

UNIVERSIDADE GAMA FILHO
VICE-REITORIA ACADÊMICA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO E
ATIVIDADES COMPLEMENTARES
ARQUITETURA AMBIENTAL

A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO COMO ELEMENTO DA
QUALIDADE DE PROJETO PARA UMA ARQUITETURA
AMBIENTALMENTE CORRETA

Por
Daniela Yoshie Kussama

Rio de Janeiro
2005

UNIVERSIDADE GAMA FILHO
VICE-REITORIA ACADÊMICA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO E
ATIVIDADES COMPLEMENTARES
ARQUITETURA AMBIENTAL

A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO COMO ELEMENTO DA
QUALIDADE DE PROJETO PARA UMA ARQUITETURA
AMBIENTALMENTE CORRETA

Monografia apresentada à UGF como
Requisito parcial para a conclusão do
curso de pós-graduação *lato sensu*
em Arquitetura Ambiental.

Por

Daniela Yoshie Kussama

Professor orientador

Camilo Michalka Júnior, Dr.-Ing.

Rio de Janeiro

2005

CURSO DE ARQUITETURA AMBIENTAL

A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO COMO ELEMENTO DA
QUALIDADE DE PROJETO PARA UMA ARQUITETURA
AMBIENTALMENTE CORRETA

DANIELA YOSHIE KUSSAMA _____

AVALIAÇÃO

CONTEÚDO

Nota: _____ Conceito: _____

Orientador

Camilo Michalka Júnior, Dr.-Ing. _____

FORMA

Nota: _____ Conceito: _____

Avaliado por

Viviane Nayala Córner, MSc. _____

NOTA FINAL: _____ CONCEITO: _____

Rio de Janeiro, _____ de _____ de 2005.

Maria da Purificação Teixeira
Coordenadora do Curso

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho,

Aos meus pais,

pelos valores e afeto, que permitiram
alcançar mais uma importante
jornada,

À minha tia Takeko,

pelo carinho e incentivo aos estudos,

E à Deus,

por tudo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sua presença constante.

Aos meus pais, Mario e Darcy Kussama e meus irmãos Rafael e Leonardo, pelo apoio e ajuda de vencer mais um desafio.

Ao Professor Dr.-Ing. Camilo Michalka Júnior pela orientação segura, incentivo, amizade e sólida experiência profissional que viabilizaram este trabalho.

Ao Professor Paulo Afonso Rheingantz, por ter me aberto as portas da percepção ambiental, através de seus ensinamentos e entusiasmo na graduação, possibilitando o início deste curso.

Ao corpo docente e a banca examinadora do Curso de Pós-Graduação em Arquitetura Ambiental da UGF, pelos conhecimentos e experiência transmitidas, que foram de grande valia ao longo do curso e desta monografia.

À professora Nayala Cörner por desmistificar a redação do texto científico.

À coordenadora da UGF, Professora M. Sc. Maria da Purificação Teixeira, pelo incentivo e estímulo deste trabalho.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Arquitetura Ambiental, em especial meus amigos Ana Sorgine, Isabela Teixeira e Rodrigo Victor pelos ótimos dias de convivência, inúmeras contribuições, companheirismo, carinho e amizade.

Ao amigo Paulo Klien Vega, pela sua valiosa e competente ajuda na tradução do resumo.

Às minhas amigas Elina Sakurai e Carmen Lúcia de Castro Campolina, pela força e entusiasmo transmitidos em todos os momentos deste trabalho.

A todas as pessoas de bem que lutam por um mundo mais sustentável.

Referência bibliográfica

KUSSAMA, Daniela Yoshie. **A Industrialização da Construção como Elemento da Qualidade de Projeto para uma Arquitetura Ambientalmente Correta**. 2005. 63 folhas, Monografia (Curso de Pós-Graduação em Arquitetura Ambiental) – Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, 2005.

Arquitetura Ambiental, Construção Civil, Industrialização, Qualidade, Racionalização.

RESUMO

A construção civil no Brasil é um dos maiores consumidores de recursos naturais e energia. A implantação de iniciativas para a obtenção de um desenvolvimento sustentável neste setor deve levar em consideração todo o ciclo de vida das edificações, desde o estágio de projeto, passando pela execução até a manutenção, inclusive até eventuais alterações ou mudança de função. É, no entanto, na fase de projeto que o empreendimento é definido, tendo importante papel tanto na qualidade quanto economicamente, através dos aspectos da construção, do uso, da manutenção, que abrangem a habitabilidade, a segurança e os custos, determinando o desempenho do edifício.

Os principais objetivos do trabalho são tratar a questão da racionalização e industrialização do processo construtivo, buscando contribuir com os aspectos da qualidade do projeto, abordando a necessidade de entrosamento dos profissionais de projeto e de produção, para a melhoria contínua no produto assim como na capacitação dos profissionais. A abordagem da industrialização e seus mecanismos, como a coordenação modular, visam ordenar o processo construtivo, otimizando a produção, permitindo eliminar as improvisações, levando a melhorar os níveis de eficiência e produtividade da construção civil brasileira.

Finalmente será feita uma análise das conseqüências para a arquitetura ambiental e para a introdução de materiais ecologicamente mais indicados.

ABSTRACT

The civil construction in Brazil is one of the top consumers of natural resources and energy. The initiative to obtain sustainable development in this sector must take into consideration the edification's whole life cycle, from the project apprenticeship, passing through the execution until maintenance, as well as eventual function changes. It is in the initial phase, although, that the enterprise is defined, exercising an important role in obtaining quality as well as profitability, through conception of the construction, use and maintenance that enclose habitational aspects, safety and cost control, thus determining the end results of the building.

The main objectives of this paper are: to analyze the aspects of rationalization and industrialization in the constructive process, attempting to contribute with project quality aspects and to validate the need of a cross-functional production crew, in order to obtain continuous improvement in terms of product quality and personnel development. The purpose of analyzing industrialization and its mechanisms, like modular coordination, is to sort the constructive process, optimizing production, eliminating improvisation and improving the efficiency and productivity levels of Brazilian civil construction.

In conclusion, an analysis will be conducted of the consequences for environmental architecture and the introduction of ecologically beneficial materials.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO	viii
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Considerações Iniciais	11
1.2. Objetivos e Metodologia	11
1.2.1. Objetivos	11
1.2.2. Metodologia	12
1.3. Estrutura do Trabalho	12
2. CONSTRUÇÃO CIVIL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	13
2.1. A Construção Civil no Brasil	15
2.1.1. Histórico da Industrialização da Construção no Brasil	17
2.2. Sistemas Industriais de Construção: Fechado e Aberto	19
2.3. O Conceito de Módulo	26
2.3.1. O Módulo como Elemento de Proporção	26
2.3.2. O Módulo como Elemento de Industrialização	33
2.3.3. Questões Práticas do Sistema Aberto	37

3. A QUALIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E O PROJETO ARQUITETÔNICO	44
3.1. O Papel da Padronização na Racionalização da Construção	45
3.2. Questões Relativas ao Projeto Modular	46
3.2.1. Sistemas de Referência	46
3.2.2. Tipos de Desenho para um Projeto Modular	48
3.2.3. As Vantagens da Industrialização da Construção	53
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	56
4.1. Conclusões	56
4.2. Recomendações	60
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema Industrial Fechado	20
Figura 2 – Escola do “Lelé”	22
Figura 3 - Sistema Industrial Aberto.....	24
Figura 4 e Figura 5: O homem Vitruviano de Da Vinci	28
Figura 6: Isabelle d’Este (1474-1539)	28
Figura 7 e Figura 8, respectivamente: desenho e imagem atual do Partenon.....	30
Figura 9: Mona Lisa (1479-1528),.....	30
Figura 10: Leonardo de Pisa FIBONACCI (1175-1250).....	31
Figura 11: Le Modulor.....	32
Figura 12: Ocupação do espaço pelo homem	32
Figura 13: Exemplo de uma esquadria de madeira (porta).....	39
Figura 14: Vãos Modulares e seus Fechamentos.....	40
Figura 15: Basílica de São Pedro. Vaticano, Roma, Itália.....	47
Figura 16: Desenho de componentes modulados – Quadrado modular de referência.	48
Figura 17: Representações Gráficas de Detalhes Modulares.....	49
Figura 18: Disposição em relação à retícula de referência	50
Figura 19: representação gráfica de um acoplamento de projeto.	51
Figura 20: Planta Baixa e Corte A-B, exemplo de estudo em 1967	52
Figura 21: Planta, Corte e Fachada – Quadriculados multimodulares de referência.	53

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Esse trabalho aborda a construção civil através da aplicação dos conceitos de sustentabilidade, indo além das questões materiais, pois no Brasil este setor industrial encontra-se desordenado.

