

STELLA MARYS ROSSI BOIÇA

**DESEMPENHO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO: PROPOSTA DE
MODELO DE ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção ao título de Mestre, pelo Curso de Pós Graduação em Construção Civil, do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Lacerda S. Filho, Ph. D.

Co-Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Neves

CURITIBA

2006

TERMO DE APROVAÇÃO

STELLA MARYS ROSSI BOIÇA

**DESEMPENHO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO: PROPOSTA DE MODELO DE ANÁLISE
COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO.**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Mauro Lacerda Santos Filho
Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Mounir Khalil El Debs
Departamento de engenharia de estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos –Universidade de São Paulo.

Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal
Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Heitor Miranda Bottura
Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia - Campus de Bauru - UNESP

Curitiba, 05 de dezembro de 2006.

*Dedico este trabalho
ao Sr. Arivaldo A. de Pieri, que tal
como pai zeloso consolou a cada
derrota e vibrou a cada vitória.
Saudades....*

Agradecimentos

Agradeço a todos os que apoiaram e suportaram a ausência e a ansiedade causados pelo empenho em realizar mais este sonho, em especial meus filhos queridos e meu amado companheiro.

Agradeço ao meu persistente orientador pelo incentivo e entusiasmo sempre abundantes em suas amáveis palavras.

À minha mãe e sogra solícitas que recorreram com a preciosa ajuda nos momentos mais difíceis.

A minha inestimável Rose por ser anjo amigo, organizadora e fonte de equilíbrio do meu lar.

Aos meus amigos, especialmente amigas do mestrado, que unidas em corrente de incentivo ajudamos umas às outras, sempre solícitas e amáveis.

Aos profissionais que contribuíram para o desenvolvimento deste projeto.

Aos colegas da ABCP que além do incentivo e apoio ainda contribuíram com o fornecimento de material técnico e bibliográfico.

E agradeço ainda aos que me fecharam as portas pois proporcionaram a oportunidade de trilhar por outros caminhos, quem sabe mais proveitosos embora mais íngremes e longos.

Sumário

Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	x
Resumo	xi
Abstract	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	1
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	2
1.3 OBJETIVO	2
1.4 HIPÓTESE	2
1.5 MÉTODO DE PESQUISA	3
1.6 LIMITAÇÕES	3
1.7 COLABORADORES	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO	5
2.2 PRÉ-FABRICAÇÃO	6
2.2.1 Contexto histórico	6
2.2.2 Perspectivas futuras	9
2.2.3 Tipologia dos sistemas construtivos pré-fabricados	11
2.2.4 Características do processo produtivo	14
2.2.5 Normas técnicas	17
2.2.6 Selo de qualidade ABCIC	18
2.3 DESEMPENHO	19
2.3.1 Atributos de desempenho estrutural	20

2.3.1.1	Variações dimensionais	21
2.3.1.2	Aparência estrutural	22
2.3.1.3	Durabilidade	23
2.3.1.4	Viabilidade Econômica	24
2.3.1.5	Sustentabilidade	25
2.3.1.6	Construtibilidade	26
3	MÉTODO DE PESQUISA	29
3.1	CONTEXTO DO CAPÍTULO	29
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	29
3.3	MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO	30
3.4	ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO	32
3.4.1	Mapa de desenvolvimento	32
3.4.2	Revisão bibliográfica	33
3.4.3	Escolha dos objetos do estudo de caso	33
3.4.4	Protocolo de coleta de dados	34
3.4.5	Proposta do modelo de análise	35
3.4.6	Limitações	36
4	MODELO DE ANÁLISE	37
4.1	CONTEXTO DO CAPÍTULO	37
4.2	DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS	38
4.2.1	Variações dimensionais	38
4.2.2	Aparência estrutural	39
4.2.3	Durabilidade	40
4.2.4	Viabilidade Econômica	41
4.2.5	Sustentabilidade	42
4.2.6	Construtibilidade	44
4.3	MATRIZ DE DESEMPENHO	45
4.4	VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DA ANÁLISE	45
4.5	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS	46
5	RESULTADOS E ANÁLISES DO ESTUDO DE CASO	48
5.1	CONTEXTO DO CAPÍTULO	48
5.2	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE COLETA DE DADOS	48
5.3	FACULDADES CURITIBA	53
5.3.1	Caracterização do empreendimento	53
5.4	UNIBRASIL	59
5.4.1	Caracterização do empreendimento	60
5.5	PROCESSAMENTO DOS ATRIBUTOS DE DESEMPENHO	68
5.5.1	Variações dimensionais	68

5.5.2	Aparência Estrutural	69
5.5.3	Durabilidade	70
5.5.4	Viabilidade Econômica	71
5.5.5	Sustentabilidade	73
5.5.6	Construtibilidade	75
5.6	VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS	76
5.7	VALIDAÇÃO DA PESQUISA	80
6	CONCLUSÕES	83
6.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE PESQUISA	83
6.2	CONCLUSÕES - DADOS QUANTITATIVOS	84
6.3	CONCLUSÕES - DADOS QUALITATIVOS	85
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
6.5	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	86
	Referências Bibliográficas	88

Lista de figuras

FIG. 2.1 – CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA NA POLÔNIA DO PERÍODO PÓS GUERRA	8
FIG. 2.2 – OBRA SHOPPING BOURBON – PORTO ALEGRE.....	9
FIG. 2.3 – ÍNDICES DE CONSUMO DE CIMENTO NA INDÚSTRIA DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO.....	10
FIG. 2.4 – VIGA “L” EM PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO	12
FIG. 2.5 – VIGA “T INVERTIDO” EM PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO.....	13
FIG.3.1 – FASES DO PROJETO DE PESQUISA	32
FIG. 4.1 – COMPARAÇÃO ENTRE OPÇÃO A E OPÇÃO B	46
FIG. 5.1 – PLANTA GERAL FACULDADES CURITIBA.....	54
FIG. 5.2 – ELEVACÃO FACULDADES CURITIBA	55
FIG. 5.3 – FACHADA FACULDADES CURITIBA	55
FIG. 5.4 – EDIFICAÇÃO EM CONSTRUÇÃO – TERRAPLANAGEM.....	56
FIG. 5.5 – INÍCIO DAS ATIVIDADES DE MONTAGEM DA ESTRUTURA – FACULDADES CURITIBA.....	57
FIG. 5.6 – FINAL DAS ATIVIDADES DE MONTAGEM DA ESTRUTURA – FACULDADES CURITIBA	58
FIG. 5.7 – IMAGEM DA EDIFICAÇÃO CONCLUÍDA (FACHADA FRONTAL) – FACULDADES CURITIBA	58
FIG. 5.8 – IMAGEM DA EDIFICAÇÃO CONCLUÍDA (FACHADA LATERAL) – FACULDADES CURITIBA	59
FIG. 5.9 – IMPLANTAÇÃO PRIMEIRA FASE - UNIBRASIL	60
FIG. 5.10 – PLANTA BAIXA TÉRREO - UNIBRASIL	61
FIG. 5.11 – PLANTA BAIXA TÉRREO - UNIBRASIL	62
FIG. 5.12 – IMPLANTAÇÃO SEGUNDA FASE - UNIBRASIL	63
FIG. 5.13 – EXECUÇÃO DA LAJE (FORMAS E ESCORAMENTO).....	64
FIG. 5.14 – CONCRETAGEM DA LAJE – DETALHE DA BOMBA.....	64
FIG. 5.15 – FORMA DE PILARES E VIGAS	65
FIG. 5.16 – BLOCO ACABADO E EM CONSTRUÇÃO	66
FIG. 5.17 – FACHADA DE UM BLOCO ACABADO	67
FIG. 5.18 – FACHADA DE UM BLOCO ACABADO	67
FIG. 5.19 – GRÁFICO DOS RESULTADOS ESCALONADOS	78
FIG. 5.20 – GRÁFICO DOS RESULTADOS UTILIZANDO A OBRA U COMO REFERÊNCIA	79
FIG. 5.21 – GRÁFICO DOS RESULTADOS UTILIZANDO A OBRA A COMO REFERÊNCIA	80
FIG. 5.22 – GRÁFICO DOS RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS.....	82

Lista de tabelas

TABELA 5.1 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ARQUITETOS AUTORES.....	50
TABELA 5.2 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ENGENHEIROS.....	51
TABELA 5.3 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS USUÁRIOS DA EDIFICAÇÃO	52
TABELA 5.4 – CRITÉRIO UTILIZADO PARA PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS.....	53
TABELA 5.5 – DADOS COLETADOS – VOLUMES.....	69
TABELA 5.6 – DADOS COLETADOS E ÍNDICE DE INSTABILIDADE	70
TABELA 5.7 – DADOS COLETADOS – DURABILIDADE.....	71
TABELA 5.8 – DADOS COLETADOS – VIABILIDADE ECONÔMICA	73
TABELA 5.9 – DADOS COLETADOS – SUSTENTABILIDADE	74
TABELA 5.10 – DADOS COLETADOS – CONSTRUTIBILIDADE	76
TABELA 5.11 – ESCALAS UTILIZADAS.....	77
TABELA 5.12 – RESULTADOS UTILIZANDO A OBRA U COMO REFERÊNCIA	78
TABELA 5.13 – RESULTADOS UTILIZANDO A OBRA A COMO REFERÊNCIA	79
TABELA 5.14 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS.....	81
TABELA 5.15 – CRITÉRIO UTILIZADO PARA PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS.....	81

Resumo

Este trabalho propõe um modelo de análise comparativa entre sistemas construtivos em concreto convencional e industrializado, através da definição de parâmetros de desempenho. O objetivo é fornecer uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão entre as opções disponíveis. O estudo inicia com o contexto histórico da industrialização da construção e da pré-fabricação, faz um apanhado sobre as tipologias e características do processo produtivo e na seqüência são apresentadas as definições encontradas na literatura para os atributos que serão considerados. A modelagem dos atributos de desempenho foi proposta e aplicada em um estudo de caso onde duas edificações com características semelhantes foram avaliadas a partir de levantamento de dados quantitativos e da aplicação de questionários para os usuários, arquitetos e construtores dos empreendimentos. A análise foi feita através de várias composições comparativas e escalas, utilizando gráficos de radar. A eficiência do método proposto pode ser comprovada através da aplicação no estudo de caso e uma discrepância entre os resultados obtidos através da tabulação dos dados quantitativos e os dados qualitativos indicam que a percepção da qualidade no que tange a construtibilidade e a sustentabilidade dos sistemas construtivos é deficiente e carece de disseminação do conhecimento adquirido nesta área no meio técnico.

Palavras-Chave: sistemas construtivos, desempenho, industrialização da construção.

Abstract

This work considers a model of comparative analysis between constructive conventional in systems and industrialized concrete, through the definition of performance parameters. The objective is to supply a tool of aid in the taking of decision between the available options. The study begins with the historical context of the industrialization of the construction and the prefabrication.

it gathers the typologies and characteristics of the productive process and in the sequence, is presented the definitions found in literature for the attributes that will be considered. The moulding of the performance attributes was proposed and applied in a case study where two constructions with similar characteristics were evaluated from quantitative application and data-collecting of questionnaires for the users, architects and site constructors. The analysis was made through some comparative dispositions and scales, using charts of radar. The efficiency of the considered method can be proven through the application in the case study and a discrepancy between the results gotten through the survey of the quantitative data and the qualitative data that indicates that the perception of the quality in that refers to the constructibility and the sustentability of the constructive systems is deficient and lacks of dissemination of the knowledge acquired in this area in the technical field.

Key Words: constructive systems, performance, industrialization of the construction.

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A década de 80 foi marcada por um acelerado desenvolvimento tecnológico em todas as áreas de conhecimento.

Embora não com a mesma intensidade das telecomunicações, informática e outras atividades, a construção civil também tem conseguido significativas melhorias no que tange à eficiência de seus processos de produção e a qualidade de seu produto final, em grande parte devido ao aumento dos seus níveis de industrialização **OLIVEIRA (2002)**. Conforme **SABATINI (1989)**, evoluir no sentido de aperfeiçoar-se como indústria é um caminho natural do setor da construção civil.

Não obstante o conceito de industrialização esteja intimamente arraigado ao de pré-fabricação, **CAMPOS (2002)** indica que este não é o único e muitas vezes nem mesmo o melhor caminho. A definição de industrialização apresentada por **OLIVEIRA (2002)** é “ uma visão global das várias interfaces que compõem a execução de um edifício e pressupõe organização, planejamento, continuidade executiva, repetitividade e eficiência no processo de produção”.

Dentro deste contexto o desafio de optar entre a melhor solução construtiva no que se refere ao sistema estrutural deve envolver a análise de vários fatores e não constitui tarefa muito fácil se não houver uma metodologia adequada. O desempenho de uma estrutura não pode ser “medido” somente por um critério isolado, como a viabilidade econômica, por exemplo.

Outros fatores tão importantes quanto o custo inicial e o consumo energético na etapa de construção são os custos de manutenção ao longo da vida útil e o comportamento em relação às interfaces com os demais sub-sistemas e devem ser considerados em conjunto, de maneira holística.

Este trabalho tem como proposta o desenvolvimento de um método para auxiliar nessa tarefa, que considere a performance da estrutura em seus aspectos mais significativos e ao longo do seu ciclo de vida.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Esta dissertação visa responder ao seguinte problema: **Como medir o desempenho de uma solução construtiva ?**

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é propor um modelo de avaliação dos sistemas construtivos disponíveis para uma estrutura, considerando como fatores de julgamento diversos atributos que possam caracterizar o bom desempenho da solução e de forma que seja possível compará-los para que este instrumento auxilie os profissionais de engenharia e arquitetura na tomada de decisão.

1.4 HIPÓTESE

Tem-se como hipótese que a avaliação sistêmica das soluções estruturais possíveis para um determinado empreendimento pode fornecer um instrumento importante de análise e auxiliar na escolha de uma solução que apresente, no conjunto de seus atributos, o melhor desempenho ao longo de toda a vida útil.

1.5 MÉTODO DE PESQUISA

Um levantamento das soluções estruturais e dos atributos de desempenho foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica. A seguir foi proposto um modelo de avaliação baseado nos critérios levantados. Para avaliar e validar o modelo foram realizados estudos de caso.

1.6 LIMITAÇÕES

Este trabalho limitar-se-á a comparar dados de sistemas construtivos em concreto, o que não impede de testar a sua eficiência em trabalhos posteriores, na avaliação de sistemas que utilizem outros materiais, bastando que para isso sejam adaptados os questionários e alguns critérios de avaliação.

Uma limitação regional também foi imposta por uma questão de recursos financeiros para a pesquisa. Todos os empreendimentos avaliados foram de Curitiba e região metropolitana. No caso de utilização do modelo de avaliação para edificações fora desta circunscrição deverão ser considerados nos critérios de avaliação de construtibilidade a disponibilidade do sistema na região e possíveis custos de deslocamento e transporte.

1.7 COLABORADORES

A colaboração das entidades e empresas abaixo relacionadas foi de fundamental importância para o desenvolvimento deste projeto.

- Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)
- Associação Brasileira da Construção Industrializada (ABCIC)
- CSA Arquitetura
- Arquiteto Hélio Sato

- Cassol pré-fabricados
- Dória Construções Ltda.
- Construtora Irmãos Thá Ltda.
- UNIBRASIL – Complexo de ensino superior do Brasil
- AENA – Associação de Ensino Novo Ateneu (Faculdades Curitiba)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

A história da industrialização da construção identifica-se, segundo **SERRA, FERREIRA e PIGOZZO (2005)** com a história da mecanização, isto é, com a evolução das ferramentas e máquinas para a produção de bens. **SERRA, FERREIRA e PIGOZZO (2005)** organizam essa evolução em três grandes fases:

1. Nos primórdios da era industrial quando surgem as máquinas genéricas ou polivalentes.
2. Período em que os mecanismos substituem o homem na capacidade de repetir ciclos. Surgem os estudos dos tempos e movimentos, com o objetivo de gerar melhores resultados econômicos e qualitativos.
3. Chamado de Segunda Revolução Industrial, este período é caracterizado pela substituição das atividades que o homem exercia sobre a máquina (raciocínio, concepção) por mecanismos eletrônicos (automatismos).

Excetuando-se obras especiais, a construção civil opera num nível de tecnologias médias e de implementação artesanal, o que a torna objeto de muitos estudos de racionalização de métodos e processos **GEHBAUER (2004)**.

Ainda segundo **GEHBAUER (2004)**, o sucesso de um

empreendimento depende do máximo de racionalidade na realização dos projetos, das atividades produtivas, com o menor trabalho e visando os menores custos, com a mais alta taxa de produtividade e máximo de segurança no ambiente de trabalho.

O resultado da metodologia de controle dos processos na construção é chamado por alguns autores de **industrialização**. **OLIVEIRA (2002)** defende que a racionalização é uma ferramenta para se atingir a industrialização da construção e que este conceito pressupõe eficiência do processo de produção, obtido por meio da organização, planejamento, continuidade executiva e repetitividade.

Por ter estas características, a pré-fabricação consolidou-se como a forma mais viável e mais difundida de industrialização da construção, em especial no período pós-guerra **CAMPOS (2002)**.

Embora não seja a única forma de se atingir os objetivos de racionalização e de industrialização segundo **OLIVEIRA (2002)**, este trabalho irá centrar-se em analisar esta modalidade, especialmente no que se refere a estruturas de empreendimentos, comparando-a com os sistemas convencionais de execução.

2.2 PRÉ-FABRICAÇÃO

2.2.1 Contexto histórico

O início da construção pré-moldada coincide com o aumento do emprego do concreto armado na construção civil. A primeira construção com emprego de elementos pré-moldados foi o cassino de Biarritz, na França, em 1891, na qual as vigas foram pré-moldadas (**EL DEBS 2000**).

OLIVEIRA (2002) afirma que o desenvolvimento da pré-fabricação aconteceu em épocas e maneiras diferentes em cada país, mas que tanto nos

EUA, no Canadá e no Brasil pode-se perceber forte influência da cultura da pré-fabricação surgida na Europa.

De 1891, que segundo **EL DEBS (2000)** pode ser considerado como o surgimento da pré-fabricação, até o final da Segunda Guerra Mundial em 1945, o desenvolvimento do concreto pré-fabricado seguiu paralelamente ao desenvolvimento e à utilização do concreto em geral (armado e protendido).

Alguns eventos são considerados como marcos do desenvolvimento da pré-fabricação (**ELLIOT**¹ e **KONCZ**², apud **EL DEBS**, 2000, p. 29):

(1895) – a construção de Weavne’s Mill é considerada a primeira construção de estrutura aporticada com concreto pré-moldado na Inglaterra.

(1900) – surgem os primeiros elementos de grandes dimensões para coberturas nos Estados Unidos.

(1905) – são executados elementos de piso para um edifício de quatro andares nos Estados Unidos.

