveis em Belém através do Emprego de Adições de Sílica Ativa e Metacaulim**. 1998. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

GAMINO, A. L. **Análise Numérica da Ductilidade de Vigas de Concreto Armado Convencional e de Alto Desempenho.** 2003. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista (Unesp) “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Civil, Área de Concentração Estruturas. Ilha Solteira, São Paulo.

MENDES, S. E. S. **Estudo Experimental de Concreto de Alto Desempenho Utilizando Agregados Graúdos Disponíveis na Região Metropolitana de Curitiba.** 2002. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Pós-Graduação em Construção Civil. Curitiba, Paraná.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

NETO, E. H. **A Nova Engenharia do Concreto.** 2002. Artigo Técnico, Publicado em Jornal da TQS, Órgão de Imprensa da TQS Informática. São Paulo, São Paulo.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo: Pini, 1982.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios.** 2007. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas. São Carlos, São Paulo.

SILVA, L. C. T. **Dicas de Construção – Dosagem.** Disponível em: <http://www.sitengenharia.com.br/diversosconcretodosado.htm> Acesso em: 20 jan. 2014.

SÜSSEKIND, J. C. **Curso de Concreto. Volume 1. Concreto Armado.** Porto Alegre: Globo, 1980.

APÊNDICE A – LISTAGEM DE DADOS DAS OBRAS

1. Dados gerais da estrutura:

Projeto: Listagem obtida através de cálculos realizados pelo software Cypecad.

2. Normas consideradas:

- Concreto - NBR 6118:2003 (Brasil);
- Aços dobrados - AISI (Brasil);
- Vento – NBR 6123.

3. Combinações Consideradas:

- Concreto -: NBR-8681(E.L.U.) Edif. de Habitação;
- Aços dobrados - Ações Nominais;
- Deslocamentos - Ações Nominais;
- Tensão do solo - Ações Nominais;
- Dimensão de Vigas Equilíbrio - NBR-8681(E.L.U.) Edif. de Habitação;
- Equilíbrio de Fundações - NBR-8681(E.L.U.) Edif. de Habitação.

4. Materiais utilizados

4.1. Concreto

- Convencional

Elemento	Concreto	Pisos	fck	Gama
Pisos	C25, em	todas	255	1.40
Pilares e pilares-	C25, em	todas	255	1.40
Cortinas	C25, em	todas	255	1.40

Tabela 7 – Característica do Concreto Convencional. Fonte: Software-Cypecad.

- Alto Desempenho

Elemento	Concreto	Pisos	fck	Gama
Pisos	C50, em	todas	51	1.40
Pilares e pilares-	C50, em	todas	51	1.40
Cortinas	C50, em	todas	51	1.40

Tabela 8 – Característica do Concreto de Alto Desempenho. Fonte: Software-Cypecad.

4.2. Aços em Barras

Elemento	Posição	Aço	fyk (kgf/cm ²)	Gama s
Pisos	Punção Negativos (Superior) Positivos (Inferior)	CA-50-A,nb=1.5	5097 a 6116	1.15
Pilares e pilares-paredes	Barras (verticais) Estribos (horizontais)	CA-50-A,nb=1.5	5097 a 6116	1.15
Vigas	Negativos (Superior) Positivos (Inferior) Montagem (Superior) Pele (Lateral) Estribos	CA-50-A,nb=1.5	5097 a 6116	1.15

Tabela 9 – Característica do Aço. Fonte: Software-Cypecad.

APÊNDICE B – QUANTITATIVOS**CONCRETO CONVENCIONAL – C25**Superfície total: 3170.34 m²

Elemento	Formas (m2)	Volume (m3)	Barras (kg)
LAJES	2803.23	283.08	28218
Vigas: fundo	309.80	208.89	20469
Forma lateral	2242.74		
Pilares (Sup. Formas)	1487.60	125.85	17128
Total	6843.37	617.82	65815
Índices (por m2)	2.157	0.195	20.74

Tabela 10 – Total obra – Concreto Convencional. Fonte: Software-Cypecad.

CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO – CAD 50Superfície total: 3170.34 m²

Elemento	Formas (m2)	Volume	Barras (kg)
LAJES	2806.57	226.24	28017
Vigas:	324.66	208.12	18751
fundo	2420.69		
Forma	1108.40	84.22	11436
Total	6660.32	518.58	58204
Índices (por m2)	2.101	0.164	18.36

Tabela 11 - Total obra – Concreto de Alto Desempenho. Fonte: Software-Cypecad.

APÊNDICE C – LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CC	Concreto Convencional
CP	Carga Permanente
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RCB	Custo-Benefício
SCU	Sobregarga

APÊNDICE D – LISTA DE SÍMBOLOS

a/c	Água/Cimento
γ_z	Gama Z
°C	Graus Celsius
kg	Kilograma
MPa	Megapascal
m ³	Metro cúbico
m ²	Metro quadrado
%	Por cento; Porcentagem
R\$	Real
f _{ck}	Resistência Característica do Concreto à Compressão
C-S-H	Silicato de Cálcio Hihratado
t/m ³	Tonelada por metro cúbico

APÊNDICE E – LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo Estrutural – Concreto Convencional

Figura 2 – Modelo Estrutural – Concreto de Alto Desempenho

Figura 3 – Gráfico do Percentual dos Insumos do Concreto Convencional

Figura 4 – Gráfico do Percentual dos Insumos do Concreto de Alto Desempenho

Figura 5 – Gráfico Comparativo do Custo Percentual dos Insumos entre o Concreto Convencional e o Concreto de Alto Desempenho

Figura 6 – Gráfico Comparativo do Custo em R\$/m² dos Insumos entre o Concreto Convencional e o Concreto de Alto Desempenho

Figura 7 – Gráfico Comparativo do Custo Total das Obras

Figura 8 – Dimensão dos Pilares - Concreto Convencional

Figura 9 – Dimensão dos Pilares - Concreto de Alto Desempenho

APÊNDICE F – LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis dos Pavimentos

Tabela 2 – Ações Verticais

Tabela 3 – Gama Z (γZ) - CC

Tabela 4 – Gama Z (γZ) - CAD

Tabela 5 – Consumo Total dos Insumos do Concreto Convencional

Tabela 6 – Consumo Total dos Insumos do Concreto Convencional

Tabela 7 – Característica do Concreto Convencional

Tabela 8 – Característica do Concreto de Alto Desempenho

Tabela 9 – Característica do Aço

Tabela 10 – Total obra – Concreto Convencional

Tabela 11 – Total obra – Concreto de Alto Desempenho