Atualmente, existe um entrave entre os escritórios de arquitetura de projeto e o gerenciamento de obra, devido às incompatibilidades, tanto nos problemas de projeto, quanto nas soluções da obra, gerando muito desperdício, perda de energia, qualidade baixa e valores altos. O fato do projeto de arquitetura não corresponder a um projeto executivo, tem gerado falta de comprometimento entre as equipes, ocasionando dificuldades de execução e prejuízos gerais.

As operações climáticas do edifício, como conforto ambiental, eficiência energética do ambiente, tipologia, etc. são parâmetros importantes dentro do projeto de arquitetura, mas não serão objetivos deste estudo. Apenas será analisado o processo construtivo, entre o projeto e a execução.

1.2. Objetivos e Metodologia

1.2.1. Objetivos

- Analisar os processos construtivos tradicionais e industriais, sua influência na sustentabilidade e sua contribuição para a qualidade projetual;
- Abordar a necessidade de entrosamento das equipes de projeto e de produção, para a sustentabilidade da edificação, obtendo melhoria contínua no produto, assim como na capacitação dos profissionais.
- Analisar a inserção de materiais ecologicamente mais indicados para a indústria da construção civil.

1.2.2. Metodologia

A estrutura metodológica aplicada para a elaboração deste trabalho consiste em:

- Pesquisa bibliográfica em livros, artigos e revistas especializadas, dissertações de mestrado, teses de doutorado e páginas disponíveis na “Internet”;
- Estudo dos sistemas construtivos tradicionais e industriais e sua relação com a arquitetura ambiental;
- Entrevistas com profissionais da área para fazer uma avaliação sobre o escopo do tema;

1.3. Estrutura do Trabalho

No **capítulo 1** é feita a introdução do trabalho. São apresentadas a justificativa do mesmo, os objetivos, as hipóteses e considerações sobre o estudo.

No **capítulo 2** é analisada a influência para o desenvolvimento sustentável, do setor da construção civil, abordando o contexto brasileiro e o projeto arquitetônico como etapa de fundamental relevância para a sustentabilidade, devido às questões sociais, econômicas e ambientais relacionadas ao ambiente construído que têm influência na qualidade de vida da população.

Também são analisados os processos de industrialização da construção civil, em particular o cenário no Brasil, o que passa obrigatoriamente pelo conceito de industrialização do processo construtivo e seus pré-requisitos.

No **capítulo 3** são realizadas as considerações sobre a qualidade do ambiente construído e o projeto arquitetônico, abordando as questões relativas à competitividade do mercado e à conscientização de profissionais, da necessidade de melhorias do projeto para a qualidade do produto e do desenvolvimento de processos de racionalização da construção.

No **capítulo 4** são colocadas as conclusões obtidas no trabalho e as sugestões para futuros estudos na área.

2. CONSTRUÇÃO CIVIL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A preocupação com a relação entre o ambiente natural, o entorno construído e o homem já aparecia nos escritos de Marcus VITRÚVIO Pollio (1 d.C.), arquiteto e engenheiro, que realizou uma série de recomendações sobre a localização, iluminação e ventilação adequadas das cidades e edifícios.

Mas a busca pelo desenvolvimento sustentável só passa a estar presente em vários setores da economia e da organização da sociedade, após o aumento do contingente populacional (particularmente ao longo do século XX) e com a preocupação com os impactos causados ao meio ambiente através do desenvolvimento tecnológico, observado a partir da revolução industrial.

O conceito de sustentabilidade é bastante amplo, mas em abril de 1987, o Relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, posteriormente denominado "Nosso Futuro Comum", divulgou a expressão desenvolvimento sustentável entendida como aquele que responde à necessidade do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras de satisfazer às suas próprias. O termo agrega, em sua definição, três pontos fundamentais: crescimento econômico, equidade social e equilíbrio ecológico.

O cenário sócio-econômico e ambiental brasileiro tem pressionado empresas da construção civil, importante setor produtivo do país e de grande influência para o desenvolvimento sustentável, a buscar soluções com relação à responsabilidade sobre seus processos industriais, resíduos e efluentes produzidos na obra, bem como o desempenho de seus produtos e serviços em relação à abordagem de ciclo de vida, através do uso e manutenção, pois os ambientes construídos causam impactos sociais, econômicos e ambientais que interferem na qualidade de vida da população (CASTRO & MICHALKA, 2004).

Com relação à construção, SEIFFERT (2005) destaca que os processos industriais da construção civil e os sistemas gerados pelo homem devem buscar reproduzir a lógica existente em qualquer ecossistema natural, onde não existe resíduo, mas um fluxo integrado de matéria e energia, em que nada é perdido, mas reaproveitado em sua totalidade.

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais e energia. Para a construção de uma edificação são consumidos diversos

recursos na fabricação de componentes, distribuição, transporte ao local da obra e execução. Além do enorme consumo durante toda a vida útil do edifício com o seu uso, manutenção, reforma, adaptações e, finalmente, com a demolição e a destinação do entulho, colocam em evidência a enorme quantidade de resíduos da construção e demolição (RCD), que são gerados nas grandes cidades do Brasil. Com isso, verificamos que o projeto arquitetônico tem grande influência para a sustentabilidade, contribuindo, por exemplo, na redução de desperdício da construção e utilização da edificação com redução de energia, assim como facilitando ou dificultando sua manutenção.

CASTRO & MICHALKA (2004) indicam que a implantação de iniciativas para a obtenção de um desenvolvimento sustentável na construção civil deve atingi-la amplamente, levando em consideração todo o ciclo de vida das edificações.

Uma das iniciativas é baseada na importância do projeto para a qualidade final de uma edificação. É consenso que esta etapa é de fundamental relevância, e pode ser a maior responsável pela sustentabilidade através de soluções que atendam ao programa requerido nos aspectos funcionais, técnicos e econômicos.

A falta de detalhamento projetual e de parcerias com as equipe de projeto e execução podem forçar soluções técnicas inadequadas, dispendiosas e o desperdício de materiais e mão-de-obra.

A busca pela eliminação desse desperdício, incluindo a diminuição dos cortes e do re-trabalho, passa pelo emprego do sistema de correlação dimensional, que implica desde os conceitos de ajuste e tolerância no projeto até a utilização da coordenação modular. Esta última pode ser considerada como uma ferramenta indispensável para a racionalização da construção, pois propicia a inter-relação da indústria de componentes industrializados com o projeto arquitetônico, não necessitando de eventuais cortes de material, tão comuns em processos construtivos tradicionais no Brasil. O processo industrial pode, entretanto, conviver com os processos artesanais. Estas ferramentas serão melhor abordadas nos capítulos posteriores.

2.1. A Construção Civil no Brasil

A disputa de mercado mundial e da globalização atuais aponta para a obrigatoriedade da modernização da indústria da construção civil brasileira, em busca dos potenciais da produtividade, consolidando uma nova dinâmica aos processos de produção e à organização do trabalho.

MORETT (2003) indica que a construção das edificações, durante muito tempo tem utilizado métodos tradicionais de construção, com técnicas artesanais e materiais rudimentares. Reflete nesse contexto baixa produtividade e problemas para a mão-de-obra não qualificada que muitas vezes sofre acidentes desnecessários ou que poderiam ser evitados se utilizassem outras técnicas de construção ou proteção para o trabalhador.

A construção tradicional gera hoje altos índices de despesa para o setor, sendo um dos fatores agravantes do problema o alto custo do material empregado aliado ao desperdício dentro do canteiro de obra.

Durante a execução de uma edificação, já se chegou até a um terço do material adquirido desperdiçado, sendo, portanto, removido do canteiro ou utilizado como aterro, cita MORETT (2003).

ROSSO (1980) aponta ser possível a aplicação de conceitos de racionalização ao método tradicional.