(1906) – começam a ser executados na Europa os que podem ser considerados os primeiros elementos pré-fabricados – vigas treliça denominadas “Visitini” e estacas de concreto armado.

(1907) – todas as peças de um edifício industrial foram pré-moldadas no canteiro, nos Estados Unidos, pela Edson Portland Co., pertencente a Thomas Alva Edson.

(1907) – surgem , também nos Estados Unidos, as pioneiras aplicações do processo “tilt-up”, em que as paredes são executadas sobre o solo e depois levantadas para a posição vertical.

O grande impulso para o crescimento do emprego da pré-fabricação, no entanto, foi a necessidade de reconstrução da Europa após a Segunda Guerra Mundial **CAMPOS (2002)**. Isto provocou uma aceleração do ritmo da

1 ELLIOT, K. S. (1996) Multi-storey precast concrete framed structures. Oxford, **Blackwell Science**.

2 KONCZ, T. (1966) **Handbuch der fertigteilbauweise**, 2. ed. Berlin, Bauverlag GmbH, 3 v.

industrialização das estruturas de concreto, mas como consequência observava-se ainda uniformidade e rigidez na arquitetura.

FIG. 2.1 – CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA NA POLÔNIA DO PERÍODO PÓS GUERRA



FONTE: GRAZIOZZI (PALESTRA “PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO – ABCP-SUL 2001)

Apesar da pouca flexibilidade ocorreram realizações massivas na área de habitação e pôde-se observar um elevado desenvolvimento nos Estados Unidos. A figura 2.1, de uma construção executada com pré-fabricados na Polônia pode ilustrar esse fato.

Somente no período compreendido entre 1977 a 1985 é que se identifica nas obras pré-fabricadas uma maior liberdade arquitetônica e a consolidação de elementos de fachadas.

No início dos anos 90 surge na Europa a “segunda geração tecnológica” no campo da industrialização da construção, que caracteriza-se pela flexibilidade dos processos de produção, de forma a atender à encomenda de produtos

especiais conforme relata **CAMPOS (2002)** e este movimento também pode ser observado no Brasil.

A figura 2.2 mostra uma obra executada com elementos pré-fabricados especiais, de formas curvas, produzidos especialmente para as necessidades arquitetônicas do empreendimento.

FIG. 2.2 – OBRA SHOPPING BOURBON – PORTO ALEGRE



FONTE: BANCO DE OBRAS ABCIC (DISPONÍVEL EM WWW.ABCIC.COM.BR)

2.2.2 Perspectivas futuras

Atualmente não é observado na Europa e nos Estados Unidos a mesma euforia do período pós-guerra, mas ainda assim o emprego da pré-fabricação tem crescido gradualmente (**EL DEBS 2000**).

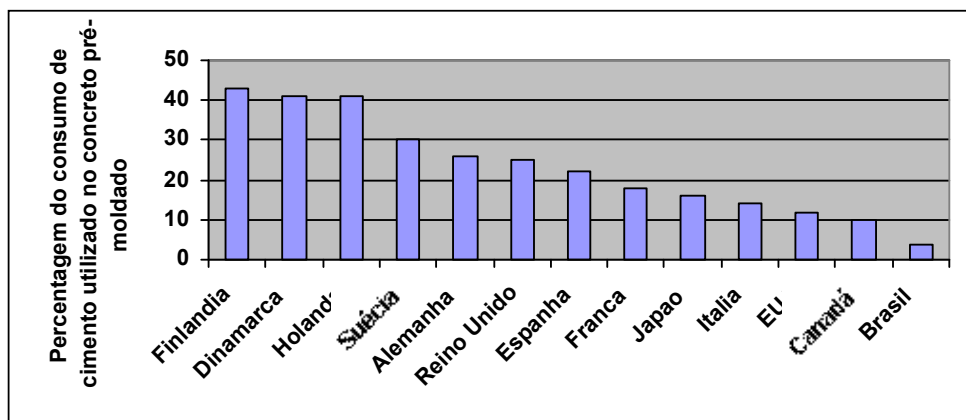
WEINGARDT (2002) observa que “incontáveis estruturas pré-fabricadas magníficas adornam a paisagem americana, provendo à indústria da pré-fabricação uma força maior no universo da construção.”

Segundo **EL DEBS (2000)** existe uma relação entre o desenvolvimento tecnológico e social do país e o emprego da pré-moldagem, pois quanto maior o

desenvolvimento, maiores são as exigências em relação à qualidade, maior a oferta de equipamentos e valorização da mão de obra.

Isto pode ser identificado no gráfico 2.3, que indica os índices de consumo de cimento na indústria de pré-fabricados nos países.

GRÁFICO. 2.3 – ÍNDICES DE CONSUMO DE CIMENTO NA INDÚSTRIA DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO



FONTE: TUPAMAKI, O. APUD EL DEBS (2000)

Em relação ao desenvolvimento tecnológico, a utilização de aditivos e do concreto de alto desempenho vêm permitindo a execução de estruturas pré-fabricadas cada vez mais esbeltas, além de proporcionar expressões plásticas mais interessantes, segundo **CAMPOS (2002)**, que as permitidas nos padrões usuais.

CAMPOS (2005) afirma que existem condições objetivas para o surgimento de uma nova geração de pré-fabricados de concreto, explorando as tecnologias existentes, especialmente no que diz respeito ao emprego do Concreto de Alto Desempenho (CAD), o que irá proporcionar uma maior densidade tecnológica ao material, conferindo maior durabilidade e viabilidade econômica suficiente para torná-lo um sistema competitivo.

Quanto às tendências de emprego e estudo da pré-fabricação no cenário nacional, embora não haja dados estatísticos atuais, pode-se vislumbrar um maior

envolvimento dos setores produtivos com a academia, o que culminou com a realização, em 2005 do “1º Encontro Nacional de Pesquisa, Projeto e Produção de Concreto Pré-Moldado”, promovido pelas Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos e Universidade Federal de São Carlos, com apoio da ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto.

Esse fato comprova a hipótese de **EL DEBS (2000)**, de que são grandes as perspectivas para o crescimento da pré-moldagem especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil.

2.2.3 Tipologia dos sistemas construtivos pré-fabricados

Todo elemento executado fora de sua posição de serviço pode ser considerado pré-fabricado. Num sistema estrutural de cobertura metálica, por exemplo, as treliças soldadas previamente na fábrica ou no canteiro são peças pré-fabricadas.

No caso do concreto a ABNT, pelo projeto de alteração da **NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**, define elemento **pré-moldado** como sendo: “elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva da estrutura” e estabelece critérios de controle de qualidade por amostragem, dispensando a necessidade de laboratório próprio (**ABNT 2001**).

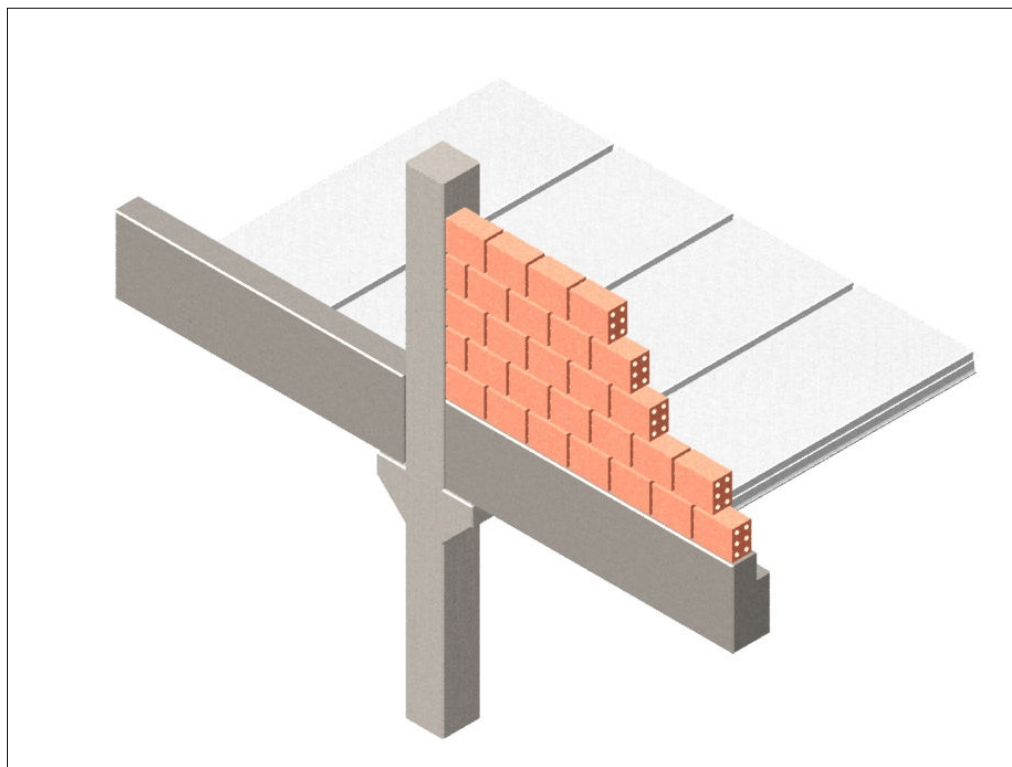
Segundo a mesma norma, elementos **pré-fabricados** são: “elementos executados industrialmente em instalações permanentes de empresa destinada para este fim” e ainda atribui critérios mais rigorosos de fabricação, controle de qualidade, rastreabilidade do processo e qualificação de equipamentos e mão de obra.

Com o objetivo de caracterizar os tipos de estrutura pré-fabricadas e pré-moldadas utilizadas atualmente no Brasil, **ALBUQUERQUE (2005)** realizou um levantamento junto a arquitetos, projetistas de estruturas e

fabricantes e pôde constatar os seguintes fatos:

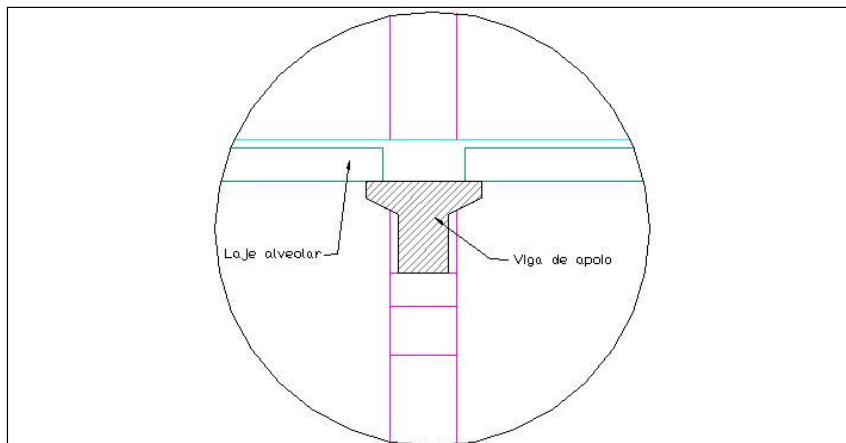
- Resistência média à compressão nas peças pré-fabricadas variando de 30 a 50 MPa;
- Estruturas concebidas como pórticos unidirecionais;
- 54,5% dos pórticos orientados na mesma direção do lado de maior dimensão;
- O sistema mais utilizado (51,6%) é o de lajes alveolares apoiadas em vigas “T” invertidas no interior do pavimento e em vigas “L” na periferia, ilustrado pelas figuras 2.4 e 2.5;

FIG. 2.4 – VIGA “L” EM PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO



FONTE: CATÁLOGO DE FABRICANTE

FIG. 2.5 – VIGA “T INVERTIDO” EM PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO



FONTE: CATÁLOGO DE FABRICANTE

Segundo os fabricantes, as principais razões para a utilização deste tipo de estrutura são:

- As lajes alveolares são elementos produzidos mecanicamente e apresentam um índice alto de qualidade e de produtividade;
- As vigas centrais em forma de T invertido proporcionam uma economia de volume e de altura, pois utilizam a espessura da laje e da capa como área de compressão contribuinte;
- As vigas L utilizadas nas extremidades de apoio das lajes alveolares, da mesma forma que as centrais, proporcionam uma altura reduzida, além de evitarem manchas e escorrimento do concreto da capa na fachada. E ainda reduzem um tipo comum de patologia não agressiva, que são as manchas na fachada, causadas por infiltração da água utilizada na limpeza do piso, em casos de impermeabilização ineficiente.

2.2.4 Características do processo produtivo

O conceito de economia de escala é inerente ao conceito da industrialização e se manifesta na pré-fabricação na fase de projeto, através da repetição, ou seja, de projetar para que uma peça possa ter o maior número de utilizações possíveis. **CAMPOS (1989)**

Embora a repetição de peças possa, de certa forma caracterizar uma rigidez arquitetônica, é benéfica em relação aos benefícios de economia de formas e na agilidade de execução. Segundo **EL DEBS (2000)** as formas determinam a qualidade do pré-moldado e a produtividade do processo e devem garantir:

1. Estabilidade volumétrica, para que os elementos produzidos atendam às tolerâncias normalizadas;
2. Possibilidade de reutilização sem altos custos de manutenção;
3. Fácil manejo;
4. Pouca aderência com o concreto e fácil limpeza;
5. Boa desmoldagem;
6. Estanqueidade;
7. Versatilidade, adaptabilidade a diferentes seções transversais;
8. Transportabilidade.

O aço e a madeira, por atenderem bem todos os requisitos relacionados acima são os materiais mais empregados na confecção de formas para produção de vigas e pilares pré-fabricados de concreto.

Para a produção de lajes alveolares são utilizadas as pistas de concretagem onde os elementos são executados continuamente, por máquinas extrusoras que lançam, moldam e adensam o concreto automaticamente, movendo-se ao longo da pista e deixando o produto pronto para ser cortado nas dimensões especificadas em projeto.

Como ficou caracterizado no estudo de **ALBUQUERQUE e EL**

DEBS (2005) a maioria (52 a 54 %) das estruturas pré-fabricadas utilizam lajes alveolares e existem estudos para que se possa utilizar este produto também em edifícios altos.

Quanto aos procedimentos de armação não protendida utilizados na pré-fabricação, são basicamente os mesmos das estruturas convencionais **EL DEBS (2000)**, com a possibilidade, dependendo do porte da indústria, da utilização de equipamentos de corte e dobra mecanizados ou até automatizados.

O sistema de protensão utilizado para a produção dos elementos pré-fabricados em indústria é o da pré-tensão, ou seja, concreto protendido com aderência inicial. A pós-tração somente é empregada na pré-fabricação em canteiro ou para solidarização das ligações entre elementos pré-fabricados industrializados. **EL DEBS (2000)**

O concreto utilizado, em geral produzido na própria indústria por usina e com rigoroso controle de qualidade dos componentes (cimento, água e agregados), tem resistência característica entre 30 e 50 MPa conforme estudo de **ALBUQUERQUE e EL DEBS (2005)**.

Em suma, o processo industrial da pré-fabricação favorece a obtenção de elementos de qualidade à medida que proporciona um maior controle e rastreabilidade das etapas de produção, inspeção dos materiais utilizados, conforme preconiza a norma **NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado (2001)**, nos itens 12.1.2.1 a 12.1.2.5.

Em resumo estes itens especificam que:

1. A mão de obra deve ser treinada e especializada;
2. A matéria prima deve ser qualificada com base em inspeções de recebimento e ensaios;
3. A indústria deve ter laboratório permanente de controle de qualidade, que deverá garantir a conformidade dos elementos segundo as normas e ao projeto;

4. O concreto utilizado na produção dos elementos deverá atender às especificações da **NBR 12655 – Concreto – Preparo, controle e recebimento - procedimento** e ter desvio padrão máximo de 3,5 MPa (**ABNT 1996**);
5. Os elementos devem ser produzidos com auxílio de máquinas e equipamentos, o que qualifica e racionaliza o processo;
6. Os métodos de fabricação devem atender à **NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto – procedimento** e à **NBR 12655 (1996) – Concreto – Preparo, controle e recebimento - procedimento** e garantir a rastreabilidade de projeto. A frequência de inspeção deve ser definida de forma a se obter a conformidade permanente dos produtos (**ABNT 2003**);
7. Após a moldagem os elementos devem ser submetidos a um processo de cura com temperatura controlada e nos processos de cura normal o concreto deve ser protegido de agentes prejudiciais (chuva, agentes químicos, vibrações, alterações bruscas de temperatura, etc.);
8. O controle de qualidade e a frequência de inspeção devem garantir a conformidade dos elementos com o projeto;
9. Os elementos devem ser identificados individualmente ou por lotes de produção.

Atender às recomendações da norma garante conformidade do produto em relação aos quesitos mínimos de desempenho para elementos pré-moldados ou pré-fabricados.

2.2.5 Normas técnicas

A norma técnica que estabelece os procedimentos para projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado em vigência é a versão de 1985, época em que se iniciou o que **CAMPOS (2002)** denomina de “segunda geração tecnológica” da industrialização da construção, caracterizada por maior flexibilidade de formas e pela adoção de novas tecnologias.

A modernização dos sistemas produtivos, a mecanização e automatização de alguns processos, a utilização de produtos com maior densidade tecnológica (cimentos especiais e aditivos) promoveu o desenvolvimento do setor, o que desencadeou a necessidade da revisão da **NBR 9062. (ABNT 2001)**

Como procedimento padrão da ABNT foi formada uma comissão de especialistas que redigiram a nova norma. Esta foi disponibilizada para consulta pública e no momento aguarda a aprovação da comissão.

Algumas normas internacionais também servem de referência para projetistas e fabricantes de pré-fabricados (**EL DEBS 2000**):

- CEB-FIP model code 1990 – Comitê Euro-International du Beton
- CRN 10025/84 – La normativa sui prefabbricati, Norma italiana
- Eurocode 2 – parte 1-3 Regras gerais – elementos e estruturas de concreto pré-moldado – Norma da Comunidade Européia

Além das normas específicas da pré-fabricação, os procedimentos de controle de qualidade, ensaios de corpos de prova, a classificação do concreto, a determinação das ações e etapas complementares são orientadas pela normalização específica da ABNT. Tais documentos estão relacionados na **NBR 9062.**

2.2.6 Selo de qualidade ABCIC

Com o objetivo de agregar esforços para o desenvolvimento da pré-fabricação no mercado da construção civil, foi criada, em 2001 a ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto). Fundada com o apoio da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), ela conta com a associação de indústrias, projetistas e fornecedores.

As indústrias associadas correspondem a aproximadamente 80% do mercado de pré-fabricados do país e são responsáveis pelo consumo de 4% do cimento produzido anualmente no Brasil. **(Dados ABCIC)**

Uma iniciativa desta associação foi a criação de um selo de qualidade, chamado de Selo Excelência ABCIC. Para obter a certificação os fabricantes precisam credenciar as suas plantas de produção, que são avaliadas e classificadas individualmente, por meio de auditorias que segundo **ABCIC (2005)**, avaliam os seguintes procedimentos:

- Recebimento e armazenagem da matéria-prima
- Produção e montagem dos elementos pré-fabricados
- Elaboração e controle de projetos
- Segurança e saúde dos trabalhadores
- Gestão e apoio administrativo
- Atendimento ao cliente
- Gestão ambiental

O selo é graduado em vários níveis, de acordo com as características de cada fábrica, expedido e válido por seis meses. A obtenção de um nível de maior graduação não impede que em avaliações posteriores esta mesma planta regreda para níveis inferiores caso haja problemas nos processos.

É um instrumento de certificação, que pode ser considerado como indicador de desempenho num processo onde já se tenha feita a opção pela

utilização de estrutura pré-fabricada de concreto.

Entretanto, a tomada de decisão entre um sistema pré-fabricado ou tradicional, composto por elementos moldados no local, precisa ser embasada em critérios que avaliem ambos os sistemas.

O próximo tópico trata das definições destes critérios e da importância em se considerá-los em conjunto e não isoladamente.

2.3 DESEMPENHO

Uma edificação deve satisfazer às condições de utilização dos usuários, com durabilidade adequada ao longo de sua vida útil, considerando as intervenções de manutenção. A esta característica **SANTOS FILHO (2004)** dá o nome de desempenho ou performance.

Segundo **OLIVEIRA e MACHADO JUNIOR (1998)**, a avaliação do desempenho é uma prática que vem se consolidando no setor da construção civil brasileira desde 1980, quando o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), através da realização de projetos que culminaram na publicação do relatório “Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares”.

A metodologia empregada para a avaliação dos sistemas construtivos deve considerar as características do ambiente a que estarão sujeitos, ou suas condições de exposição e as exigências dos usuários.

No que tange a sistemas construtivos, **OLIVEIRA e MACHADO JUNIOR (1998)** defendem que o usuário associa o desempenho apenas à segurança estrutural, ou seja, com a necessidade da estrutura não atingir o estado limite último de utilização.

Embora esta condição possa ser constatada em edificações residenciais, **TOKUDOME (2005)** conclui que existe uma tendência de otimização do uso do

concreto, de forma a reduzir os impactos ambientais e econômicos causados pela utilização de recursos não renováveis e energia através da redução de desperdícios, aumento da durabilidade e da menor variabilidade das características das estruturas.

Se na concepção estrutural todos estes fatores forem considerados, embora a utilização de tecnologias ou produtos inovadores possam representar um custo inicial maior, **SOUZA e SABATINI (2004)** defendem que a introdução de novas tecnologias pode ser um indutor de mudanças que levem ao aumento de competitividade das empresas construtoras.

Desta forma a escolha do sistema estrutural passa a ser uma decisão estratégica para empresa, mas segundo **SOUZA e SABATINI (2004)** este processo ainda carece de metodologia adequada para orientar a análise.

Neste cenário, este trabalho pretende apresentar uma ferramenta que auxilie e oriente arquitetos, engenheiros, construtores e investidores na tomada de decisão sobre o sistema estrutural a ser utilizado, propondo um modelo de avaliação para as opções disponíveis de estruturas de concreto, utilizando os atributos de desempenho que serão relacionados nos próximos tópicos e que pretendem caracterizar os vários aspectos que podem ser considerados como importantes no que tange à performance da solução escolhida.

2.3.1 Atributos de desempenho estrutural

As peculiaridades e imposições de um projeto arquitetônico, de acordo com **ALBUQUERQUE e PINHEIRO (2002)** limitam a utilização de algumas soluções estruturais. Como o objeto de estudo desta dissertação é um método que oriente a escolha entre estruturas pré-fabricadas ou convencionais de concreto, os atributos de desempenho estrutural que serão avaliados serão os que impactam o

tipo de edificação característica destes sistemas.

Estudos internacionais citados no trabalho de **TOKUDOME (2005)** demonstram que a utilização da pré-fabricação é predominante em edifícios de até três pavimentos, sendo que os setores industriais (galpões) e comerciais (shoppings e centros comerciais) são os que representam maioria (49%) na distribuição por segmento.

No Brasil esta tendência também foi constatada por **ALBUQUERQUE e EL DEBS (2005)** no estudo sobre a utilização e tipologia dos pré-fabricados. O levantamento realizado pelos autores junto a fabricantes de estruturas pré-moldadas indica que a utilização do sistema é maior em edifícios baixos e menor em prédios de múltiplos pavimentos. Outra característica apontada pelos fabricantes é a utilização em edifícios comerciais, especialmente projetados para o máximo de seis pavimentos.

Com base na literatura citada, os edifícios objeto deste estudo caracterizam-se como empreendimentos comerciais, de uso escolar, de no máximo sete pavimentos e serão devidamente identificados no capítulo 5.

Embora a **NBR 6118/2003 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento** estabeleça que os requisitos de qualidade de uma estrutura de concreto estão classificados em três grupos, que dizem respeito a capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade, consideraremos relevantes neste estudo os atributos de desempenho que descreveremos a seguir:

2.3.1.1 Variações dimensionais

Em qualquer processo produtivo podem acontecer desvios que podem alterar geometricamente os elementos fabricados, comprometendo ou não o

desempenho dos mesmos, dependendo da amplitude da falha e da função da peça.

Às variações máximas inerentes que podem ser aceitas de forma a não comprometer o desempenho de um elemento ou sistema estrutural denominam-se tolerâncias e os seus limites são especificados pelas normas técnicas de fabricação. No caso de estruturas de concreto as tolerâncias devem ser tais que, descontadas as folgas de montagem para o caso de sistemas pré-fabricados, não comprometam a verticalidade da obra.

As causas das variações dimensionais em estruturas de concreto estão relacionadas a falhas de execução como abertura de formas, desnivelamento (no caso de estruturas moldadas no local) e desregulagem/desgaste de máquinas (na produção de lajes alveolares, por exemplo).

Informação extraída de **MALDANER (2003)** indica que pode ocorrer até 8% de desperdício na etapa de execução da estrutura por motivo de má execução, o que significaria um total de aproximadamente 2% do valor total da obra, já que a estrutura tem 23,5% de representação.

Além do desperdício direto, ocasionado pelo aumento do consumo do concreto, o aumento das dimensões dos elementos pode ocasionar patologias na edificação, classificadas por **SANTOS FILHO (2004)** como anomalias construtivas.

BARROS e MELHADO (1998) chamam atenção para a importância da regularidade geométrica observando que o impacto da redução de 10% na altura de uma viga é mais significativo do que uma variação de 10% na resistência do concreto.

2.3.1.2 Aparência estrutural

A adequação do arcabouço estrutural de uma edificação deve obedecer às normas existentes, que segundo **SANTOS FILHO et al (2002)** estão baseadas

nos conceitos de estados limite. Este processo envolve:

1. A identificação de todos os possíveis meios de colapso da estrutura (estados limites).
2. A determinação de um nível de segurança apropriado para evitar a ocorrência do evento (ou dos eventos).
3. Dimensionar a estrutura de tal maneira que ela apresente um nível de segurança apropriado para qualquer um dos estados limites.

No caso de estruturas pré-fabricadas, a **NBR 9062/2005**, item 5.1.2.2 recomenda que a estrutura deve ser analisada em relação à estabilidade em todas as fases, considerando a variabilidade do comportamento das ligações na fase da montagem e permitindo o uso de contraventamentos provisórios nos casos necessários.

Entretanto, um dos fatores que analisaremos é o que convencionamos chamar de aparência estrutural, que é a percepção do usuário com relação à estabilidade da estrutura, em geral associada à dimensão das peças e à vibração da edificação.

2.3.1.3 Durabilidade

Concreto e produtos à base de cimento, segundo **HANAI et al (2000)** são os materiais mais utilizados na construção civil no Brasil e embora estas estruturas em geral apresentem um bom comportamento estrutural ao longo da sua vida útil, muitas obras tem apresentado patologias prematuras, comprometendo a estabilidade das mesmas.

Segundo **LEVY (2001)**, ao se projetar uma estrutura, as características de durabilidade dos materiais em questão devem ser avaliadas com o mesmo cuidado que outros aspectos, tais como propriedades mecânicas e custo inicial. O

critério de custo do ciclo de vida de um edifício, em contraposição com a simples análise do custo inicial implica em um melhor conhecimento dos impactos sócio-econômicos e ambientais de uma construção.

A **NBR 6118/2003** define como exigência de durabilidade que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de forma a conservar a segurança, a estabilidade e as condições de serviço ao longo do período considerado como vida útil, atendidas as condições de manutenção recomendadas pelo projetista e pelo construtor e executados os reparos decorrentes de danos acidentais.

LEVY (2001) define que o concreto durável conservará sua forma original, qualidade e capacidade de utilização, ainda que exposto a ambientes agressivos. Esta propriedade está relacionada à observação de critérios rigorosos de controle de qualidade de projeto e de produção.

Segundo **VILASBOAS (2004)**, os requisitos de durabilidade especificados em projeto serão assegurados se forem observados os seguintes critérios:

- Uso de drenagem eficiente
- Uso de formas arquitetônicas e estruturais adequadas
- Cobrimentos apropriados para proteção das armaduras
- Detalhamento racional de armaduras
- Controle de fissuração por retração (através de cura adequada)
- Uso de revestimentos de proteção em ambientes agressivos
- Definição de um plano de inspeção e manutenção

2.3.1.4 Viabilidade Econômica

O empreendedor, o construtor e o usuário têm expectativas diferentes em relação à edificação, mas em geral a viabilidade econômica é um dos

atributos que todos os envolvidos buscam e em muitos casos é o aspecto mais relevante no processo decisório.

MELHADO E AGOPYAN (1995) afirmam que a etapa de projeto é de fundamental importância para que os interesses dos três clientes sejam equilibrados e o empreendimento obtenha os melhores resultados em termos de qualidade e lucratividade.

No caso de obras comerciais, na maioria das vezes, o usuário é o próprio empreendedor e por isso a análise envolve também aspectos qualitativos, os custos-benefício das suas opções.

Outro aspecto fundamental, especialmente no tipo de construção que será o objeto de estudo deste trabalho é a taxa de retorno do investimento, que está diretamente ligado ao tempo de execução.

2.3.1.5 Sustentabilidade

Sustentabilidade, de acordo com **TOKUDOME (2005)**, é a utilização responsável de recursos naturais, de forma a atender as necessidades do presente sem comprometer às das gerações futuras.

Embora **METHA e MONTEIRO (1994)** considerem o material concreto como “energicamente eficiente e ecologicamente harmônico”, devemos lembrar que é composto por recursos naturais não renováveis e que toda edificação irá causar impactos em geral irreversíveis ao meio ambiente local.

O desafio, portanto é atingir o chamado desenvolvimento sustentável, definido como o equilíbrio entre o atendimento das necessidades humanas por recursos naturais, produtos industriais, energia, alimento, habitação e transporte, gerenciando os gastos de forma a minimizar os impactos e proteger o ambiente para que se garantam as condições de desenvolvimento e ambiente da vida futura.

As diretrizes para uma estratégia de eco-eficiência no setor da

construção são sugeridas por **WALLBAUM e BUERKIN (2003)**:

- Selecionar materiais com baixo impacto ambiental e baixo consumo de energia;
- Utilizar materiais reciclados ou recicláveis;
- Redução de peso ou de volume dos materiais;
- Otimização dos produtos ou das técnicas, de forma a obter maior eficiência no uso de energia e menor desperdício de materiais;
- Otimização dos sistemas de distribuição e logística, para redução do consumo de energia de transporte;
- Redução dos impactos ambientais durante o uso da edificação (maior eficiência de energia ou uso de energia ambientalmente compatível)

Para um país em desenvolvimento como o Brasil, a indústria de pré-fabricados, segundo **TOKUDOME (2005)**, desempenha um papel importante no que tange à sustentabilidade social, econômica e ambiental integrada, por ser um sistema construtivo que oferece maior vida útil e menor necessidade de manutenção e restauração.

2.3.1.6 Construtibilidade

Chama-se construtibilidade a característica de uma edificação na situação em que o projeto facilita a construção, limitada pelas considerações e requerimentos da sua utilização. **SANTOS FILHO (2005)**

A ausência deste critério de projeto, segundo **SANTOS FILHO (2005)**, pode levar a padrões baixos de construção, montagens complexas, grande número de operações, necessidade de contratação de especialistas e torna a manutenção e o reparo das edificações problemático.

O principal entrave para se projetar utilizando os conceitos de construtibilidade é a deficiente comunicação entre empresa e clientes,

especialmente com os profissionais envolvidos na concepção arquitetônica dos empreendimentos, o que ocasiona problemas como a dificuldade para ampliar a padronização dos produtos e o desenvolvimento de soluções otimizadas.

TOKUDOME (2005)

O projeto do arcabouço estrutural deve considerar, para se obter um bom desempenho no que tange à construtibilidade, as tecnologias e habilidades de mão-de-obra disponíveis para sua construção e as condições de acessibilidade, condições de armazenagem, o sequenciamento, a segurança das operações e o fluxo de informações.

BENEVIDES (2004) afirma que projeto e planejamento são a chave para a garantia de uma edificação bem executada, ressaltando que a compatibilização dos projetos e a programação de produção que permita a entrega de forma a obedecer uma seqüência de montagem proporcionam ritmo e continuidade à obra.

Esta é uma abordagem fundamental para a racionalização de um sistema construtivo conforme **PEREIRA (2005)** e simplificada e pode-se definir construtibilidade como o grau de facilidade com que algo pode ser construído.

Baseando-se em revisão bibliográfica, **PEREIRA (2005)** relaciona os princípios e técnicas que norteiam a busca de soluções que levem a bons níveis de desempenho no que tange à construtibilidade. Segundo a pesquisadora este processo passa por várias etapas, sendo plenamente atingida quando:

- Existe comunicação adequada entre projeto e obra;
- Há um prévio desenvolvimento de seqüências construtivas;
- Há padronização dos materiais de construção ou pouca variabilidade;
- Existe acessibilidade adequada aos locais de trabalho;
- Os projetos são simplificados, permitindo repetibilidade de peças;
- São utilizados materiais que possibilitem futuras ampliações;

- É possível a montagem seqüencial, facilitando a abertura de frentes de trabalho;
- Ocorre a redução de componentes;
- Diminuição de sobreposições e embutimento de materiais;
- Ocorre a adequação do peso dos componentes com as possibilidades de montagem;
- Intercambialidade e flexibilidade de componentes e materiais;
- Modulação na fase de concepção, com opção por espaçamentos uniformes entre elementos construtivos.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 CONTEXTO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresenta os métodos e técnicas utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa, apontando os caminhos percorridos na construção desta dissertação. Inicia-se com a caracterização do problema e a indicação da filosofia empregada. A seguir mostra as estratégias e ferramentas de coleta de dados empregados.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

No meio acadêmico e científico existe uma quantidade expressiva de literatura dedicada ao estudo dos sistemas construtivos em relação ao desempenho estrutural, confiabilidade e durabilidade de estruturas de concreto. Mais especificamente sobre estruturas pré-fabricadas existem diversos estudos focados em desenvolver e estudar o comportamento das ligações, consideradas pelos especialistas como o ponto delicado desta solução estrutural.

Estes trabalhos oferecem diretrizes para o dimensionamento, cálculo e na determinação de critérios e parâmetros normativos. Porém há uma carência de trabalhos voltados à orientação das decisões estratégicas, de escolha das soluções estruturais. Em geral a escolha de um sistema é orientada pelo seu valor monetário, sendo que algumas variáveis econômicas como custo administrativo, de remoção de entulho nem sempre são corretamente equalizados.

No entanto uma estrutura somente pode ser considerada eficiente se

aliar um custo competitivo a atributos de desempenho técnico, construtivo e ao longo de sua vida útil apresentar um comportamento adequado ao bom funcionamento da edificação.

Neste cenário este trabalho busca contribuir com um modelo de análise de desempenho que forneça parâmetros para a escolha entre sistemas construtivos, incrementando o avanço do conhecimento nesta área e investigando os evidências que levem à solução da seguinte questão: **Como medir o desempenho de uma solução construtiva?**

Por se tratar de disciplina na área de engenharia e com foco em gestão, a filosofia subjacente da metodologia aplicada é a positivista ou construtivista que ficará evidenciada em todo o trabalho e no processo de construção do conhecimento adquirido com a pesquisa.

3.3 MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO

O aspecto filosófico é uma das vertentes que norteiam a escolha de um método de pesquisa científica e expressa como os dados e teoria são relacionados.

Neste trabalho fica evidente a epistemologia positivista, cuja característica principal é o experimentalismo sistemático. Segundo **RIBEIRO JUNIOR (1994)**, o positivismo é uma filosofia determinista que considera anticientífico todo estudo das causas finais, buscando através da observação e da experimentação a descoberta das relações permanentes que ligam os fatos.

Como sistema filosófico, busca estabelecer a máxima unidade na explicação dos fenômenos universais, pelo emprego exclusivo do método empírico ou da verificação experimental (**RIBEIRO JUNIOR 1994**).

A natureza do problema apontou o estudo de caso como método mais adequado para esta pesquisa, por se tratar de um estudo que focaliza eventos contemporâneos e não exige controle sobre eventos comportamentais **YIN**

(2005).

ROBSON (1993) define estudo de caso como sendo uma estratégia para fazer pesquisa que envolva investigação empírica de um fenômeno particular contemporâneo, dentro de um contexto da vida real, usando múltiplas fontes de evidência.

A tabela 3.1, extraída de **YIN (2005)** mostra um esquema para seleção das diferentes estratégias de pesquisa em função da questão da pesquisa e das características dos dados a serem levantados.