Este processo evolutivo deverá acontecer em etapas até alcançar um processo a nível industrial, numa aceção mais radical do termo. O processo de racionalização deve e pode agir sobre a edificação / produto com a edificação / processo.

Ainda comenta que o progresso técnico é um fator relevante para a melhoria da produtividade na construção, e permite ganhos de produtividade através da substituição de um fator de produção obsoleto por outro mais eficiente para as condições solicitadas.

E destaca os seguintes fatores prejudiciais para este processo construtivo:

- Espessuras exageradas para os revestimentos, oriundos do assentamento irregular de uma alvenaria;
- Erros relacionados ao projeto, principalmente de imprecisão e deficiências gerando retrabalho durante a execução da obra;

- Cortes e rasgos na alvenaria devido à falta de planejamento e coordenação das operações;
- Ajustes e acertos tão comuns, devido à falta de correlação das medidas;
- Os consumos excessivos de materiais devido às falhas de concepção de projeto e prognósticos equivocados sobre as estimativas de gastos;
- A falta de pesquisa tecnológica;
- A falta de controle do processo.

Observa-se também que o desenvolvimento tecnológico tem conduzido a um aumento na oferta de novos produtos para a construção civil, tornando imprescindível, tanto técnica como economicamente uma mudança nos métodos construtivos, que passa obrigatoriamente pelo conceito de industrialização do processo construtivo. (MICHALKA, 2005).

A discussão sobre a industrialização da construção vem demonstrando uma certa confusão entre os profissionais da construção, industriais e administradores públicos ou privados dos termos empregados, a validade e a finalidade dos métodos definidos e principalmente entre as soluções de problemas de uma obra e “aquelas que pretendem assumir a generalidade de um verdadeiro sistema industrial, entre pré-fabricação e industrialização da construção”. (BRUNA, 2002).

E explica de maneira precisa a diferença entre pré-fabricação e a industrialização da construção, onde:

1 – A pré-fabricação é apenas uma fase de um processo de industrialização mais amplo e complexo, por isso envolve a organização da produção, sua montagem, controle, etc. Deve ser entendida apenas como a face de produção, baseada nos *standards* analisados e freqüentemente é executada junto ao canteiro de montagem; devendo ser entendida como a racionalização do sistema de construção, que permanece sendo essencialmente artesanal como organização. Exemplo: um número qualquer de unidades projetado e executado para um fim específico será pré-fabricado, e não considerado como produção industrial.

Segundo a Associação Italiana de Pré-Fabricação, a pré-fabricação é “Fabricação industrial, fora do canteiro, de partes das construções capazes de serem utilizadas mediante posteriores ações de montagem”.

2 – A industrialização da construção não implica organização ou produção em série, devendo ser entendida como uma racionalização das energias gastas na produção, em geral ao nível de canteiro e representada pelas guias, betoneiras, pelas fôrmas metálicas deslizantes, dobráveis, articuladas, etc.

Para MICHALKA (2003), a industrialização na construção civil se aplica especialmente na produção de materiais de construção (ou componentes para a construção), onde a máquina desempenha um papel mais eficiente dentro do conceito da industrialização.

Esta industrialização não está ligada apenas aos processos tecnológicos. A sua análise deve englobar um campo mais abrangente, envolvendo a transformação estrutural de todo o processo produtivo que envolve aspectos sócio-econômicos, culturais, científicos e ideológicos, RIBEIRO (2002).

Portanto, a industrialização da construção passa por uma mudança de visão dos profissionais envolvidos, incluindo o treinamento da mão-de-obra que deve estar apta a executar os processos de montagem com qualidade, havendo também uma melhoria na qualidade da obra e conseqüentemente de vida dos envolvidos na área da construção civil.

2.1.1. Histórico da Industrialização da Construção no Brasil

A partir de 1930, o industrial americano Alfred Farwell Bemis desenvolveu os primeiros estudos de uma nova técnica da construção, denominando de “método modular cúbico”, publicada pela *The Technical Press*, março de 1936. Ele propunha que todas as dimensões da construção deviam ser múltiplos inteiros do módulo base, ou seja, a série era formada por todos os múltiplos do módulo. Propôs ele que fossem adotados para módulo 3” e 4”. Examinando os dois valores, verifica-se que eles não são aplicáveis a todos as medidas de uma construção. Por isso, ele teve muitos problemas de aplicação prática.

Em vários países como Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Grécia, Itália, Noruega, Suécia, Canadá e EUA já existiam antes da Segunda Guerra Mundial (1939-1945) iniciativas em direção à industrialização da construção, mas

somente após a necessidade de reconstrução dos países com velocidade, qualidade e baixos custos que esta proposta ganhou destaque.

O Brasil sofreu forte influência deste processo mundial, sendo instalados, em 1946, trabalhos da Comissão de Estudos dos Elementos da Construção na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), no Rio de Janeiro. Esta equipe, comandada pelo engenheiro Jorge Mendes de Oliveira Castro, formou uma comissão denominada Comissão de Coordenação Modular para tratar da Modulação das Construções.

Desde 1949, o Brasil apresentou vários trabalhos em congressos e seminários mundiais, sendo em 1963, um dos primeiros a desenvolver uma Norma Técnica de Coordenação Modular, pois os demais países só haviam iniciado os estudos sobre o assunto.

Com o apoio do Banco Nacional da Habitação (BNH), o Brasil realizou em convênio com a ABNT, e desenvolveu normas complementares com a Comissão de Coordenação Modular, objetivando o desenvolvimento de uma teoria de correlação dimensional para organizar e normatizar as dimensões dos componentes da construção.

Segundo MICHALKA (2003), essa teoria de correlação dimensional, com fundamentação matemática é a Coordenação Modular, baseado em um módulo, cujo termo contém os conceitos de unidade de medida e fator numérico, onde veremos com mais detalhes no sub-capítulo 2.3.2.

Em 21 de Maio de 1947 concluiu-se o primeiro projeto de norma, revista pela mesma comissão e adotada pela ABNT em 16 de Agosto de 1947 sob o título de “Anteprojeto de Norma de Modulação da Construção”. Já em 1969 foi promulgada a NB-25 com o título “Coordenação Modular da Construção”, sendo reeditada em 1977 como a NBR 5706. Em 1982 foram promulgadas outras 24 normas para o uso da coordenação modular na construção.

Nesta época, devido à influência da política no mercado brasileiro através da alta da inflação e uma economia instável, os empresários do ramo da construção civil procuraram se resguardar nas aplicações no mercado financeiro, o que levou a não haver investimentos em desenvolvimento tecnológico do processo construtivo, um processo de retorno de médio e longo prazo. Numa situação financeira estável e

num processo contínuo de investimento é sabido que o desenvolvimento tecnológico é meio para gerar competitividade à produção.

Portanto, não havendo enfoque no desenvolvimento tecnológico, as normas foram desconsideradas e não houve investimentos nem em tecnologia nem na formação e captação profissional. Mais grave é o desconhecimento acadêmico das normas, já que o seu conteúdo não está presente em grande parte dos cursos de arquitetura e engenharia civil.

Todo este atraso de informação e divulgação trouxeram reflexo na baixa qualidade da construção, gerando um desperdício de material, alcançando um índice de desperdício alto, de até 30%. Somados à falta de racionalização e capacitação, ocasionou uma estagnação no Brasil de pelo menos duas décadas no desenvolvimento desta atividade.

Mas dois acontecimentos de grande importância para a construção civil brasileira retomaram a necessidade de fazer investimentos em desenvolvimento tecnológico, a enumerar:

1 – Economia: o Plano Real lançado em julho de 1994 foi um programa brasileiro de estabilização econômica para combater a inflação crônica brasileira. Com isso, o mercado financeiro passou a não oferecer o mesmo retorno para os investimentos;

2 – Código de Defesa do Consumidor: com a lei 8.078 de 11/09/90, os proprietários de imóveis conseguiram que as construtoras assumissem responsabilidades por “defeitos” de produção, sendo obrigados a fazer consertos necessários.

2.2. Sistemas Industriais de Construção: Fechado e Aberto

O processo industrial da construção pode ser dividido em dois grupos distintos: o sistema fechado e o sistema aberto.

A construção industrializada por **sistema fechado** (fig.1) consiste em produzir tipos pré-determinados de edificações, com a pré-fabricação em série dos componentes construtivos necessários, que tem uso exclusivo no sistema adotado (MANDOLESI, 1981), ou seja, projeta-se um determinado tipo de edificação que é

dividida em partes que possam ser produzidas em série por uma fábrica específica, e posteriormente montadas no canteiro de obras, sendo que estes componentes são pré-fabricados em função do próprio consumo, adequados a um tipo específico de edificação e utilizados unicamente no âmbito de sua produção.

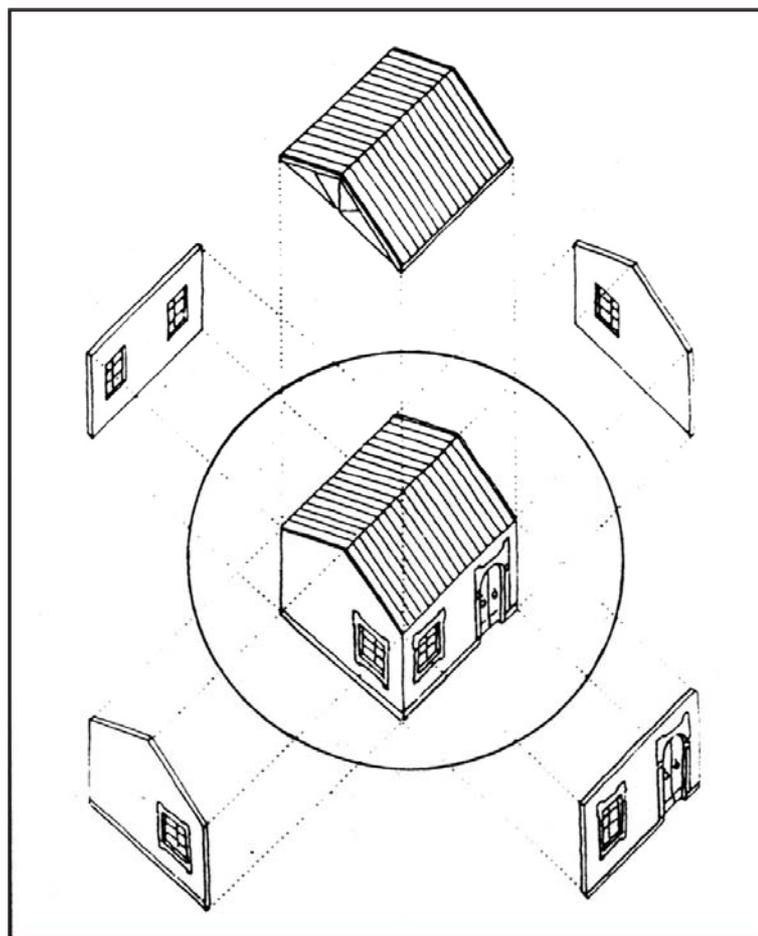


Figura 1 - Sistema Industrial Fechado

Fonte: MANDOLESI (1981: 205)

As seguintes limitações, segundo MANDOLESI (1981) para esse tipo de produção consistem em:

- Requerer a produção de uma quantidade de unidades do mesmo tipo de edificação para viabilizar a sua concepção, economia e seu desenvolvimento;

- Exclusão da possibilidade de abrir o mercado aos componentes industrializados para serem aplicados em outros tipos e categorias de edificações;
- Limitação da variedade de edificações que poderiam ser criadas devido às características únicas dos componentes do sistema, conveniência econômica implícita nas exigências de produção;
- Condicionar a programação das intervenções de caráter público, prevendo pedidos de produção que assegurem a vitalidade das empresas produtoras e que se referem constantemente aos mesmos tipos de edifícios, sempre com relação às exigências de todos os pontos citados anteriormente;
- Tornar-se exclusivo de grandes empresas, em detrimento das médias e pequenas empresas, a não ser que estas se associem em consórcios ou cooperativas.

No Brasil este sistema tem sido adotado por um grande número de iniciativas com o objetivo de aumentar a produtividade e diminuir os custos, principalmente para construções com objetivos sociais, recebendo usualmente o nome da empresa ou instituição responsável pelo projeto. A inviabilidade deste sistema surge quando não é possível fazer um intercâmbio de componentes por serem específicos para um determinado projeto. Esse tipo de produção necessita de um ritmo constante de trabalho, num longo período de tempo.

Além disso, com o passar do tempo a fábrica de componentes pode não estar mais produzindo, o que cria uma impossibilidade de reposição de peças para a manutenção, reforma ou eventual ampliação da edificação.

Seu uso justifica se forem executados um grande número de unidades e, mesmo assim, pode resultar em uma limitada variação formal devido às características únicas dos componentes utilizados.

A generalização do conceito de que a industrialização se refere à industrialização fechada tem levado a uma grande resistência por parte dos arquitetos e engenheiros.

Os resultados práticos das desvantagens e dificuldades desse sistema podem ser verificados num bom exemplo: as “Escolas do Lelé” (fig. 2) no Rio de Janeiro.

Desenvolvido pelo arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé) foram construídas centenas de escolas e postos de saúde com o sistema de construção em painéis pré-fabricados de argamassa armada na década de 80/90 (LIMA, 1986). Após esse período, a fábrica dos componentes foi fechada e, com isso, não foram mais fabricados os componentes usados nessas edificações, ocasionando diversos problemas quando houve necessidade de manutenção e reformas, que não encontraram soluções adequadas pela hermética do sistema (ver industrialização aberta, pág. 24).



Figura 2 – Escola do “Lelé”

Fonte: LIMA (1986)

No município do Rio de Janeiro, em alguns casos, a solução encontrada pela administração pública foi a demolição do prédio, dando lugar a outras edificações com sistemas diferentes, inclusive tradicionais.

Outros exemplos de iniciativas de desenvolvimento nos processos e sistemas construtivos de caráter fechado no mercado da construção, com o objetivo de racionalizar e reduzir custos, encontram-se na publicação do IPT “Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação” (IPT, 1998), onde 27 empresas apresentaram soluções desenvolvidas por elas. Há uma grande variedade de sistemas construtivos com adoção de vários tipos de materiais e tecnologias, mas percebe-se que os sistemas não têm possibilidades de inter-relação, devido à concepção fechada, com dimensões próprias e únicas, restritas ao próprio sistema.

Outro exemplo de sistema fechado refere-se aos materiais sustentáveis e componentes de baixo impacto ambiental que percorrerão o mesmo caminho se forem pensadas também como soluções fechadas em si mesmas. Para atingir o mercado da construção civil, desde as grandes construtoras até o comprador individual, as questões de materiais sustentáveis devem estar inseridas dentro de um contexto mais amplo, incluindo os conceitos de industrialização da construção civil.

É necessário que o material sustentável seja aceito pelas exigências técnicas e econômicas, devendo estar disponível para a compra e experimentação. Para tal é importante que os componentes feitos de material sustentável possam ser inseridos dentro de processos industrializantes e racionalizantes das grandes construtoras e das necessidades econômicas do pequeno comprador, senão ficará restrita a iniciativas individuais em sistema fechado e do tipo governamental (RIBEIRO & MICHALKA, 2003).

Já a industrialização de componentes destinados ao mercado e não exclusivamente às necessidades de uma só empresa ou de um só projeto, é atualmente conhecida como **sistema industrial aberto ou de ciclo aberto** (fig. 3) e se baseia no princípio de produzir elementos construtivos funcionais e polivalentes, suscetíveis de serem utilizados em organismos arquitetônicos de distintos tipos e categorias (MANDOLESI, 1981), ou seja, os componentes do edifício são concebidos através da decomposição em partes, produzidas em série em uma fábrica, ou mediante a industrialização dos componentes, adotando especificações que permitam a compatibilidade e a integração de componentes industrializados, sem limitar-se a um projeto preliminar de um tipo específico de edificação, como no caso do sistema fechado.

A construção por sistema industrial aberto é conhecida também como construção por componentes. A execução de uma edificação por este sistema requer um maior controle na fase de projeto e a verificação das condições na etapa de produção, sendo imprescindível a coordenação operacional entre os participantes de todo o processo da edificação, pois os elementos produzidos poderão ser combinados entre si gerando uma variedade de modos, contemplando edificações distintas e satisfazendo diversas exigências funcionais e estéticas.