TABELA 3.1 – SITUAÇÕES PARA DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PESQUISA

Estratégia	Forma de questão de pesquisa	Exige controle sobre os eventos comportamentais?	Focaliza acontecimentos contemporâneos?
Experimento	Como, por que?	Sim	Sim
Levantamento	Quem, onde, quantos, quando?	Não	Sim
Pesquisa bibliográfica	Como, por que?	Não	Não
Análise documental	Quem, o que, onde, quantos, quando?	Não	Sim/não
Estudo de caso	Como, por que?	Não	Sim

FONTE: YIN (2005)

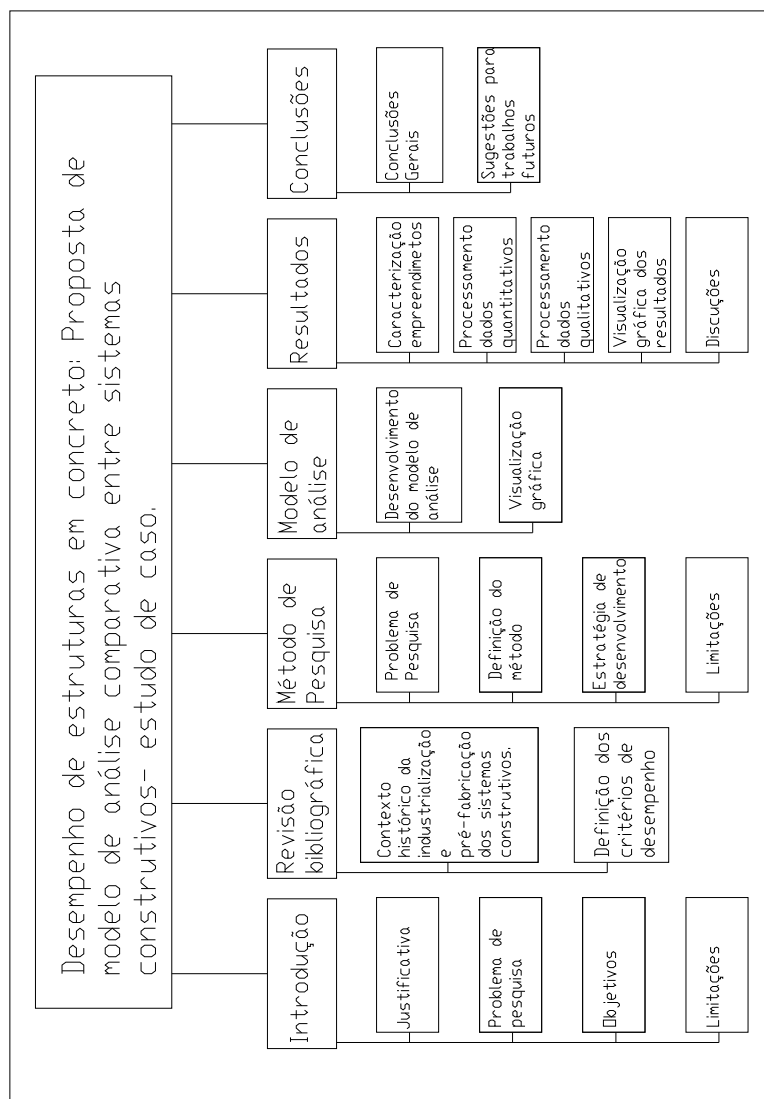
Estas características, associadas à possibilidade de utilização de ferramentas que incluem tanto enfoques quantitativos quanto qualitativos foram as determinantes na escolha do estudo de caso como método desta pesquisa.

3.4 ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO

3.4.1 Mapa de desenvolvimento

As etapas percorridas para o desenvolvimento desta pesquisa estão representadas pela figura 3.1. A figura ilustra as fases do projeto e as inter-relações entre elas.

FIG.3.1 – FASES DO PROJETO DE PESQUISA



3.4.2 Revisão bibliográfica

A finalidade da revisão bibliográfica em qualquer trabalho científico é proporcionar ao pesquisador o máximo de informações concernentes ao objeto de sua pesquisa. Segundo **PARRA FILHO & SANTOS (2002)** qualquer que seja o campo a ser pesquisado, sempre será necessária uma pesquisa bibliográfica, para se ter um conhecimento prévio do estágio em que se encontra o assunto.

Neste trabalho de pesquisa foram revisados os assuntos relativos a industrialização da construção, racionalização dos processos construtivos, pré fabricação e análise de desempenho das edificações. Alguns autores foram mais citados por serem especialistas nesses temas e pela identificação da pesquisadora com os conceitos e abordagens destes. Entre eles estão **EL DEBS (2000)**, **SABATINI (1989)**, **CAMPOS (1989 E 2002)** E **GEHBAUER (2004)**.

Desta forma, a revisão bibliográfica realizada deu suporte para a delimitação da pesquisa, forneceu subsídios para a elaboração da estratégia de coleta de dados além de permitir que este trabalho contenha um breve apanhado do estado da arte da pré-fabricação no Brasil e no mundo.

3.4.3 Escolha dos objetos do estudo de caso

Existem inúmeros fatores que influenciam na escolha de um sistema construtivo e no desempenho da edificação ao longo de sua vida útil. Em geral o principal fator determinante é a utilização que este imóvel terá. Por isso, para que não houvessem vieses na avaliação da performance optou-se por duas obras que tivessem a mesma função em relação ao uso.

Foram escolhidas duas obras realizadas na mesma cidade, construídas para o mesmo fim e aproximadamente na mesma época. As características geométricas são pouco distintas, tendo os dois projetos características de simetria e repetibilidade de formas, embora no resultado arquitetônico final as

semelhanças tenham ficado pouco evidentes.

Outro aspecto importante na escolha dos objetos de estudo foi a concordância destas instituições e dos profissionais envolvidos (arquitetos, construtores e usuários) em participar da pesquisa, fornecendo os dados necessários, apresentando os documentos históricos e respondendo aos questionários.

Embora tenhamos citado estes profissionais e empresas como colaboradores e nos agradecimentos, vale ressaltar que a ajuda e colaboração foi de fundamental importância para a elaboração deste projeto e que iniciativas como estas é que impulsionam o desenvolvimento tecnológico da construção civil.

3.4.4 Protocolo de coleta de dados

O método de estudo de caso pressupõe a utilização de múltiplas fontes de evidência, segundo **YIN (2005)** e devem ser baseados na convergência de informações de dados qualitativos e quantitativos, provenientes de diferentes fontes.

Neste estudo foram coletados dados documentais e históricos. Projetos, relatórios de produção, arquivos fotográficos, diários de obra. Também foi proposto um questionário para o arquiteto projetista do empreendimento, outro para a construtora executora da obra e um para o usuário do imóvel pronto, que forneceram os dados qualitativos para a avaliação e validação do método proposto.

A fase de entrevista para aplicação dos questionários foi uma etapa bastante esclarecedora e produtiva, pois ao mesmo tempo em que os dados foram coletados e estruturados foi possível fazer observações diretas e captar informações relativas a critérios de escolha da solução estrutural, interferências não previstas no andamento das obras, aspectos econômicos e culturais das

instituições, que de certa maneira influenciaram nas tomadas de decisão e na concepção dos projetos.

3.4.5 Proposta do modelo de análise

O modelo de análise proposto neste trabalho tem como objetivo fornecer diretrizes para a tomada de decisão em relação a escolha do sistema estrutural mais adequado para uma edificação qualquer.

Para que tenha aplicabilidade e seja ferramenta de apoio no meio profissional, todos os dados utilizados na definição dos parâmetros são facilmente obtidos, mesmo na fase de concepção dos projetos, de forma estimativa e podem ser verificados após a conclusão da construção.

Os atributos de desempenho considerados foram: variações dimensionais, estabilidade global, durabilidade, viabilidade econômica, construtibilidade e sustentabilidade. Com estes critérios pretendeu-se fornecer uma visão ampla do comportamento da estrutura, desde a concepção até a utilização.

Embora o aspecto de durabilidade tenha sido considerado, a vida útil dos elementos não foi elencada por ser um parâmetro de difícil análise e por terem sido escolhidas duas construções relativamente recentes. Para podermos avaliar o comportamento em relação a este atributo teríamos que obter dados relativos a custos de manutenção e quando consultados a este respeito os usuários não detinham esta informação.

A forma gráfica para visualização dos resultados escolhida foi o gráfico de radar, por permitir a observação simultânea de vários parâmetros.

Atribuídos os vértices do gráfico de radar foram definidas equações para obtenção dos valores numéricos dos atributos, com a proposta de utilização dos dados quantitativos coletados no estudo de caso.

YIN (2005) define que a validação externa de um trabalho científico

deve estabelecer o domínio para o qual as descobertas podem ser generalizadas e pode ser obtida através da reaplicação do método. Desta forma, a validação deste projeto de pesquisa foi obtida através da avaliação dos dados qualitativos coletados, através da atribuição de “notas” para as características da edificação, utilizando os mesmos procedimentos anteriores.

3.4.6 Limitações

Os critérios de avaliação de desempenho definidos neste trabalho limitam-se a sistemas executados em concreto, tendo as equações propostas validade apenas para efeito de comparação entre as modalidades construtivas.

A utilização deste modelo como ferramenta de análise comparativa entre soluções que utilizam-se de outros materiais é possível mas carece de adaptações dos parâmetros e dos questionários.

O critério de construtibilidade, neste trabalho, pressupõe a disponibilidade regional do sistema industrializado ou pré-fabricado. No caso de aplicação do método para edificações que irão ser implantadas em locais onde não existe tal disponibilidade, o atributo de construtibilidade deverá incluir aspectos de custos relativos ao transporte e tempo de deslocamento das unidades fabris ao canteiro de obra.

4 MODELO DE ANÁLISE

O modelo de análise apresentado neste trabalho foi elaborado como ferramenta de auxílio para engenheiros, arquitetos e empreendedores no processo de decisão sobre a adoção de um sistema estrutural convencional ou pré-fabricado. Contudo pode também ser utilizado para outros sistemas construtivos, bastando que para isso sejam feitas as devidas adaptações nos critérios de indexação dos atributos de desempenho.

Com o intuito de verificar a percepção dos parâmetros analisados foi estruturado um questionário para ser aplicado aos envolvidos no empreendimento de forma a relacionar os dados quantitativos com dados qualitativos.

4.1 CONTEXTO DO CAPÍTULO

No capítulo anterior foi apresentado o método adotado para produção deste trabalho, definidos os protocolos de coleta de dados e os meios de validação.

Este capítulo apresentará o modelo de avaliação de desempenho para estruturas pré-fabricadas e convencionais de concreto, estabelecerá os critérios de quantificação dos atributos e apresentará uma proposta de análise dos dados gráfica.

No próximo capítulo serão relatados os estudos de caso e analisados os resultados da coleta de dados.

4.2 DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS

A proposta deste trabalho é apresentar um modelo que possa ser facilmente aplicado e principalmente que tenha uma conotação prática. Desta forma a determinação dos parâmetros de referência foi feita a partir de informações que podem ser encontradas, em qualquer empreendimento executado ou estimado, no caso de uma obra em processo de análise e concepção.

Os parâmetros escolhidos foram, por hipótese, considerados linearmente independentes.

4.2.1 Variações dimensionais

Conforme visto na literatura e definido no capítulo 2 deste trabalho, as variações dimensionais são causadas por falhas de produção e ocorrem por problemas do processo produtivo ou de ajuste das máquinas.

O atributo de desempenho por variação dimensional, para efeito da análise que trata este trabalho, será dado pelo índice que representa o volume de concreto inicial (de projeto) e volume real consumido para a execução da estrutura, representado pela expressão 1:

$$\nu = \frac{V_i}{V_f} \quad (1)$$

Onde:

ν = índice de variação dimensional

V_i = Volume de concreto previsto

V_f = Volume de concreto executado

Neste trabalho utilizaremos este índice de duas formas: a primeira partindo de informações consolidadas coletadas de obras executadas. A segunda

utilizará dados de publicações que indicam o percentual de perdas ou de acréscimo do volume de concreto usualmente observado na execução.

Não serão consideradas aqui as conseqüências de desaprumos e desalinhos da estrutura e os respectivos impactos nos sistemas complementares (alvenaria, sistemas elétrico, hidráulico, esquadrias, etc).

4.2.2 Aparência estrutural

A estabilidade e segurança de uma estrutura, conforme visto no capítulo 2 deste trabalho, é garantida quando as condições de equilíbrio são verificadas, mesmo quando atuam esforços excepcionais e quando os deslocamentos alterem os esforços internos.

Para isso deve ser considerada a adoção de medidas que garantam a ductilidade da estrutura, mas de forma a permitir um desempenho adequado em serviço. Entretanto, a mais sutil movimentação pode desencadear um desconforto ao usuário e provocar a sensação de instabilidade da edificação.

A reação do leigo é, segundo constatação das observações diretas, relacionar a estabilidade com as seções dos elementos estruturais, principalmente no caso de estruturas pré-fabricadas, onde as ligações ficam aparentes. Desta forma, quanto maior o volume de concreto utilizado na execução da estrutura, maior a sensação de a edificação é segura.

Convencionamos portanto, que o atributo de aparência estrutural ficará vinculado ao volume de concreto da estrutura versus a altura e seria dado pela seguinte equação:

$$ae = \frac{V_c}{H_e} \quad (2)$$

Onde:

V_c = Volume de concreto total utilizado

H_e = Altura total da estrutura (do piso à cobertura)

4.2.3 Durabilidade

Segundo **METHA e MONTEIRO (1994)**, muitas propriedades do concreto como módulo de elasticidade, estanqueidade, impermeabilidade e resistência às intempéries, incluindo águas agressivas, são diretamente relacionadas com a resistência à compressão.

“Muitos pesquisadores verificaram que, principalmente devido à baixa permeabilidade, os concretos de alta resistência têm excelente resistência a vários agentes físicos e químicos, que são responsáveis, normalmente, pela deterioração do concreto.” (**METHA e MONTEIRO, 1994**)

LEVI (2001) afirma que a durabilidade e a resistência à compressão do concreto estão estritamente relacionadas e justifica a utilização da resistência como parâmetro de avaliação, principalmente pelo fato de ser uma grandeza de fácil e acessível controle e conhecida no meio técnico.

Assim, o atributo de durabilidade, para efeito deste modelo de análise é função da relação da resistência à compressão do concreto usual (que iremos atribuir como 25 MPa) e a resistência característica média à compressão verificada pelos ensaios dos corpos de prova do concreto utilizado na execução da estrutura.

A equação fica:

$$d_k = \frac{\overline{fck}}{f_{cu}} \quad (4)$$

Onde:

d_k = índice de durabilidade

\overline{fck} = resistência característica à compressão média

f_{cu} = resistência à compressão usual

Como estamos atribuindo o valor de 25 MPa à f_{cu} , a equação fica:

$$d_k = \frac{\overline{fck}}{25} \quad (5)$$

4.2.4 Viabilidade Econômica

Ao contrário da simples análise de custos, muitos são os fatores que afetam a viabilidade econômica de uma solução estrutural. A rapidez na execução, a facilidade de gerenciamento e o número reduzido de funcionários são fatores favoráveis ao sistema pré-fabricado.

Entretanto, para alguns tipos de empreendimento como o de edifícios residenciais, por exemplo, o tempo de comercialização é longo e a velocidade de execução passa a não ser tão importante. A utilização da pré-fabricação nestes casos poderia comprometer a rentabilidade do investimento, já que os recursos financeiros devem ser aplicados gradativamente, conforme disponibilidade.

No caso específico deste trabalho consideraremos apenas as edificações comerciais e industriais, partindo-se do pressuposto que o capital a ser investido na construção é um valor disponível e que, estando terminado, o empreendimento inicia o período geração de recursos.

Assim definimos o parâmetro de viabilidade como:

$$Ve = \frac{t_{ret}}{t_o} \quad (6)$$

Onde:

Ve = parâmetro de viabilidade econômica

t_{ret} = tempo de retorno do investimento

t_o = tempo de execução da obra

Para efeito de simplificação da análise o tempo de retorno foi considerado a partir de parâmetros análogos para ambos empreendimentos, embora cada instituição tenha o seu padrão de valores e taxas de ocupação (número de alunos por metro quadrado) distintos.

4.2.5 Sustentabilidade

Considerando a definição de sustentabilidade “*utilização responsável de recursos naturais, de forma a atender as necessidades do presente sem comprometer às das gerações futuras*” podemos concluir que nenhuma edificação pode ser considerada uma atividade sustentável, já que os principais materiais de construção em corrente uso são recursos naturais não renováveis, embora ainda sejam encontrados em abundância.

Existe a possibilidade futura de que algumas regiões do Brasil enfrentem dificuldades para a obtenção de materiais em razão das barreiras ambientais impostas para exploração e mineração.

Entretanto, em países em desenvolvimento, o déficit habitacional e a necessidade de crescimento impulsionam o setor da construção civil. A solução para esta difícil equação está na escolha dos materiais e sistemas construtivos que apresentem melhores resultados com menor consumo de materiais e energia.

Dados do **US Green Building Council (2006)** apontam que nos Estados Unidos as edificações são responsáveis por:

- 37% do total de energia consumida, (sendo 65% do consumo de energia elétrica);
- 30% das emissões de gases;
- 30% do uso de materiais;

- 30% de desperdício (136 milhões de toneladas/ano);
- 12% do consumo de água potável.

Especial atenção deve ser dispensada na concepção da tipologia estrutural, pois segundo estudo de **OCHSENDORF (2003)**, em um edifício comercial típico, do total de energia consumida na execução, 24% é gasto para produção da estrutura.

Para **OCHSENDORF (2003)**, todo material tem suas vantagens e desvantagens e a análise energética é apenas uma das possíveis análises de desempenho.

Prova deste argumento é o trabalho de **KREIJGER (1987)**, que traçou o perfil ecológico de diversos materiais, utilizando valores de custos por metro cúbico em função do módulo de elasticidade de cada um destes materiais.

Neste trabalho o parâmetro de sustentabilidade foi obtido através da análise da eficiência energética da solução estrutural, com base no estudo de **ALASALMI E KUKKO (1983)** que propõem que a quantidade de energia em 1 metro cúbico de concreto pode ser calculada a partir dos seguintes valores:

Concreto armado = 3.200 a 800 kWh/m³

Transporte (para pré-fabricados) = 100 kWh/m³

Tratamento térmico = 50 kWh/m³

Lançamento e cura normal = 120 kWh/m³

Foi considerado como desempenho energético das soluções adotadas o coeficiente de sustentabilidade, dado pela fórmula:

$$S = \frac{\textit{Área}}{\textit{E}} \quad (7)$$

Onde:

S = parâmetro sustentabilidade

E_{pf} = Energia da solução pré-fabricada em KWh/m³, que é dada pela

equação:

$$E_{pf} = V_{pf} (2500 + 100 + 50) \quad (8)$$

E_{il} = Energia da solução in loco em KWh/m³, que é dada pela equação:

$$E_{il} = V_{il} (2500 + 120) \quad (9)$$

Não foi considerada nesta função a energia necessária para a confecção das formas, pois os empreendimentos avaliados não dispunham das informações necessárias para a obtenção dos respectivos valores.

Na situação de aplicação desta metodologia em casos práticos é possível fazer uma estimativa da quantidade de material a ser empregado e somar ao gasto energético total.

4.2.6 Construtibilidade

Construtibilidade é a característica de uma construção em que o projeto da edificação facilita as operações de produção, evidenciando na fase da concepção todas as limitações e obstáculos que serão encontrados em função da utilização, localização, topografia, formas arquitetônicas e métodos construtivos.

A simulação dos efeitos gerados pelas escolhas das técnicas, materiais e sistemas construtivos leva à melhor combinação, que conseqüentemente ocasionará benefícios ao construtor e ao cliente.