MANDOLESI (1981) enumera as seguintes finalidades para o sistema industrial aberto:

- Conseguir uma maior penetração do produto no mercado de construção, pelas amplas possibilidades de escolha oferecidas ao consumidor;
- Ter maior flexibilidade sobre o tamanho da série do produto, pois não existe a sujeição a valores mínimos de intervenção por unidade de construção do mesmo tipo;
- Permitir uma organização maior das empresas produtoras de componentes, não somente às grandes empresas, mas pequenas e médias também;
- Limitar os custos de instalação por meio da criação de empresas produtoras especializadas em cada tipo de componente;
- Dar uma liberdade efetiva ao projeto do produto a nível arquitetônico e, sobretudo dar a possibilidade de uma constante manutenção nos modelos concebidos.

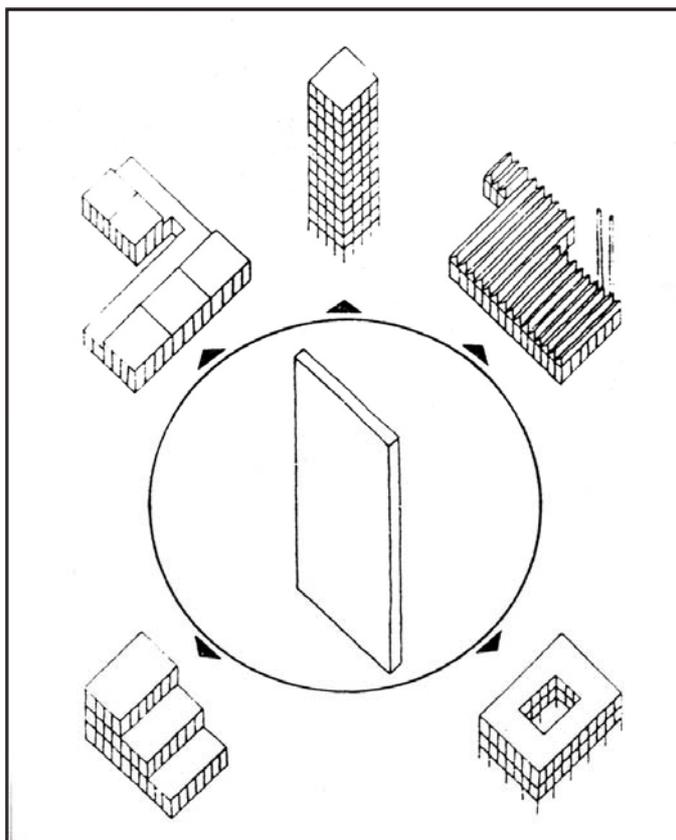


Figura 3 - Sistema Industrial Aberto

Fonte: MANDOLESI (1981: 205)

E MANDOLESI (1981) explica que executar uma edificação por sistema industrial aberto requer a verificação das condições à nível programático, produtivo e de projeto, necessitando uma coordenação operacional entre os participantes do processo da edificação.

Ao nível de produção, a construção industrializada por sistema aberto admite iniciativas coordenadas entre produtores e empresários para a introdução no mercado de componentes industrializados, modulares e integráveis entre si.

Ao nível de projeto, é indispensável aplicar métodos embasados na coordenação modular, tanto ao nível do componente industrializado, quanto ao nível do organismo arquitetônico, a fim de permitir a integração dos componentes.

A construção industrializada por sistema industrial fechado precedeu o sistema aberto, porém hoje é evidente que essa última representa um dos caminhos que deverá percorrer a construção industrializada de edifícios em suas complexas fases de desenvolvimento e estruturação. As experiências e os resultados positivos em vários países são elementos que demonstram a validade da construção por sistema industrial aberto.

O surgimento nas áreas de produção, como na obra e projeto da possibilidade de empregar a construção por componentes (ciclo aberto) tem os seguintes propósitos:

- Especificar, no quadro do desenvolvimento da industrialização da construção, as reais possibilidades da introdução no mercado de elementos construtivos de série como componentes acopláveis e combináveis;
- Formular uma metodologia de projeto sobre uma correta aplicação dos componentes industrializados.

Sobre esse último ponto, considera-se oportuna a alusão aos problemas relativos à modulação e à acoplabilidade dos componentes industrializados, que existem, mas podem ser solucionados a partir da adoção dos princípios de uma ferramenta fundamental que deve ser dominada pelos arquitetos, engenheiros civis e profissionais da indústria de componentes para a construção civil, a coordenação modular que será amplamente abordada no sub-capítulo 2.3.3. (MICHALKA, 2003).

Para que a industrialização aberta da construção ou por componentes atenda às exigências funcionais, estéticas e econômicas dos projetistas, construtores e fabricantes, é necessário que os componentes possam ser feitos de diversos materiais, elegíveis entre peças de diferentes origens, sejam intercambiáveis, atingindo diferentes posições dentro de uma mesma obra; combináveis entre si, formando conjuntos maiores e permutáveis por uma peça de tamanho maior ou várias peças menores (BRUNA, 2002).

Sua aplicação se dá no controle de qualidade dos elementos que compõe a edificação, com critérios definidos através da padronização dos componentes, onde cada componente ou grupo de componentes ocupa um espaço pré-determinado, obedecendo à teoria de ajustes, considerando os conceitos de tolerância e folga, com um processo coordenante das dimensões.

A padronização não definirá construções iguais, nem prejuízo com a liberdade de projetar, pois este método simplifica o domínio do conhecimento técnico, facilitando integrar todos os elementos para projetar racionalmente com liberdade. A teoria que dará suporte à este processo chama-se Coordenação Modular, cuja finalidade é a racionalização da construção, desde o projeto à execução da obra obtendo uma maior integração entre as exigências de projeto dos arquitetos e o procedimento industrial da construção com suas vantagens econômicas. MICHALKA (2003).

2.3. O Conceito de Módulo

2.3.1. O Módulo como Elemento de Proporção

A matemática é uma das ferramentas mais importantes do homem, pois através dela, buscamos compreender o mundo e a nós mesmos. Todas as leis da Física só são possíveis graças ao entendimento do universo pela matemática.

Nossa estrutura psicológica requer um conceito de ordenação e de harmonia obtidos através da matemática, onde o número, a medida, a relação de dimensões, a proporção, não passam de meios para facilitar a harmonia se forem levadas em conta as condições estéticas que as condicionam e o contexto em que se admitem (ARAÚJO, 1976).

Os arquitetos devem projetar pensando na estrutura formal do corpo humano e em consequência da necessidade, para se obter uma boa arquitetura, de alcançar uma estrutura equivalente formal, ou seja, um conjunto de relações dimensionais estreitamente ligadas entre si. Surgem então, muitas e variadas tentativas para codificar uma lei, capaz de garantir beleza ao produto arquitetônico: a lei das relações fundamentais entre as partes e sua redução à unidade, ou seja, ao módulo (QUARONI, 1977).

Todas as civilizações antigas tentaram projetar suas construções embasadas em uma unidade de medida abstrata, o “módulo” (vem do latim *modulus* que significa “pequena medida”), ao qual se acomodaram, por múltiplos e sub-múltiplos, as dimensões do conjunto e de cada uma das partes, embora varie de uma cultura para outra, a forma de obtenção deste módulo ao variar as medidas características de um povo.

Na arquitetura helênica (entre os anos 300 e 100 a.C.) e em seguida nas ordens clássicas, inspirada nos tratados de VITRÚVIO (Os Dez Livros de Arquitetura, Século I a.C.) ou PALLADIO (Quatro Livros de Arquitetura, 1570), o módulo é, de uma maneira geral, uma unidade de proporção, com função estética, portador da harmonia na construção e regulador das proporções, com um sistema modular estático e “harmônico”, extraídos dos estudos das harmonias musicais desenvolvidos por Pitágoras, que mantinham entre si uma relação “simples” pelo número de vibrações, baseada nos acordes musicais.

Marcus VITRÚVIO Pollio (1 d.C.), arquiteto e engenheiro, divulgou seus padrões de proporções e seus princípios arquiteturais: *utilitas*, *venustas* e *firmitas* (utilidade, beleza e solidez).