Uma obra bem planejada gera economia significativa durante a fase executiva, diminuindo os custos administrativos e reduzindo o tempo de execução.

Assim, o índice de desempenho no que tange à construtibilidade proposto fica:

$$C = \frac{A}{t} \quad (10)$$

Onde:

C = parâmetro de construtibilidade

A = Área construída

t = tempo total de execução da obra

Valores maiores indicam áreas mais extensas construídas em tempos menores, o que indica a facilidade de execução e implica em redução de custos administrativos.

4.3 MATRIZ DE DESEMPENHO

A partir da definição destes parâmetros foi possível a criação de uma matriz de desempenho para cada uma das edificações avaliadas neste estudo de caso. Com os dados documentais coletados fizemos o cálculo dos coeficientes, conforme serão apresentados no capítulo a seguir.

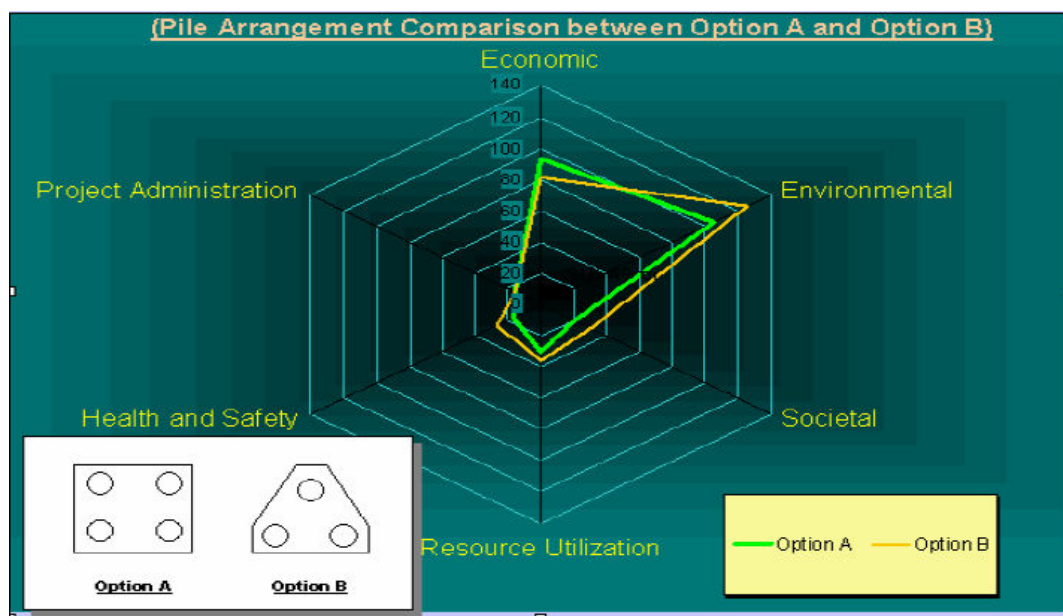
4.4 VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DA ANÁLISE

A proposta de utilização de uma visualização gráfica em forma de gráfico de radar foi escolhida por facilitar a visualização de todos os parâmetros avaliados e permitir que sejam colocados os valores dos dois empreendimentos objetos do estudo de caso.

Num exemplo extraído de UGWU, KUMARASWAMY E NG (2003), a comparação é realizada entre duas possíveis soluções para execução da fundação de uma ponte: blocos de 3 ou 4 estacas, nomeadas respectivamente como opção A e opção B.

Os critérios analisados foram: economia, aspectos ambientais, administração do projeto, segurança, recursos utilizados e aspectos sociais. A figura 4.1 mostra os resultados obtidos pelos pesquisadores.

FIG. 4.1 – COMPARAÇÃO ENTRE OPÇÃO A E OPÇÃO B



Esta forma de visualização permite que este método seja usado em situações de tomada de decisão em relação a tipologia construtiva, para qualquer que seja a solução, permitindo uma verificação criteriosa do desempenho das diversas opções.

Também é possível enfatizar aspectos considerados relevantes em detrimento de outros que não sejam tão importantes, ou seja: numa situação de uma edificação que tenha auditoria ambiental pode ser mais importante o seu desempenho em relação à sustentabilidade do que à viabilidade econômica.

4.5 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

A validação dos resultados foi feita através da tabulação dos dados qualitativos coletados pelos questionários que foram aplicados aos envolvidos no projeto. Foram entrevistados os arquitetos autores dos projetos, as empresas construtoras e os usuários das edificações.

As questões relativas a interface com os demais sistemas utilizados e a

planicidade foram relacionados ao atributo de variações dimensionais, a questão das vibrações à estabilidade e a durabilidade foi obtida com os valores da questão de permeabilidade.

Na aplicação do questionário os participantes foram orientados a dar a nota no item desempenho global avaliando os resultados da edificação em relação a sustentabilidade, viabilidade econômica e construtibilidade do sistema construtivo escolhido.

Na tabulação dos resultados, portanto, este valor foi atribuído a todos os parâmetros citados.

Além deste item, a velocidade de execução e a entrega do cronograma contratado foram atribuídos à viabilidade econômica e todas as demais questões foram para obter o índice de construtibilidade.

A metodologia empregada para definição da estratégia de coleta de dados está descrita no capítulo 3 e os resultados podem ser observados no capítulo a seguir.

5 RESULTADOS E ANÁLISES DO ESTUDO DE CASO

5.1 CONTEXTO DO CAPÍTULO

Neste capítulo são apresentados e analisados os dados coletados. Inicialmente é feita uma caracterização dos empreendimentos estudados, de forma a relatar as características e as ocorrências significativas para a avaliação dos resultados. Em seguida são calculados os parâmetros, utilizando os dados coletados e o método proposto. Para consolidação dos dados foi feita a aplicação dos questionários para os profissionais envolvidos na concepção, execução e utilização dos empreendimentos estudados. Para facilitar a visualização foi feita uma análise comparativa dos gráficos das duas soluções estruturais, encerrando com uma discussão dos resultados.

5.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados em duas etapas: em um primeiro momento foram coletados os documentos que forneceram os números para a determinação dos parâmetros. A segunda etapa foi a aplicação dos questionários, que visou a validação dos conceitos através de uma atribuição de valores em dados qualitativos.

Estes questionários foram aplicados pela própria pesquisadora e um dos aspectos mais importantes desta fase foi a observação direta. Todas as observações e comentários dos entrevistados foram anotados e ajudaram para

compreensão dos resultados. Várias interferências não relatadas nos documentos foram comentadas pelos profissionais envolvidos na execução dos empreendimentos e colaboraram para uma análise mais precisa do desempenho da solução estrutural.

Os documentos utilizados neste trabalho foram:

- Relatório de produção da estrutura pré-fabricada;
- Levantamento quantitativo de material utilizado para proposta comercial (orçamento da estrutura);
- Resumo de diários de obra;
- Projetos arquitetônicos e estrutural;
- Registros fotográficos da execução.

Para consolidação dos resultados dos dados foram aplicados questionários, para ambas as edificações estudadas, ao arquiteto autor do projeto, ao engenheiro responsável pela execução da obra e ao usuário final.

O objetivo foi avaliar a percepção dos envolvidos em relação aos parâmetros estudados. As questões fechadas relacionam dados qualitativos com valores numéricos, numa escala de 1 a 10 e as questões abertas forneceram subsídios para a observação direta e foram fonte importante de informações.

TABELA 5.1 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ARQUITETOS AUTORES


		UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ Setor de Tecnologia Programa de Pós Graduação em Construção Civil								
1) Dados da obra										
Obra:		Local:								
Área:		Volume de concreto:								
Data de execução:		Tempo de execução:								
Arquiteto:										
Construtora:										
Empreendedor:										
Tipo de estrutura utilizada:		Convencional	<input type="checkbox"/>			Pré-fabricada	<input type="checkbox"/>			
2) Dados de projeto										
Utilize a escala de 1 a 10 para expressar o desempenho da solução estrutural escolhida, onde a nota 1 indica baixo desempenho e a nota 10 alto desempenho.										
Atributos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Adaptabilidade ao projeto arquitetônico										
Possibilidades de grandes vãos										
Flexibilidade de formas										
Compatibilização com demais projetos										
Desempenho global										
a)Qual o aspecto mais relevante considerado na tomada de decisão pela utilização da solução estrutural escolhida, para este projeto?										
b)Em caso de um projeto similar, optaria novamente pela mesma solução? Por que?										

TABELA 5.2 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ENGENHEIROS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Setor de Tecnologia
Programa de Pós Graduação em Construção Civil

1) Dados da obra

Obra:

Local:

Área:

Volume de concreto orçado:

Data de execução:

Volume de concreto utilizado:

Arquiteto:

Tempo de execução:

Construtora:

Empreendedor:

Tipo de estrutura utilizada:

Convencional Pré-fabricada

Valor da obra

Valor da estrutura

2) Dados de execução

Utilize a escala de 1 a 10 para expressar o desempenho da solução estrutural escolhida, onde a nota 1 indica baixo desempenho e a nota 10 alto desempenho.

Atributos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocidade de execução										
Cumprimento do cronograma										
Sincronização de eventos										
Interfaces com demais sistemas										
Compatibilização de projetos										
Desempenho global										


a) Qual o aspecto mais relevante considerado na tomada de decisão pela utilização da solução estrutural

escolhida, para este projeto?

b) Em caso de um projeto similar, optaria novamente pela mesma solução? Por que?

c) Qual a diferença de custo (mensurável) em relação às demais soluções estruturais disponíveis? Quanto este valor representa no valor total?

TABELA 5.3 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS USUÁRIOS DA EDIFICAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Setor de Tecnologia
Programa de Pós Graduação em Construção Civil

1) Dados da obra

Obra: _____ Local: _____
 Área: _____ Volume de concreto: _____
 Data de execução: _____ Tempo de execução: _____
 Arquiteto: _____
 Construtora: _____
 Emreendedor: _____

Tipo de estrutura utilizada: Convencional Pré-fabricada

2) Dados de performance em serviço (utilização)

Utilize a escala de 1 a 10 para expressar o desempenho da solução estrutural escolhida, onde a nota 1 indica baixo desempenho e a nota 10 alto desempenho.

Atributos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Funcionalidade										
Vibrações										
Permeabilidade										
Entrega no prazo acordado										
Retilidade										
Desempenho global										

a) Qual o aspecto mais relevante considerado na tomada de decisão pela utilização da solução estrutural escolhida, para este projeto?

b) Houve necessidade de intervenções de manutenção? Com que frequência?

c) Em caso de um projeto similar, optaria novamente pela mesma solução? Por que?

Os resultados das questões que continham a atribuição de valores foram

tabulados conforme indicado a seguir:

TABELA 5.4 – CRITÉRIO UTILIZADO PARA PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS

Questionário arquitetos	Atributo
Velocidade de execução	viabilidade econômica
Cumprimento do cronograma	construtibilidade
Sincronização de eventos	construtibilidade
Interfaces com demais sistemas	variações dimensionais
Compatibilização de projetos	construtibilidade
Desempenho global	sustentabilidade
Questionário construtores	Atributo
Adaptabilidade ao projeto arquitetônico	construtibilidade
Possibilidades de grandes vãos	construtibilidade
Flexibilidade de formas	construtibilidade
Compatibilização com demais projetos	construtibilidade
Desempenho global	sustentabilidade
Questionário usuários	Atributo
Funcionalidade	construtibilidade
Vibrações	estabilidade
Permeabilidade	durabilidade
Entrega no prazo acordado	viabilidade econômica
Retilidade	variações dimensionais
Desempenho global	sustentabilidade

5.3 FACULDADES CURITIBA

A primeira obra estudada é de uma faculdade administrada por uma entidade mantenedora que coordena financeiramente toda a instituição, embora não interfira nas questões pedagógicas. Em Curitiba são oferecidos cursos nas áreas de Direito, Comunicação Social e Ciências Administrativas.

Em 2003, época da construção do empreendimento analisado, a faculdade desenvolvia suas atividades em um edifício na região central de Curitiba e a falta de mais espaço físico limitava a oferta de mais vagas e consequentemente impedia o crescimento da instituição.

Mais do que um novo prédio para desenvolver suas atividades, a construção promoveu uma mudança na imagem da faculdade.

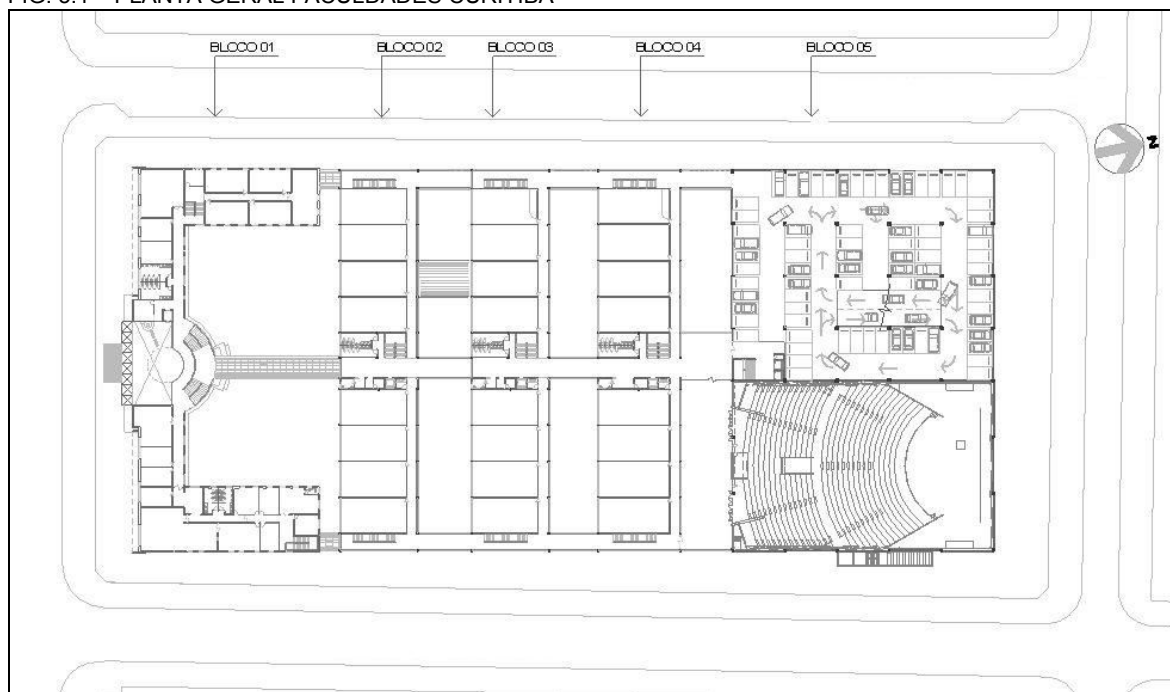
5.3.1 Caracterização do empreendimento

O empreendimento estudado tem área total de 43.109 m² e foi

executado para abrigar parte dos alunos que já estavam matriculados e ampliar a oferta de vagas. Foram executados cinco blocos contendo salas de aula com capacidade para 70 a 60 alunos, além de biblioteca, auditórios, laboratórios e estacionamento.

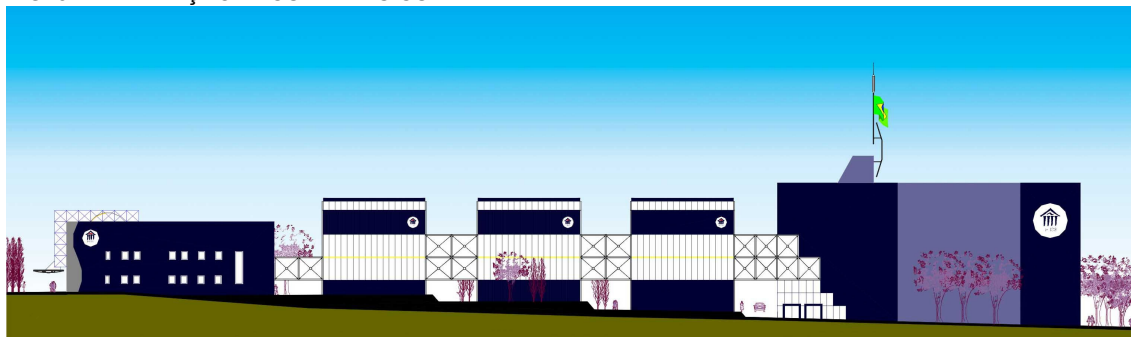
Um dos aspectos importantes considerados no projeto arquitetônico foi a circulação entre os blocos, que se dá através de passarelas que interligam as unidades horizontalmente e elevadores que permitem que ao aluno o acesso a todos os níveis a partir de qualquer dos prédios. A circulação principal ocorre pelo centro dos blocos e a secundária pelas laterais. A figura 5.1 mostra a planta geral e a figura 5.2 uma elevação lateral onde se pode identificar as pontes de acesso.

FIG. 5.1 – PLANTA GERAL FACULDADES CURITIBA



AUTORIA: CSA ARQUITETURA – ARQ. CARLOS SABURIDO

FIG. 5.2 – ELEVAÇÃO FACULDADES CURITIBA



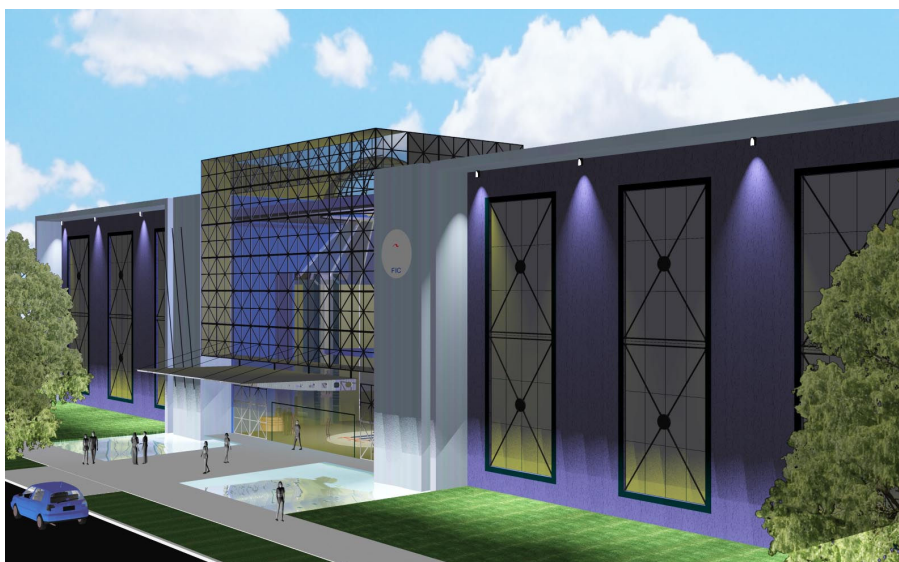
AUTORIA: CSA ARQUITETURA – ARQ. CARLOS SABURIDO

O bloco 1 foi construído com dois pavimentos, abriga a área administrativa e de permanência dos professores além de ter um portal de entrada, com pé direito duplo, formando um hall.

Os blocos 2, 3 e 4 são os chamados blocos funcionais que contêm as salas de aula, laboratórios, bibliotecas, praças de alimentação e salas de pesquisa. Para explorar o máximo do desnível natural do terreno, o bloco 2 foi executado com quatro pavimentos, os blocos 3 e 4 com seis pavimentos e o bloco 5 com sete pavimentos, o que obrigou a estrutura pré-fabricada a criar uma emenda nos pilares, dado o impedimento de transportar peças de vãos superiores a 25 metros.

O bloco 5 é dividido entre um anfiteatro e estacionamento.

FIG. 5.3 – FACHADA FACULDADES CURITIBA



AUTORIA: CSA ARQUITETURA – ARQ. CARLOS SABURIDO

A construção iniciou pelos blocos 3 e 4 pois na região dos blocos 1 e 2 haviam edificações antigas que estavam sendo utilizadas pela universidade. Somente quando foram liberados para utilização os blocos novos é que foi iniciada a demolição e posterior construção da parte frontal e do estacionamento.

Na figura 5.4 é possível visualizar a construção antiga mantida e o novo prédio em construção, em fase de terraplanagem.

FIG. 5.4 – EDIFICAÇÃO EM CONSTRUÇÃO – TERRAPLANAGEM



A opção pela execução com estrutura pré-fabricada foi considerada desde a concepção do projeto, que utilizou-se de grandes vãos para a criação de ambientes arejados e livres, facilitando a circulação dos alunos. Também era uma alternativa para o problema da desocupação das edificações existentes, pois à medida em que os blocos novos iam ficando prontos já se tornava possível a mudança e a demolição dos prédios antigos.

O tempo total de obra foi de 13 meses, sendo que no cronograma inicial

o prazo previsto era de 8 meses. Considerando as informações obtidas através das observações diretas na aplicação dos questionários, a data original de entrega poderia ser cumprida pois não houveram atrasos significativos decorrentes de problemas construtivos.

As figuras 5.5 e 5.6 e ilustram o início das atividades de montagem da estrutura e do final, com detalhe da etapa de acabamento. As imagens foram registradas com data para um melhor acompanhamento da evolução dos eventos.

FIG. 5.5 – INÍCIO DAS ATIVIDADES DE MONTAGEM DA ESTRUTURA – FACULDADES CURITIBA



FIG. 5.6 – FINAL DAS ATIVIDADES DE MONTAGEM DA ESTRUTURA – FACULDADES CURITIBA



O atraso foi gerado por solicitações da própria universidade, em função de alterações da programação física e financeira do investimento. A mudança dos prédios antigos para o novo demandou mais tempo do que planejado pois foram feitas algumas reprogramações durante o período da construção.

FIG. 5.7 – IMAGEM DA EDIFICAÇÃO CONCLUÍDA (FACHADA FRONTAL) – FACULDADES CURITIBA



FIG. 5.8 – IMAGEM DA EDIFICAÇÃO CONCLUÍDA (FACHADA LATERAL) – FACULDADES CURITIBA



Para simplificar a identificação do empreendimento, no cálculo dos atributos de desempenho e na apresentação dos resultados esta obra será representada pela letra A.

5.4 UNIBRASIL

O segundo empreendimento selecionado como objeto deste estudo também é de uma instituição de ensino. Fundada em abril de 2000, oferecia inicialmente o curso de Direito, passando a contar com o curso de Administração a partir do segundo semestre de sua criação.

Com o objetivo claro de crescimento, a faculdade foi incorporando

novos cursos a cada semestre, contando atualmente com 24 cursos de nível superior. Consequentemente foram surgindo as necessidades de espaço físico.

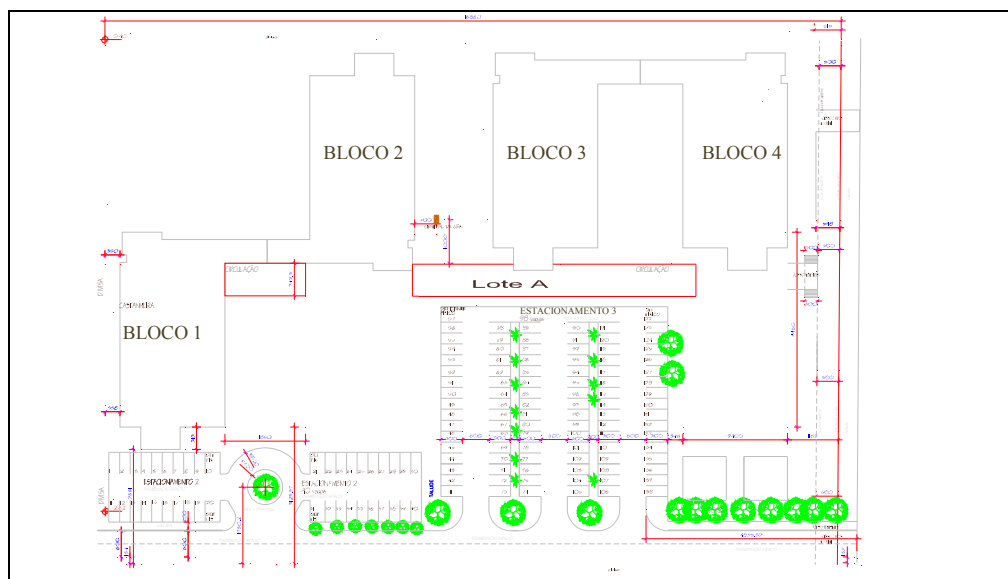
O desenvolvimento planejado e programado permitiu a construção do campus em etapas, que ainda não foram concluídas totalmente pois a área final prevista é de 150.000 m² e até a data de conclusão deste projeto a área construída era de 23.590 m².

5.4.1 Caracterização do empreendimento

O aspecto modular deste projeto arquitetônico reflete o objetivo do empreendedor e da instituição de ensino em promover um desenvolvimento planejado. Blocos isolados, com formas geométricas idênticas e entremeados por pátios de estacionamento e jardim compõem o complexo de ensino, dando ao conjunto características de modernidade e funcionalidade.

Para atender as necessidades iniciais foram construídos os blocos 1, 2 e na seqüência o 3 e 4. Esta etapa foi identificada como lote 1 e a implantação deste conjunto pode ser visualizada na figura 5.9.

FIG. 5.9 – IMPLANTAÇÃO PRIMEIRA FASE - UNIBRASIL

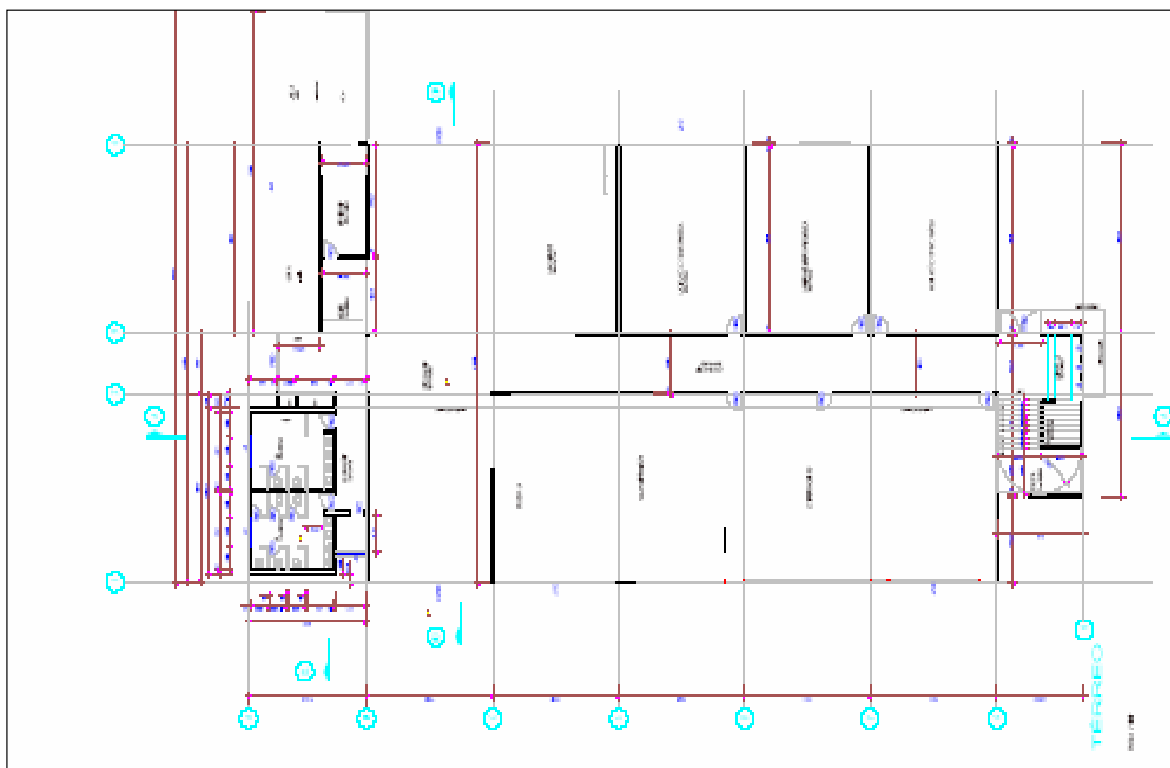


AUTORIA: ARQUITETO HÉLIO SATO

Estes blocos são compostos basicamente por salas de aula, que foram projetadas para acomodar 50 alunos, com dimensões de 7,5x10,0 metros. A circulação é concentrada no meio do prédio através de corredores e rampas de acesso. A figura 5.10 ilustra a distribuição das salas e a locação dos sanitários no pavimento térreo.

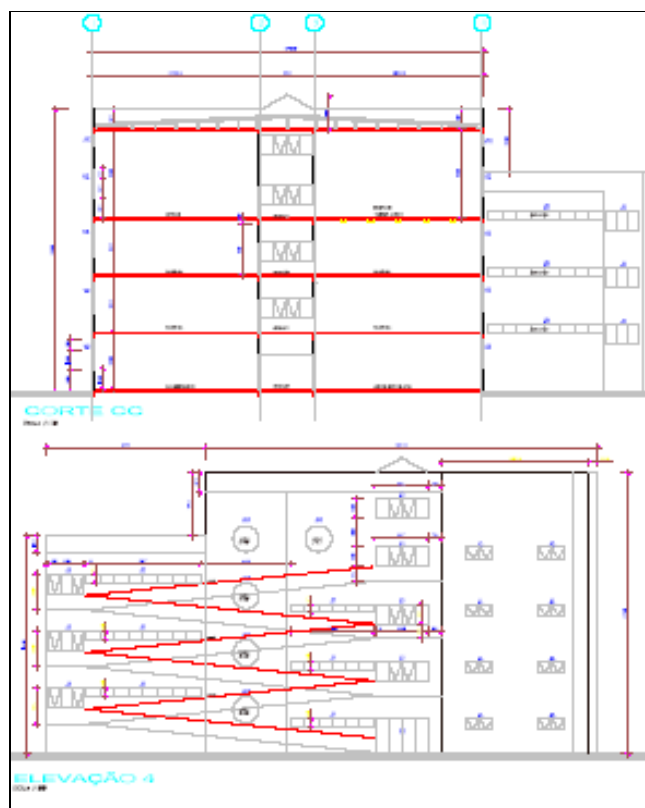
A figura 5.11 mostra um corte e uma elevação, com detalhe da rampa.

FIG. 5.10 – PLANTA BAIXA TÉRREO - UNIBRASIL



AUTORIA: ARQUITETO HÉLIO SATO

FIG. 5.11 – CORTE - UNIBRASIL

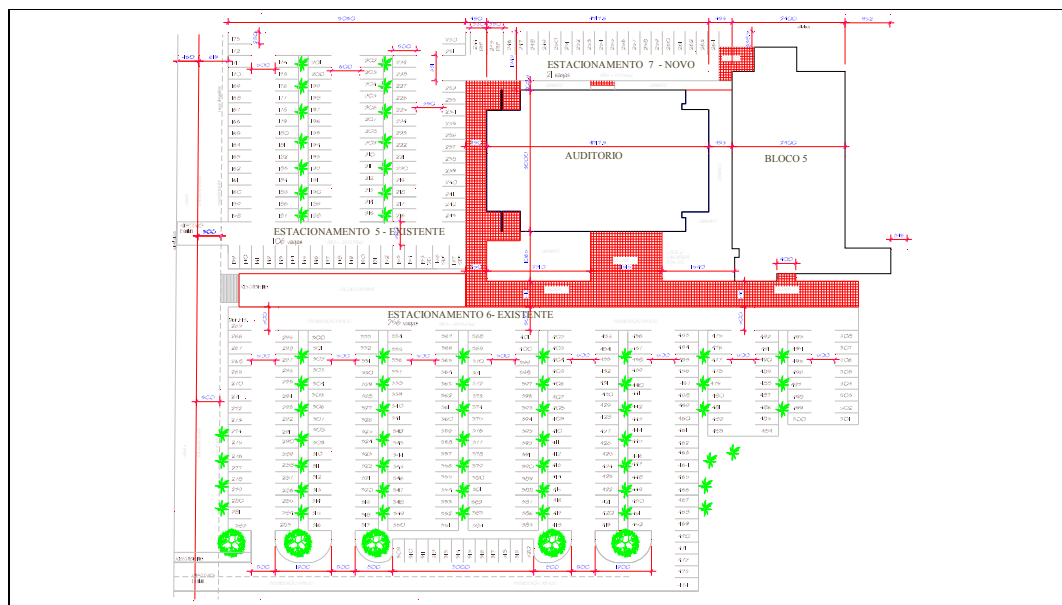


AUTORIA: ARQUITETO HÉLIO SATO

O segundo lote de construção somente foi executado após a ocupação total dos blocos 1 a 4. Esta etapa contou com a construção de uma área grande de estacionamento, um auditório e de mais um bloco de salas de aula, denominado Bloco 5. Na figura 5.12 estão locados os prédios do auditório e do bloco 5.

O plano de expansão ainda não foi concluído e a universidade tem um plano diretor, que dá as orientações para as futuras ampliações.

FIG. 5.12 – IMPLANTAÇÃO SEGUNDA FASE - UNIBRASIL



AUTORIA: ARQUITETO HÉLIO SATO

Atualmente a universidade tem 94 salas de aula construídas, três auditórios e uma biblioteca com 1030 m². O estacionamento tem capacidade para 1684 veículos, sendo 14 vagas destinadas a deficientes físicos, o que representa 10% do total de vagas.

A obra foi executada no sistema tradicional, de concreto moldado no local e um dos aspectos mais importantes para esta decisão foi o custo da solução estrutural, que segundo a construtora apresentou valores mais competitivos.

Para a execução das lajes foi utilizado o sistema de formas metálicas com seção para caixão perdido o que proporcionou maior agilidade, economia de material (formas e escoramento) e reduziu as perdas de concreto nesta tarefa. Na figura 5.13 é possível visualizar o sistema de formas e escoramento utilizado pela construtora.

FIG. 5.13 – EXECUÇÃO DA LAJE (FORMAS E ESCORAMENTO)



Os demais componentes da estrutura foram executados de forma tradicional com formas de madeirite e utilizando concreto usinado com bombeamento. Uma das desvantagens deste método de produção é a interferência das chuvas no processo produtivo.

As figuras 5.14 e 5.15 retratam a concretagem do primeiro pavimento em um dia chuvoso. Pode-se visualizar a haste da bomba de lançamento de concreto e o acentuado número de operários destinados à atividade.

FIG. 5.14 – CONCRETAGEM DA LAJE – DETALHE DA BOMBA



FIG. 5.15 – FORMA DE PILARES E VIGAS



Na entrevista com o usuário foi possível identificar que este sistema, embora tenha sofrido com as variações climáticas e intempéries, o que ocasionou uma dilatação do cronograma previamente estipulado, atendeu às expectativas e foi positivamente avaliado.

Isto pode ser comprovado não somente através das entrevistas, mas também pela constatação que na execução do segundo lote de construção a opção foi pela continuidade da solução. A figura 5.16 comprova a afirmação pois mostra um bloco em fase de acabamento e o bloco sendo construído no mesmo sistema estrutural.

FIG. 5.16 – BLOCO ACABADO E EM CONSTRUÇÃO



Em visita ao imóvel acabado foi possível observar que foram necessárias algumas alterações para adaptar a área construída ao funcionamento da universidade, mas este fato deve-se não ao processo construtivo, mas à concepção arquitetônica.

Algumas salas de aula foram transformadas em salas de professores, ambientes administrativos e cantinas. Embora fosse possível prever a necessidade destes ambientes o modo contratual estipulava a execução dos prédios com as características projetadas.

As figuras 5.17 e 5.18 mostram as fachadas de um dos blocos acabado. Este empreendimento será doravante designado pela letra U para simplificação da apresentação dos resultados.

FIG. 5.17 – FACHADA DE UM BLOCO ACABADO



FIG. 5.18 – FACHADA DE UM BLOCO ACABADO



5.5 PROCESSAMENTO DOS ATRIBUTOS DE DESEMPENHO

5.5.1 Variações dimensionais

Conforme definido no capítulo 4 deste trabalho, o atributo de desempenho por variação dimensional será dado pelo índice que representa o volume de concreto inicial (de projeto) e volume real consumido para a execução da estrutura, representado pela expressão 1:

$$\nu = \frac{V_i}{V_f} \quad (1)$$

Onde:

ν = índice de variação dimensional

V_i = Volume de concreto inicial

V_f = Volume de concreto final (consumido)

O volume inicial da obra A foi obtido através do orçamento da estrutura apresentado à construtora e o final através do relatório de produção da indústria de pré-fabricado. Os dados, representados na tabela 5.4 apresentam uma pequena economia em relação à concepção inicial, o que indica uma melhoria no projeto estrutural. Os dados da construção U foram informados pela construtora, com base em diários de obra e relatórios de custos e referem-se à execução de um bloco.

Substituindo os valores na equação 1, obtivemos os índices de variação dimensional, relacionados na tabela 5.5, que indicam um desempenho melhor da obra A em relação às variações dimensionais.

TABELA 5.5 – DADOS COLETADOS – VOLUMES

	Vi (m3)	Vf (m3)	u
Obra A	5337,20	4789,53	1,11
Obra U	907,90	957,90	0,95

Não avaliamos neste trabalho a questão das perdas (desperdícios) e portanto parte da variação de volume de concreto observada pode ser de material desperdiçado. Entendemos, entretanto, que para efeito de análise de performance é perfeitamente aplicável este critério, já que o material excedente foi efetivamente consumido para a execução da estrutura, tanto no caso de abertura de formas quanto no caso de perdas.