O Homem Vitruviano (figs. 4 e 5), famoso desenho de anatomia de Leonardo DA VINCI sobre as proporções da figura humana, datado (o desenho) em 1490, baseia-se na forma humana deitada de barriga para cima com as mãos e pernas abertas poderia ser circunscrita tendo o umbigo como centro do círculo. Ele sugere ainda que a figura pode também estar contida exatamente dentro de um quadrado. A cabeça é calculada como sendo um décimo da altura total. A notação $a:b=c:d$ é uma proporção.

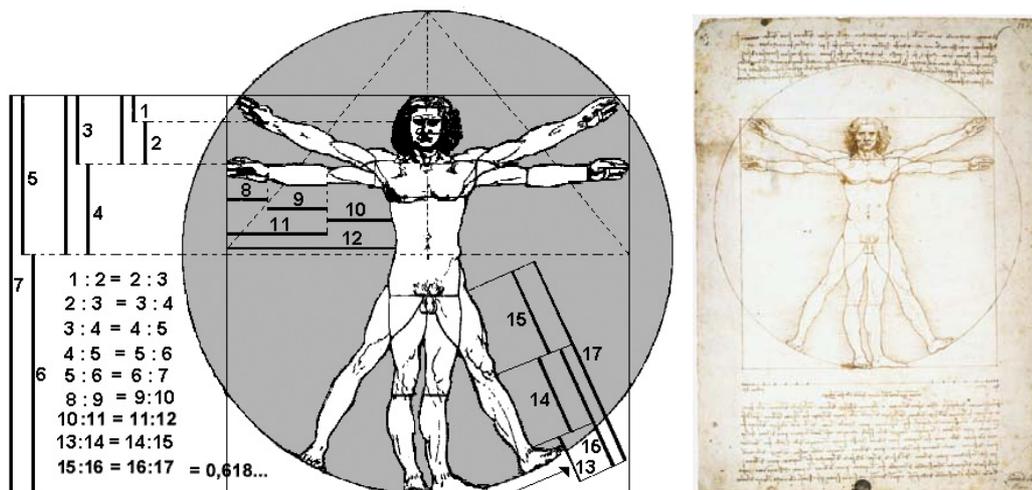


Figura 4 e Figura 5: O homem Vitruviano de Da Vinci

Fonte: <pe^{ss}oal.sercomtel.com.br/>. Em 19/06/2005.

A proporção áurea, que tem sido motivo de estudo desde os mais remotos tempos, representa, segundo estudiosos, a mais agradável proporção entre dois segmentos ou duas medidas.

Número de Ouro: também chamado de razão áurea, é simbolizado pela letra (f), inicial de FÍDIAS, arquiteto e escultor grego que utilizou este número ou (t), tau. É o número obtido quando se divide (a) por (b):

$$(a+b) / a = a / b = f = 1,618034 \quad f^2 = 2,618 \quad 1 / f = 0,618034$$

Exemplos:

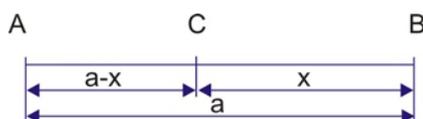
O número f aparece nas artes, como o retrato de "Isabelle d'Este" pintado por Leonardo DA VINCI (fig. 6), no corpo humano, nos animais, nas flores, na formação das árvores, na disposição das folhas em certas plantas, nos frutos, na espiral logarítmica, na construção do decágono regular, em vários poliedros regulares, na pirâmide de Quéops, nas danças clássicas, nas grandes catedrais da Idade Média, na Arquitetura, no "modulor" de LE CORBUSIER, na poesia, na série de FIBONACCI.



Figura 6: Isabelle d'Este (1474-1539)

Fonte: <cgfa.sunsite.dk/vinci/p-vinci9.htm> Em:19/06/2005

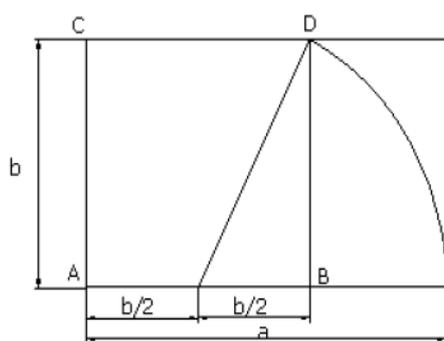
Seção Áurea: Também chamada de razão áurea, foi estudada pelos gregos antes do tempo de Euclides de Alexandria que descreveu esta seção em sua proposição "dividir um segmento de reta em média e extrema razão". Diz-se que o ponto B divide o segmento AC em média e extrema razão, se a razão entre o menor e o maior dos segmentos é igual à razão entre o maior e o segmento todo, isto é, $AB/BC = BC/AC$. Usando a notação moderna, podemos escrever esta relação assim:



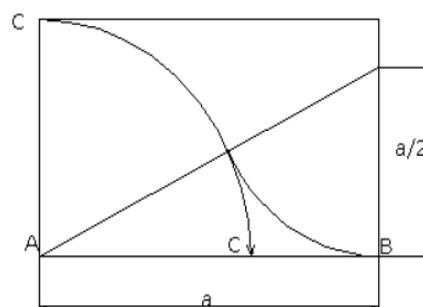
$$(a-x) / x = x/a$$

Retângulo Áureo: é uma proporção harmônica que têm como lado menor a seção áurea do lado maior, têm a propriedade de reproduzir a mesma proporção entre os lados dos retângulos obtidos pela sua divisão (do retângulo) pela metade, e esta propriedade é muito vantajosa na prática projetual. É o retângulo que tem os seus lados a e b na razão áurea $a/b = f = 1,618034$, portanto, o lado menor (b) é o segmento áureo do lado maior (a).

Construção do retângulo áureo a partir do seu lado maior e menor (à direita):



AB = lado maior do retângulo
AC = lado menor do retângulo
AC = segm. áureo de AB



AB = lado maior do retângulo
AC = lado menor do retângulo
AC = segm. áureo de AB

O retângulo áureo exerceu grande influência na arquitetura clássica desde a época helênica. As proporções do Parthenon, templo de ordem dórica e o maior da Acrópole de Atenas prestam testemunho desta influência.

Construído no século V a.C por FÍDIAS, o Partenon (figs. 7 e 8) é considerado uma das estruturas mais famosas do mundo. Sua planta mostra que o templo foi construído tendo por base um retângulo com comprimento igual à raiz quadrada de 5 e largura igual a 1. A fachada, toda organizada segundo a razão de ouro, revela a preocupação de realizar uma obra de extrema harmonia. Quando seu frontão triangular ainda estava intacto, suas dimensões podiam ser encaixadas quase exatamente em um retângulo áureo.

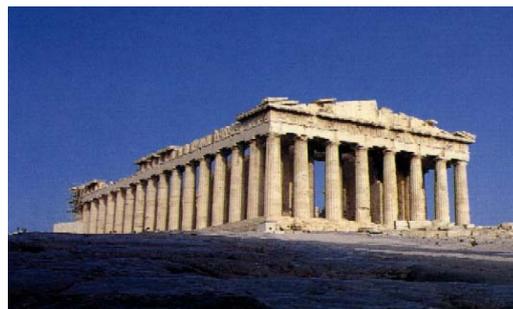


Figura 7 e Figura 8, respectivamente: desenho e imagem atual do Partenon.

Fonte: < pt.wikipedia.org/wiki/Partenon > Em 19/06/2005.

Muitos artistas que viveram depois de FÍDIAS usaram a proporção Áurea em seus trabalhos. Leonardo DA VINCI (1452 - 1519) a chamava: Divina Proporção e a usou em muitos de seus trabalhos. Na Mona Lisa (Fig. 9) observa-se a proporção Áurea em várias situações. Por exemplo, ao construir um retângulo em torno de seu rosto, veremos que este possui a proporção do retângulo Áureo. Podemos também subdividir este retângulo usando a linha dos olhos para traçar uma reta horizontal e ter de novo a proporção Áurea.



Figura 9: Mona Lisa (1479-1528),

**Fonte: < www.ibiblio.org/wm/paint/auth/vinci/joconde/ >.
Em 19/06/2005.**

O segundo conceito no termo “módulo” é o de fator numérico, ou seja, estabelece uma correlação entre os termos de uma série de números ou entre as dimensões de uma gama de grandezas.

Como exemplo, encontramos o fator constante (razão) nas progressões geométricas e aritméticas. Esta concepção constitui o princípio unificador de uma gama de dimensões gerada por duas séries de FIBONACCI, com o fator multiplicador comum ou módulo é igual a 1,618, que está na base do “Le Modulor”, uma série de dimensões normalizadas estabelecida pelo arquiteto francês Le CORBUSIER (1887-1966) e publicado em 1948.

Leonardo de Pisa FIBONACCI (fig. 10) matemático e comerciante da idade média escreveu em 1202 um livro denominado Liber Abacci (o livro do ábaco). Este livro contém uma grande quantidade de assuntos relacionados com a Aritmética e Álgebra da época, na qual demonstrava as grandes vantagens do sistema arábico de numeração sobre o romano e realizou um papel importante no desenvolvimento matemático na Europa nos séculos seguintes, pois através deste livro os europeus conheceram os algarismos hindus, também denominados arábicos. FIBONACCI apresentou um quebra-cabeça matemático que deu origem à série de FIBONACCI relacionada com a criação de coelhos. Esta série segue a regra segundo a qual cada termo é a soma dos dois termos imediatamente anteriores:

$$U_{n+1}=U_n+U_{n-1}(U_0=0, U_1=1)$$

Ex.: :1:2:3:5:8...



Figura 10: Leonardo de Pisa FIBONACCI (1175-1250).

Fonte: <scienceworld.wolfram.com/biography/Fibonacci.html>.

Em: 19/06/2005.

Le CORBUIER utilizou também de relações harmônicas para projetar estruturas. O padrão utilizado por ele nas relações humanas foi o “Le Modulor” (fig. 11), cuja relação de medidas foi baseada na divisibilidade do corpo humano em proporção harmônica, a partir da altura máxima de ocupação de espaço pelo corpo humano (distância do chão às pontas dos dedos com o braço levantado) e da metade dessa altura (até o plexo solar) criou duas séries de valores em relação áurea. Essas séries foram obtidas a partir da divisão harmônica desses comprimentos, que constituem uma gama de medidas humanas, consideradas suficiente para dimensionar qualquer elemento necessário à construção (fig. 12).

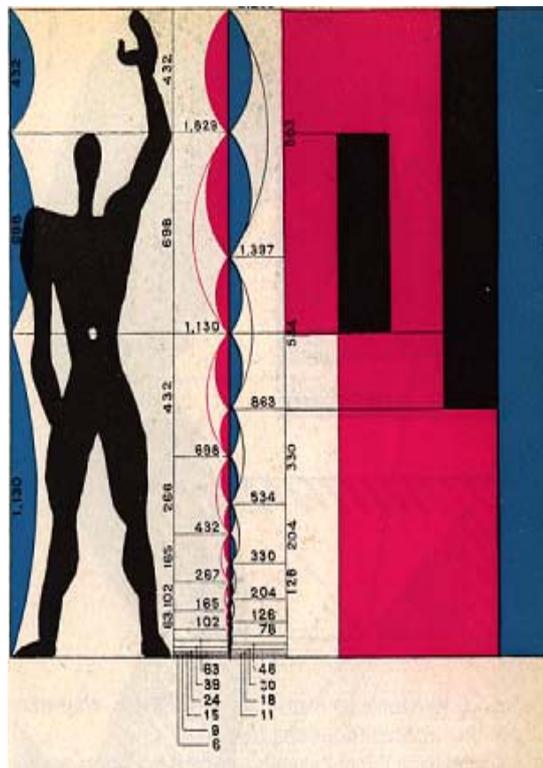


Figura 11: Le Modulor

Fonte: <www.cyberartes.com.br>.

Em: 19/06/2005.

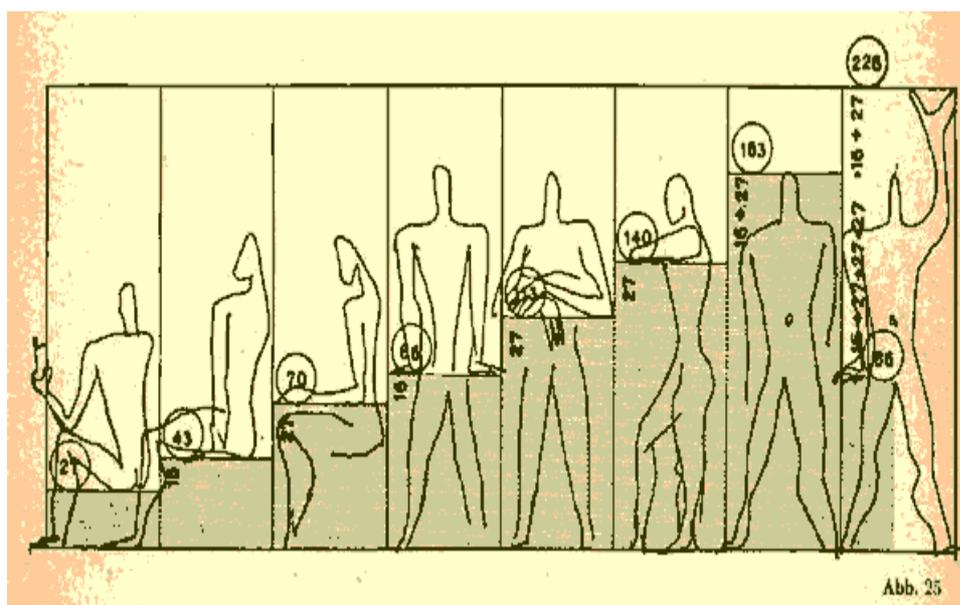


Figura 12: Ocupação do espaço pelo homem

Fonte: <www.cyberartes.com.br>. Em 19/06/2005.

Na arquitetura, a aplicação das proporções exerce papel fundamental e fascinante. O arquiteto, ao proporcionar seus edifícios, busca satisfazer os sentidos (principalmente a visão) e o espírito do homem através do uso de relações aritméticas e geométricas (ARAÚJO, 1976).

2.3.2. O Módulo como Elemento de Industrialização

O termo módulo, de onde deriva a expressão “coordenação modular”, contém em si dois conceitos distintos.

O primeiro considera o módulo como unidade de medida, oferecendo uma base dimensional, que associada a uma série de números, dá origem a uma série de dimensões ordenadas.

O segundo conceito será explicado no sub-capítulo posterior.

O termo **coordenação dimensional** ou **correlação dimensional** indica para uma edificação, um mecanismo de simplificação e conexão de magnitudes relativas de vários objetos, de procedências distintas, que devem acoplar-se na fase de montagem, sem retoques ou ajustes. Isto é conseguido basicamente com a necessidade de complementar algumas ações normalizadoras (regularizadoras), que usualmente impulsionam o desenvolvimento racional das atividades de produção industrial em série, a enumerar (CAPORIONI et al, 1971):

1. Efetuando-se, entre todas as dimensões possíveis de materiais ou componentes da construção, uma seleção conveniente (sucessão de valores), capaz de facilitar sua produção industrial permitindo controle adequado destas dimensões. Com isso, proporcionará a definição de um sistema de grandezas do tipo correlacionadas.

2. Definição de um conjunto de regras que resolvam as questões relativas a tolerâncias para os acoplamentos das partes.

3. Determinação de um conjunto de regras e instrumentos de controle de todas as dimensões da produção.

A aplicação desta coordenação de dimensões levará à redução do custo total de uma construção, com índices elevados atualmente, devido em grande parte, à falta de coordenação entre os diversos setores da industrialização civil.

Através da correlação das dimensões proporciona-se uma dependência recíproca entre os elementos da série e os produtos finais, os organismos arquitetônicos.

Conseqüências do uso da coordenação dimensional (MICHALKA, 2005):

- Menor custo de fabricação dos materiais industrializados;
- Aplicação mais maleável dos materiais;
- Economia de tempo em relação a definição de detalhes e de métodos de montagem;
- Possibilidade de mais tempo para trabalhos de organização;
- Serão evitados retoques, cortes e outros trabalhos de ajuste na obra;
- Transporte e manutenção mais fáceis;
- Maior rapidez na execução dos trabalhos na obra;
- Redução, tendendo a eliminação, dos desperdícios.