5.5.2 Aparência Estrutural

Uma das variáveis que determina o atributo de desempenho em relação à aparência estrutural, segundo a equação (3) definida no capítulo 4 é a altura dos pilares. Na obra A, conforme descrito na caracterização do empreendimento, os blocos tem alturas diferentes, de acordo com o número de pavimentos.

Para que a análise permitisse a comparação entre os empreendimentos foram utilizados os dados dos blocos 2 e 3, respectivamente com 14,52 e 21,78 metros de altura. Na obra A este valor é de 16,00 metros.

A tabela 5.6 apresenta os dados coletados para os dois empreendimentos e os resultados obtidos através do cálculo da equação 2, proposta no capítulo 4, descrita novamente abaixo:

$$ae = \frac{V_c}{H_e} \quad (2)$$

Onde:

V_c = Volume de concreto total utilizado

H_e = Altura total da estrutura (do piso à cobertura)

TABELA 5.6 – DADOS COLETADOS E APARÊNCIA ESTRUTURAL

Obra A		
Bloco 2	Vc	H
	277,74	14,52
	19,128	
Blocos 3 e 4	Vc	H
	416,60	21,78
	19,128	
Obra U		
Bloco Tipo	Vc	H
	124,52	16
	7,783	

5.5.3 Durabilidade

A equação para avaliação da durabilidade proposta por este método é função direta da resistência característica à compressão especificada pelo projeto estrutural, seja ele do pré-fabricado ou da estrutura moldada no local.

A forma ideal de cálculo deste parâmetro seria utilizando a média dos resultados das resistências observadas nos rompimentos das amostras (corpos de prova) retiradas dos lotes de concreto. Estes dados não foram fornecidos pela indústria produtora da estrutura pré-moldada, sob alegação de segredo industrial.

Para manter o mesmo critério de análise foi utilizada a resistência adotada no cálculo estrutural, de acordo com a equação:

$$d_k = \frac{\overline{fck}}{f_{cu}} \quad (4)$$

Onde:

d_k = índice de durabilidade

\overline{fck} = resistência característica à compressão média

f_{cu} = resistência à compressão usual

Foi atribuído o valor de 25 MPa à resistência à compressão usual, com base em informações de construtores e concreteiras regionais. A tabela 5.7 apresenta os dados coletados e os resultados obtidos.

TABELA 5.7 – DADOS COLETADOS – DURABILIDADE

	Fck (MPa)	d
Obra A	35	1,40
Obra U	20	0,80

Tanto no período de coleta de dados quanto num projeto piloto realizado na fase de proposta de projeto foram encontradas evidências de que as estruturas pré-fabricadas, por utilizarem cimentos de alta resistência inicial e terem um controle rígido do processo de produção, atingem resistências significativamente superiores às especificadas em projeto, o que elevaria ainda mais o índice de desempenho em relação à durabilidade.

Infelizmente não houve adesão da empresa produtora da estrutura pré-fabricada, que não liberou os resultados do controle tecnológico do concreto e por isso tivemos que restringir a análise. Ainda assim os resultados apontam durabilidade superior do pré-fabricado em relação à estrutura convencional.

5.5.4 Viabilidade Econômica

As instituições de ensino estudadas oferecem diferentes cursos nas diversas áreas de atuação e em consequência disso, as mensalidades e a rentabilidade para cada curso são diferentes.

No entanto, para tornar possível o cálculo do tempo de retorno do investimento sem necessitar informações muitas vezes considerada sigilosa pela administração, foi utilizado um valor médio de mensalidade e um percentual de lucro sobre o faturamento idêntico para ambas as faculdades avaliadas.

A equação do tempo de retorno (ou equilíbrio) financeiro foi obtido pela multiplicação do número de alunos de cada uma das instituições pela mensalidade média, estipulada em R\$ 500,00. Descontado o percentual de custos e impostos também convencionado como 80% do faturamento bruto, tem-se o valor de lucro anual líquido.

Com os dados coletados referentes ao custo total das obras, dividiu-se o montante total investido pelo lucro líquido para obtenção do tempo de retorno.

Substituindo o valor obtido por este critério e o tempo de execução na equação (5) proposta, determinou-se o parâmetro viabilidade econômica.

Para ambos os casos o tempo de execução considerado foi o tempo consumido para execução da obra completa, considerando todos os blocos em funcionamento.

$$Ve = \frac{t_{ret}}{t_o} \quad (5)$$

Onde:

Ve = parâmetro de viabilidade econômica

t_{ret} = tempo de retorno do investimento

t_o = tempo de execução da obra

Importante ressaltar que esta função somente é verdadeira nos casos de disponibilidade de recursos pois não são considerados os custos financeiros do dinheiro, caso sejam necessários aportes provenientes de empréstimos. Outro fator de relevância é a possibilidade de utilização integral do empreendimento, para que se possa considerar o início do faturamento total coincidindo com a entrega da obra.

TABELA 5.8 – DADOS COLETADOS – VIABILIDADE ECONÔMICA

	$t_{ret}(\text{meses})$	$t_o(\text{meses})$	Ve
Obra A	35	13	2,69
Obra U	69	24	2,87

Os números obtidos nos mostram que a rapidez na execução de uma estrutura pode não ser desejável. Nos casos onde o retorno financeiro será obtido num prazo mais longo torna-se mais interessante o retardamento da execução ou a construção em etapas, como foi no caso da obra U.

5.5.5 Sustentabilidade

O desempenho relativo à sustentabilidade de uma solução estrutural é medido neste trabalho de acordo com o modelo proposto no capítulo 4, que relaciona a energia consumida para a produção do concreto com a área construída, representado pela equação 6.

$$S = \frac{\textit{Área}}{E} \quad (6)$$

Onde:

S = parâmetro sustentabilidade

E = Energia consumida pela estrutura em KWh/m³

Assim como nos demais parâmetros, quanto menor o valor melhor a performance da solução adotada pois significa que uma área maior pôde ser executada com um menor consumo de energia.

Atribuimos como consumo energético do concreto armado o valor de 2.500 kWh/m³, tanto para a obra A, executada com estrutura pré-fabricada quanto para a obra U, que teve lajes, vigas e pilares moldados no local, com

concreto usinado.

O diferencial entre as duas soluções foi considerado nos consumos para transporte e tratamento térmico (100 kWh/m³ e 50 kWh/m³ respectivamente) para a obra A e no lançamento e cura (120 kWh/m³) para a obra U, conforme indicam as equações 7 e 8.

$$E_{pf} = V_{pf} (2500 + 100 + 50) \quad (7)$$

E_{pf} = Energia consumida pela estrutura pré-fabricada em KWh/m³

V_{pf} = Volume de concreto utilizado na produção da estrutura pré-fabricada.

$$E_{il} = V_{il} (2500 + 120) \quad (8)$$

E_{il} = Energia da solução in loco em KWh/m³.

V_{il} = Volume de concreto utilizado na produção da estrutura moldada no local.

A tabela 5.9 indica os valores obtidos pelo cálculo dos dados coletados no levantamento. A área e o volume considerados para o empreendimento U foram referentes a um único bloco.

TABELA 5.9 – DADOS COLETADOS – SUSTENTABILIDADE

	Vol (m3)	Área(m2)	Energia (kWh)	Sustentabilidade (kWh/m²)
Obra A	694,34	43109	1840001	0,0234
Obra U	124,52	4600	326242	0,0140

Neste critério de análise não foi considerado a energia necessária para a

execução de formas. Caso este aspecto fosse considerado a solução pré-fabricada poderia apresentar resultados melhores tendo em vista o reaproveitamento maior da madeira e a utilização de formas metálicas.

5.5.6 Construtibilidade

Conforme definido no capítulo 4, a velocidade de construção pode ser um indicativo de bom desempenho no quesito construtibilidade. Uma execução rápida reduz os custos administrativos e melhora a rentabilidade do empreendimento.

A edificação A foi um exemplo de sincronização de eventos e da boa utilização dos recursos de industrialização disponíveis na região. A programação das tarefas foi feita de forma que os prédios existentes, que deveriam ser demolidos posteriormente, pudessem continuar a ser utilizados pela universidade até que os blocos novos fossem liberados.

A localização do terreno da construção era um segundo complicador pois são duas vias de bastante movimento e com circulação rápida dos veículos. Para evitar tumulto e congestionamentos, as carretas com os pilares maiores, de até 25 metros, eram enviadas no período da noite, quando o fluxo de automóveis reduzia significativamente.

O cronograma inicial não foi cumprido por causa de uma diminuição proposital do ritmo da obra, solicitada pelos investidores, para que pudesse ser feita uma captação de recursos junto a órgãos financiadores.

O segundo empreendimento, ou obra U, foi realizado em um terreno sem grandes impedimentos. Grande área disponível, facilidade de acesso, topografia suave e a possibilidade de sequenciamento e continuidade da obra eram características facilitadoras.

A opção por lajes nervuradas concretadas no local foi possível graças à disponibilidade do sistema de formas metálicas e do fornecimento de concreto

usinado bombeado.

Para utilizar o mesmo critério de análise, desconsiderando os períodos de espera entre a construção do primeiro e segundo lote de blocos, os dados utilizados para o cálculo deste parâmetro na obra U são os observados na execução de um dos blocos.

Já para a obra A o tempo refere-se ao início da obra e a entrega final, com a possibilidade de utilização de todos os ambientes.

Os dados e resultados da substituição dos mesmos na equação 10, proposta no capítulo 4 estão relacionados na tabela 5.10.

$$C = \frac{A}{t} \quad (10)$$

Onde:

C = parâmetro de construtibilidade

A = Área construída

t = tempo total de execução da obra

TABELA 5.10 – DADOS COLETADOS – CONSTRUTIBILIDADE

	Área (m ²)	t ₀ (meses)	C (m ² /mês)
Obra A	43.109	13	3.316
Obra U	4.600	5	920

5.6 VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS

A principal ferramenta deste método é a visualização gráfica dos resultados. O gráfico de radar permite que sejam observados os pontos críticos e

os pontos altos de determinado empreendimento.

No caso de aplicação deste método num caso prático de concepção estrutural é possível colocar os diferentes sistemas construtivos em um mesmo gráfico e optar pelo sistema que apresente os melhores resultados, ou dar ênfase ao parâmetro de maior relevância.

Neste trabalho foram feitas duas análises: a primeira com os resultados obtidos pelo processamento dos dados coletados e a segunda com os valores atribuídos pelos usuários, arquitetos e construtores para as questões propostas pelos questionários.

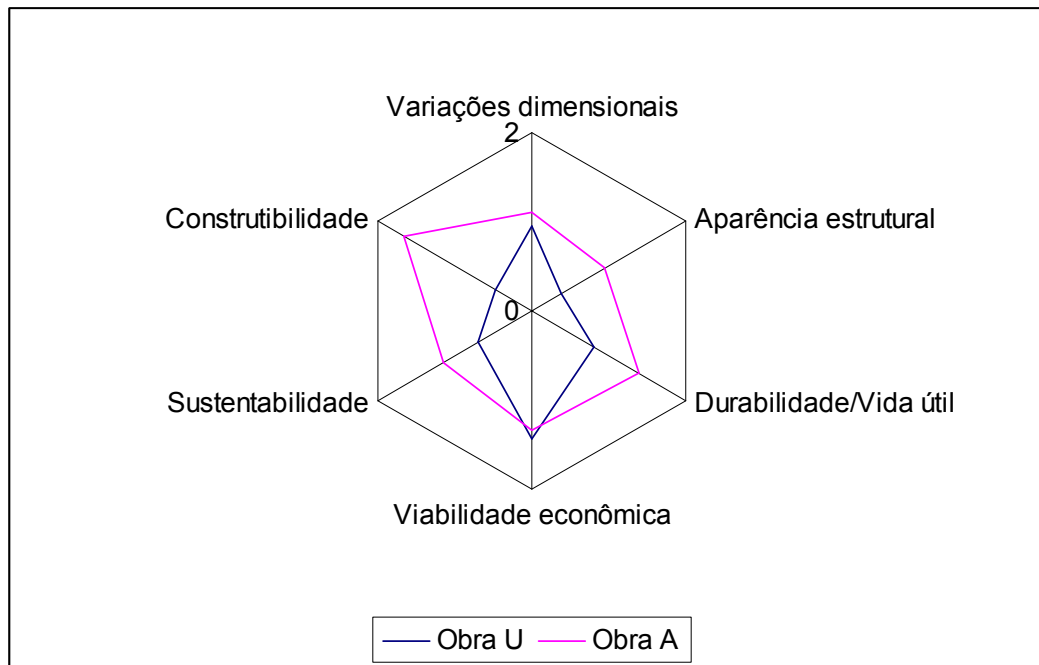
Para o gráfico dos dados foram feitas várias simulações de escalonamento dos resultados para que a visualização ficasse num formato mais adequado.

Uma das opções foi a utilização de escalas diferenciadas para cada um dos parâmetros, conforme indicado na tabela 5.11 e representada pela figura 5.19.

TABELA 5.11 – ESCALAS UTILIZADAS

	Obra U	Obra A	escala	Valores com escala	
				Obra U	Obra A
Variações dimensionais	0,95	1,114347	1	0,95	1,114347
Aparência estrutural	7,78	19,12	0,05	0,389	0,956
Durabilidade/Vida útil	0,8	1,4	1	0,8	1,4
Viabilidade econômica	2,87	2,69	0,5	1,435	1,345
Sustentabilidade	0,014	0,023	50	0,7	1,15
Construtibilidade	920	3316	0,0005	0,46	1,658

FIG. 5.19 – GRÁFICO DOS RESULTADOS ESCALONADOS



A segunda alternativa para a visualização dos resultados foi utilizar uma das edificações como valor de referência. Tomamos então a Obra U como parâmetro e estipulamos que os valores obtidos seriam a base para comparação.

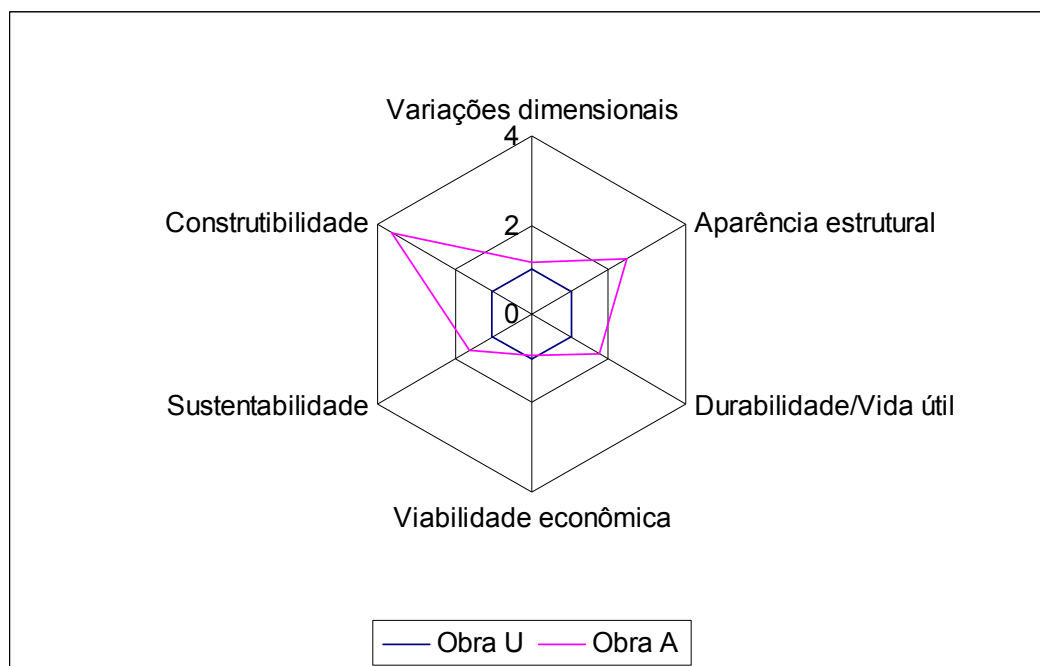
Assim, todos os vértices do gráfico de radar que referem-se à obra U assumem o valor 1 e os resultados numéricos da obra A tornaram-se uma função dos da obra U, conforme mostra a tabela 5.12.

TABELA 5.12 – RESULTADOS UTILIZANDO A OBRA U COMO REFERÊNCIA

	Obra U (valores originais)	Obra A (valores originais)	Obra U	Obra A
Variações dimensionais	0,95	1,11	1	1,17
Aparência estrutural	7,78	19,12	1	2,46
Durabilidade/Vida útil	0,80	1,40	1	1,75
Viabilidade econômica	2,87	2,69	1	0,94
Sustentabilidade	0,01	0,02	1	1,64
Construtibilidade	920,00	3316,00	1	3,60

A figura 5.20 apresenta o gráfico obtido a partir destes valores.

FIG. 5.20 – GRÁFICO DOS RESULTADOS UTILIZANDO A OBRA U COMO REFERÊNCIA

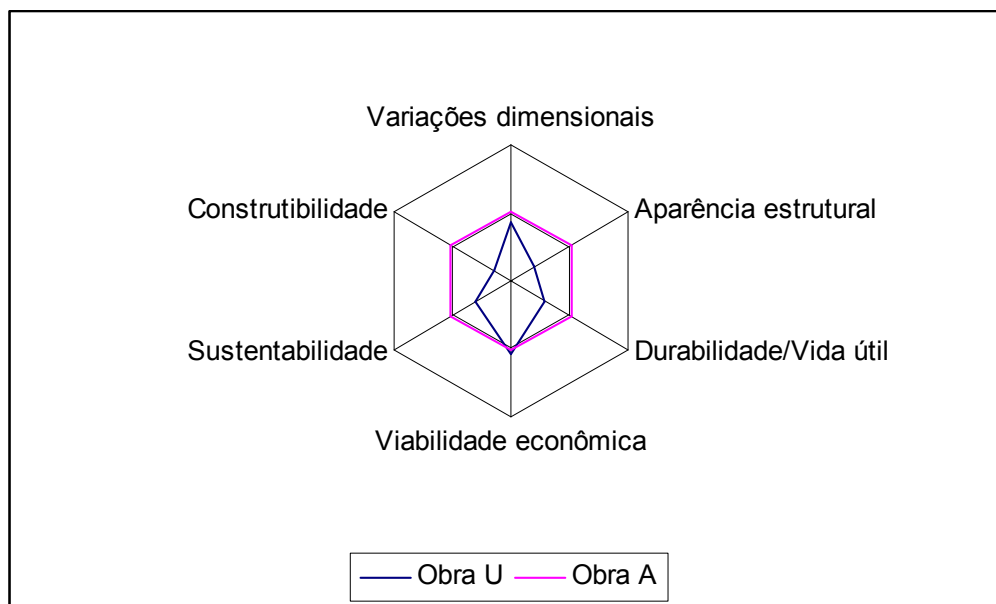


Da mesma forma foram tomados os valores obtidos para a obra A como referência e calculados os valores de U como função de A, conforme indica a tabela 5.13 e ilustra a figura 5.21.

TABELA 5.13 – RESULTADOS UTILIZANDO A OBRA A COMO REFERÊNCIA

	Obra U (valores originais)	Obra A (valores originais)	Obra U	Obra A
Variações dimensionais	0,95	1,11	0,852517	1,00
Estabilidade	7,78	19,12	0,406904	1,00
Durabilidade/Vida útil	0,80	1,40	0,571429	1,00
Viabilidade econômica	2,87	2,69	1,066914	1,00
Sustentabilidade	0,01	0,02	0,608696	1,00
Construtibilidade	920,00	3316,00	0,277443	1,00

FIG. 5.21 – GRÁFICO DOS RESULTADOS UTILIZANDO A OBRA A COMO REFERÊNCIA



Embora sejam formas diferentes de representação gráfica, todas as alternativas propostas são eficientes para apontar tendências, pontos positivos e negativos das soluções construtivas.

5.7 VALIDAÇÃO DA PESQUISA

A validação da pesquisa, conforme descrito no capítulo 3, foi obtida através da aplicação questionários entre as partes envolvidas em três etapas das edificações estudadas: a concepção, a execução e a ocupação. Foram entrevistados os arquitetos autores dos projetos, os engenheiros das construtoras executoras e os responsáveis pela administração e manutenção dos prédios após a entrega dos mesmos.

Os formulários aplicados foram apresentados no capítulo 5 (figuras 5.1,

5.2 e 5.3) e o critério de processamento dos resultados podem ser visualizados na tabela 5.14.

Um aspecto importante deste processo de entrevistas foi a observação direta, ferramenta importante de informações e evidências.

TABELA 5.14 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS

	Obra U	Obra A
Variações dimensionais	9,50	9,00
Estabilidade	9,00	2,00
Durabilidade/Vida útil	5,00	10,00
Viabilidade econômica	9,00	9,00
Sustentabilidade	8,62	8,12
Construtibilidade	7,00	6,00

Procurou-se estabelecer relações entre as questões propostas no questionário e os atributos de desempenho pré-estabelecidos. Em alguns casos as respostas poderiam ser consideradas como contribuindo para mais de um parâmetro e de certa forma todas as questões poderiam somar pontos para o quesito sustentabilidade.

Por isso foram considerados os valores coletados como pontuação do desempenho geral da solução construtiva como resultados da sustentabilidade do sistema.

Desta forma, o critério de tabulação dos resultados utilizado foi o indicado na tabela 5.15.

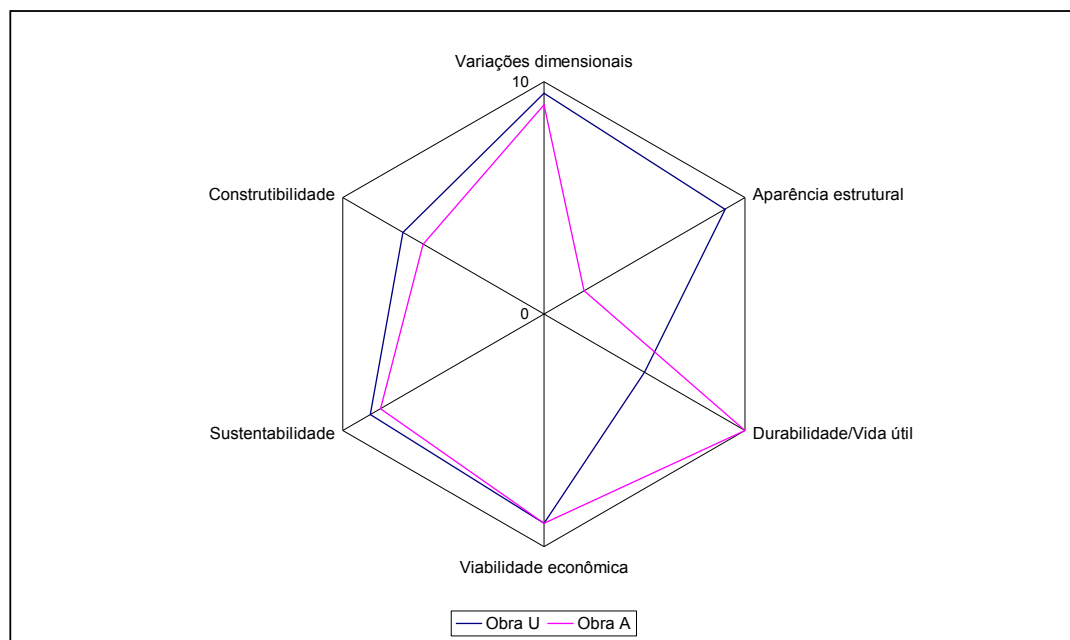
TABELA 5.15 – CRITÉRIO UTILIZADO PARA PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS

Questionário arquitetos	Atributo
Velocidade de execução	viabilidade econômica
Cumprimento do cronograma	construtibilidade
Sincronização de eventos	construtibilidade
Interfaces com demais sistemas	variações dimensionais
Compatibilização de projetos	construtibilidade
Desempenho global	sustentabilidade
Questionário construtores	Atributo
Adaptabilidade ao projeto arquitetônico	construtibilidade
Possibilidades de grandes vãos	construtibilidade
Flexibilidade de formas	construtibilidade
Compatibilização com demais projetos	construtibilidade
Desempenho global	sustentabilidade
Questionário usuários	Atributo

Funcionalidade	construtibilidade
Vibrações	estabilidade
Permeabilidade	durabilidade
Entrega no prazo acordado	viabilidade econômica
Retilinidade	variações dimensionais
Desempenho global	sustentabilidade

O resultado desta análise pode ser representado pelo gráfico 5.22, a seguir:

FIG. 5.22 – GRÁFICO DOS RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS



6 CONCLUSÕES

O capítulo anterior revela os resultados obtidos pelo processamento dos dados coletados no estudo de caso e faz a representação gráfica destes, estabelecendo diferentes relações para favorecer a comparabilidade do método. Neste capítulo serão discutidas a metodologia aplicada, a aplicabilidade do modelo proposto e as evidências encontradas nas edificações estudadas. Também são sugeridos temas para a continuidade do trabalho que vise a descoberta de indicadores de desempenho de soluções construtivas.

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE PESQUISA

O método de estudo de caso, partindo de uma epistemologia positivista, mostrou-se adequado visto que proporcionou uma exploração do contexto real e permitiu a aplicação do modelo proposto, indicando a aplicabilidade do mesmo. A possibilidade de comparação entre dois empreendimentos com características de utilização, localização e período de execução semelhantes foi determinante para a viabilidade de execução do projeto de pesquisa.

A maior dificuldade encontrada foi na obtenção dos dados junto a fabricantes dos sistemas pré-moldados, que sob a alegação de segredos industriais, não forneceram algumas informações que seriam de grande relevância para o desenvolvimento desta pesquisa e de projetos futuros, que poderiam vir a contribuir para o desenvolvimento de todo o setor da pré-fabricação e da construção civil.

Por outro lado, a participação dos envolvidos no projeto, execução e

utilização dos prédios estudados foi uma valiosa contribuição. Além das respostas aos questionários, que forneceu subsídios para as análises qualitativas, as entrevistas proporcionaram a possibilidade de fazer observações diretas, permitindo uma coleta de informações mais ampla e impossível de se obter através de fontes documentais, questionários e outras ferramentas de obtenção de dados.

6.2 CONCLUSÕES - DADOS QUANTITATIVOS

A aplicação do modelo de análise proposto no estudo do caso demonstrou a viabilidade de utilização deste método como ferramenta de comparação entre sistemas construtivos e confirmou a hipótese inicial da pesquisa.

Os resultados obtidos apontam, para as obras estudadas, a superioridade de desempenho da solução estrutural pré-fabricada em relação à moldada no local em todos os atributos, exceto no de viabilidade econômica. A diferença numérica deste índice, no entanto, é bastante pequena. É possível concluir que embora haja uma diferença para maior no custo da opção pela pré-fabricação, ainda assim este sistema construtivo é viável do ponto de vista econômico.

O vértice de construtibilidade é onde aparece diferença mais significativa em valores absolutos, o que indica a agilidade e as facilidades construtivas dos sistemas pré-fabricados.

Os resultados comprovam os aspectos positivos da industrialização da construção, relacionados no capítulo de revisão bibliográfica e confirmam as vantagens dos sistemas construtivos pré-fabricados, defendidas pelos autores citados.

6.3 CONCLUSÕES - DADOS QUALITATIVOS

Pôde-se constatar pelos gráficos que ilustram os resultados da tabulação dos dados qualitativos uma discrepância entre o desempenho real dos sistemas construtivos e a percepção que os envolvidos têm em relação a alguns atributos.

A cultura dos profissionais de arquitetura e engenharia é voltada para a decisão em função de custos e da viabilidade financeira. Este critério iguala as soluções e deixa de considerar aspectos ambientais, sociais e até mesmo econômicos, já que o custo de uma edificação, pelos conceitos de vida útil, é o valor total empregado para a construção, manutenção e utilização, incluindo os custos de demolição e remoção/reaproveitamento do material resultante.

A leitura que se pode fazer destes resultados é que não há um bom entendimento dos conceitos de construtibilidade e sustentabilidade, o que torna estes assuntos importantes temas de pesquisas futuras.

Outro fator a ser observado é a relevância da percepção das vibrações das estruturas. O parâmetro de estabilidade foi um dos pontos negativos apontados pelo usuário da obra executada em estrutura pré-fabricada e embora as vibrações relatadas não representem risco efetivo para estabilidade global da estrutura, pôde-se constatar que é um comprometedor de conforto.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa cumpriu com os objetivos propostos e permitiu a consolidação de conhecimentos acerca da industrialização, mecanização e pré-fabricação de sistemas construtivos, bem como solidificou conceitos de desempenho, construtibilidade e sustentabilidade.

Foi possível constatar uma discrepância entre os resultados dos dados qualitativos e quantitativos, o que indica a não concordância entre a cultura dos profissionais de arquitetura e engenharia no que tange à avaliação de

desempenho e a realidade encontrada em casos reais.

Através da aplicação dos questionários e da observação direta foi possível detectar nuances que interferiram de forma positiva ou negativa no andamento da execução das edificações estudadas, fatos importantes para o embasamento das conclusões.

Por fim a pesquisa abre a possibilidade de aprofundamento dos conceitos e aprimoramento do método de análise, sugerindo temas para a continuidade do trabalho e para projetos futuros.

6.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As sugestões de trabalhos futuros relacionam-se à continuidade deste trabalho e ao aprofundamento dos conceitos de construtibilidade e sustentabilidade, de forma a suprir as carências de informação e disseminação do conhecimento nesta área.

Pode-se também destacar a importância de estudos que revelem com maior precisão o cenário nacional no que tange à industrialização da construção já que no período desta pesquisa não foram encontradas referências a este respeito.

Para dar continuidade a este projeto sugere-se:

- Estabelecer relações de área nos gráficos, de forma a poder fornecer indicadores do desempenho ideal;
- Avaliar outras tipologias construtivas (estruturas metálicas, de madeira, etc);
- Avaliar uma amostra significativa para estabelecer relações estatísticas, passíveis de generalização.

Temas relacionados ao aprofundamento do conhecimento no que tange os conceitos de construtibilidade e sustentabilidade:

- Investigar junto a comunidades da construção os níveis de

entendimento dos conceitos de construtibilidade e sustentabilidade;

- Avaliar com maior profundidade os critérios que impactam o desempenho em relação à construtibilidade e sustentabilidade de sistemas construtivos.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, A. T de, EL DEBS, M. K. Levantamento dos sistemas construtivos em concreto pré-moldado para edifícios no Brasil. In. 1º. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, 1, 2005, São Carlos. **Anais**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2005, CD ROM.

ALBUQUERQUE, A. T de, PINHEIRO, L. M. Viabilidade econômica de alternativas estruturais de concreto armado para edifícios. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, 19, 2002, São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

ALASALMI, M., KUKKO, H., Concrete production process control, **Nordic Concrete Research**, Oslo, 1983, pp 8-14

ANDOLFATO, R. P., CAMACHO, J. S., MAURÍCIO, R. M., Estudo comparativo dos processos de análise da estabilidade global de edifícios. In. 45º. Congresso Brasileiro do Concreto, 45, 2003, Vitória. **Anais**. IBRACON, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO – ABCIC – **Selo de Excelência ABCIC** – critérios e documentos – disponível em < <http://www.abcic.com.br/selo>> Acesso em : 02 abr. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – **Projeto e execução de estruturas em concreto pré-moldado** – NBR 9062, São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – **Concreto – Preparo, controle e recebimento – procedimento** – NBR 12655, São Paulo, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – **Execução de estruturas de concreto - procedimento** – NBR 14931, São Paulo, 1996

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – **Projeto de estruturas de concreto - procedimento** – NBR 6118, Rio de Janeiro, 2003

BARROS, M. M. S. B., MELHADO, S. B., **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**, São Paulo, 1998, EPUSP-SENAI.

BENEVIDES, S. Vantagens da pré-fabricação. **Boletim informativo da ABCIC**, São Paulo, ano III número 8, outubro de 2004. Entrevista.

CAMPOS, P. E. F., **Industrialização da construção e argamassa armada: perspectivas de desenvolvimento**, São Paulo, 1989.193 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CAMPOS, P. E. F., **Da argamassa armada ao microconcreto de alto desempenho: perspectivas para o desenvolvimento da pré-fabricação leve**, São Paulo, 2002 208 f.

Tese de Doutorado em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

CAMPOS, P. E. F., Microconcreto de alto desempenho: uma contribuição para a pré-fabricação leve. In. 1º. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, 1, 2005, São Carlos. **Anais**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2005, CD ROM.

EL DEBS, M. K., **Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e aplicações**, 1ª edição, São Carlos, SP, EESC-USP, 2000.

ELEKIRCK, R. Design-Construction of The Paramount – A 39-Story Precast prestressed concrete apartment building. **PCI Journal**, Illinois, vol. 47 , pag. 56-69, julho/agosto 2002.

FRANGOPOL, D. M. at. Al., Reliability-based importance assessment of structural members with applications to complex structures, **Computers&Structures Journal**, abril 2002.

GEHBAUER, F., **Racionalização na Construção Civil – Como melhorar processos de produção e de gestão**. 1ª edição, Recife, Senai, 2004.

GLAVIND, M.; PETERSEN, C. ‘Green’ concrete in Denmark. **Structural Concrete Journal, Denmark** , vol. 1, pag. 1-6, março 2000.

HANAI, J. B., FORTES FILHO, J., TAKEUTI, A. R., REIS, A. P. A., Análise Estrutural e aplicação de concretos especiais na reabilitação de pilares e vigas de concreto armado. In. IV Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 4, 2000, São Carlos. **Anais**. Escola de Engenharia de São Paulo, USP, 2000.

KREIJGER, P. C., Performance criteria for building materials, **Material and Structures**, vol. 20 , pag. 248, no. 118, 1987.

LEVY, S. M., **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**, São Paulo, 2001, 194 f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MALDANER, S. M., **Procedimentos para identificação dos custos da não qualidade na construção civil**, Florianópolis, 2003 133f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**, 1ª. Edição, PINI, 1994, São Paulo.

MELHADO, S. B., AGOPYAN, V., **O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle**, São Paulo, 1995, EPUSP.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**, São Paulo, 2002 191 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

OLIVEIRA, L. O., MACHADO JUNIOR, E.F., Avaliação da segurança estrutural de sistemas inovadores: Estudo de caso. **Cadernos de Engenharia de Estruturas EESC**, São Carlos, vol. 5. 1998.

OCHSENDORF, J. A. (2003) Eladio Dieste as Structural Artist, in **Eladio Dieste: Innovations in Structural Art**, Ed. S. Anderson, Princeton Architectural Press, 2003.

PARRA FILHO, D., SANTOS, J. A., **Metodologia Científica**, 5ª. Edição. São Paulo, 2002. Editora Futura.

PEREIRA, A. C. W., **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação**, Curitiba, 2005. 139 f. Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

RIBEIRO JUNIOR, J., **O que é positivismo**, 2ª edição. São Paulo, 1994. Editora Brasiliense.

ROBSON, C. **Real world research : a resource for social scientists and practitioner**. Oxford: Blackwell, 1993

SABBATINI, F. H., **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma tecnologia**, 1989, 336 p. Tese de doutorado, Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS FILHO, M. L., Patologia em Construções – Conceitos de Básicos – Aula 2. **Notas de aula**. Pós-graduação em Construção Civil, CESEC-UFPR, Curitiba, 2004.

SANTOS FILHO, M. L., SANTOS, A., **Diretrizes para concepção da casa 1.0**, versão A, 2002, Universidade Federal do Paraná e Sinduscon.

SANTOS FILHO, M. L., **Tecnologia de Pré-fabricação** Apostila da disciplina, Pós-graduação em Construção Civil, CESEC-UFPR, Curitiba, 2005.

SERRA, S. M. B., FERREIRA, M. de A., PIGOZZO, B. N. Evolução dos Pré-Fabricados de concreto. In. 1º. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, 1, 2005, São Carlos. **Anais**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2005, CD ROM

SOUZA, J. C. S; SABATINI, F.H, Metodologia de análise e seleção de inovações tecnológicas na construção de edifícios, **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de engenharia de construção civil, São Paulo, 2004.

TOKUDOME, M., A sustentabilidade da indústria de pré-fabricados, In. 1º. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, 1, 2005, São Carlos. **Anais**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2005, CD ROM

UGWU, KUMARASWAMY E NG (2003), Developing a framework and indicators for sustainability assessment in infraestructure projects – a Hong Kong Study, Technical book, Dep. Of Civil Engeneering the University of hong Kong.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, Green Building by the numbers. Disponível em: <www.usgbc.org> Acesso em 03 out. 2006.

VASCONCELOS, A. C., **O desenvolvimento da Pré-fabricação no Brasil**, Revista Politécnica, n.200, p. 44-66 , 1988.

VILASBOAS, J. M. L., **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: uma contribuição para implantação para NBR 6118:2003**, Salvador, 2004, 229 f. Dissertação de mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo construtivo, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

WALLBAUM, H., BUERKIN, C., Concepts and instruments for a sustainable construction sector, **UNEP Industry and environment**, april/september 2003, p. 53-57

WEINGARDT, R. G., Reach for Greatness, Guess editorial, **PCI Journal**, vol. 47 no.4, julho/agosto 2002.

YIN, R. K., **Estudo de caso: Planejamento e métodos**, 3ª edição. Porto Alegre, 2005. Editora Bookman.