Quando se usa uma série numérica (sucessão de números) como critério fundamental de proporção se obtêm uma gama de dimensões relacionadas entre si, qualquer que seja a unidade de medida utilizada. As séries numéricas foram as primeiras tentativas para determinar uma série adaptada à produção industrial.

Ao utilizar-se de uma dimensão especificamente para estabelecer relação entre as dimensões dos elementos da construção, ela representa ao mesmo tempo denominador comum, fator dimensional e incremento unitário das dimensões. A esta dimensão que transforma a série numérica em uma série de dimensões coordenadas, que são múltiplos inteiros desta medida, denomina-se **módulo base**. À série de múltiplos inteiros do módulo base é denominado de seqüência normal. Quando se relaciona esta dimensão com uma unidade de medida, ela passa a denominar-se módulo (CAPORION et al, 1971).

A denominação particular dada à coordenação dimensional das edificações, quando estas se obtêm usando o módulo base chama-se coordenação modular, que veremos no capítulo seguinte.

Houve a necessidade de critérios de redução do número de elementos, sendo que isto deve ser obtido tendo como critério a redução da variedade de dimensões dos elementos para a edificação (simplificação) e o modo de relacionar estas dimensões selecionadas (correlação).

A NBR 526 definiu séries modulares preferíveis, que são séries modulares compostas de séries aritméticas de razão 2 e 3, como exemplo:

Razão 2: 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16...

Razão 3: 3 – 6 – 9 – 12 – 15 – 18 – 21...

Já CAPORIONI et al (1971) propôs a busca de uma série que fosse utilizada nas construções, com números mais abrangentes, sendo processada inicialmente de duas maneiras:

- Partindo-se de uma série matemática tipo aritmética, de modo a cada termo pode ser substituído pela soma de termos menores ou geométrica, já que para um mesmo intervalo, conforme a dimensão é maior, menor precisa ser o número de elementos da construção contidos nele;
- Partindo-se de séries harmônicas, com enfoque nas proporções, já citados no sub-capítulo 2.3.1, FIBONACCI e, mais recentemente, Le CORBUSIER com seu “Le modular” apresentaram formulações interessantes na busca de uma série baseada nas proporções.

O diferencial de CAPORIONI et al, (1971) foi a utilização da lambda platônica e para completar, a série de base 5, gerando as séries preferenciais mais completas por abranger as séries harmônicas. Já a norma brasileira só levou em consideração as séries matemáticas.

Lambda platônica

					1					
					1					
				2		3				
			4				9			
		8						27		
	16								81	

Série de base 5 e razões 2 e 3

				5						
			10		15					
		20		30		45				
	40		60		90		135			
80		120		480		270		405		

Chegando-se às seguintes série de números preferenciais:

					1					
				2	5	3				
			4	10	6	15	9			
		8	20	12	30	18	45	27		
	16	40	24	60	36	90	54	135	81	
32	80	48	120	72	180	108	270	162	405	243

Para uma melhor compreensão da necessidade de introduzirmos o estudo do módulo na coordenação modular, serão primeiramente definidos os seguintes conceitos (CAPORIONI et al, 1971; HOUAISS, 2004):

- Dimensão: distância entre duas retas paralelas quaisquer, determinada pelo seguimento de reta perpendicular a estas duas retas e limitado por elas; extensão mensurável (em todos os sentidos) que determina a porção de espaço ocupada e caracteriza-se através de uma unidade de medida.

- Unidade de medida: refere-se e se baseia em um padrão de medida conhecido, como por exemplo, o metro, o centímetro, polegadas, pés.
- Medida: expressão numérica de uma magnitude linear; grandeza ou quantidade avaliadas por meio de instrumentos ou cálculos; medir significa relacionar uma dimensão conhecida à unidade de medida.

2.3.3. Questões Práticas do Sistema Aberto

O termo MÓDULO, do qual deriva a expressão coordenação modular, contém os conceitos distintos, de unidade de medida (abordado no capítulo anterior) e fator numérico.

Este segundo conceito do módulo, como fator numérico, produziu uma nova concepção através da industrialização do processo construtivo, sendo empregado agora com fins técnicos, utilitários e produtivos. O módulo é denominador comum das magnitudes existentes na construção, considerado como fundamental para qualquer sistema de coordenação modular. É simplesmente uma unidade de medida abstrata que se propõe como dimensão base para o dimensionamento dos elementos da edificação produzidos industrialmente (CAPORIONI et al, 1971).

Então, é por um lado denominador comum de todas as dimensões coordenadas e, por outro incremento unitário cujos múltiplos inteiros sejam as dimensões citadas (seqüência normalizada) (MICHALKA, 2005).

Na escolha de um módulo base, deve-se assegurar uma gama de medidas modulares para todos os componentes possíveis, atuais e futuros, ou seja, não se deve escolher o módulo baseado num só elemento da construção, por mais importante que este possa parecer em relação aos outros (como acontece no sistema industrial fechado e pode ser encontrado nos exemplos do catálogo do IPT), já que a implantação da coordenação modular implicará em ajustes dimensionais em todos os componentes existentes para a produção de uma edificação.

Para a escolha da medida do módulo base, CAPORIONI et al (1971) recomenda que devemos considerar os seguintes pontos:

1 - A medida do módulo base deve ter a possibilidade de satisfazer, do melhor modo possível, as exigências eficazes de uma gama modular, com

correspondência das dimensões atuais com os elementos, a simplificação das medidas e a facilidade de adição das mesmas;

2 - O módulo base deverá ser grande o suficiente para estabelecer uma correlação convincente entre as dimensões modulares dos componentes e os espaços modulares do projeto, sendo a maior medida possível, com a finalidade de obter a redução na variedade de produtos;

3 - E igualmente suficientemente pequeno para facilitar que seus múltiplos se correspondam com todas as dimensões dos elementos da gama industrial, constituindo uma unidade de crescimento de uma unidade modular à seguinte, de modo a reduzir ao mínimo, tanto as variações que devem produzir-se nos atuais elementos para adaptá-los à medida modular mais próxima como as variações relativas dos espaços previstos no projeto.

4 - Por facilidade de uso, a medida do módulo deve ser um número inteiro, que terá uma relação numérica clara com o sistema de medida adotado;

5 - A medida do módulo deverá ser escolhido mediante um acordo de todos os países que interessam adotar a coordenação modular, ou seja, será adotado dentro dos limites possíveis, a mesma para todos os envolvidos.

A medida que é considerada unanimemente como satisfazendo às exigências acima é de 1 dm.

Com a definição do valor do módulo base ($M=1$ dm) podem ser desenvolvidas malhas compostas de multimódulos, com:

Multimódulos: 6000 – 3000 – 1500 – 1200 – 600 – 300 – 200mm, correspondendo a: 60M – 30M – 15M – 12M – 6M – 3M – 2M;

Submódulos, $M=100$ mm, com os módulos fracionados: 50 – 20 – 10 – 5 – 2 – 1 cm ou $1/2M$ - $1/3M$ – $1/10M$ – $1/20M$ – $1/100M$), não impedindo que haja nas edificações elementos que tenham na sua definição geométrica, dimensões menores que 10 cm como por exemplo, espessura de caixilhos, peças cerâmicas e laminados. Para estes casos particulares devem ser definidas medidas denominadas de “sub-modulares”, que podem ser assumidas como frações do módulo base. É importante salientar que usar medidas sub-modulares para compor com medidas modulares,

formando uma medida maior que o módulo significa desviar-se totalmente dos objetivos da coordenação modular.

A correlação dimensional entre projeto e obra de um elemento construtivo requer ajuste entre os componentes da construção e deve haver um controle perfeito das dimensões destes componentes que ao ser fabricado, apresenta uma diferença entre a medida de projeto e a medida real. Por outro lado, entre um elemento e outro existe sempre uma junta.

Para que a montagem possa se dar é necessário que a junta fique entre um limite máximo e um limite mínimo. Esta diferença é sempre uma quantidade positiva que é definida por tolerância. Isso implica que as medidas dos componentes também devam estar dentro de uma variação definida para mais e para menos.

Para que seja possível trabalhar dentro de um sistema industrializado, se faz necessário definir alguns conceitos das dimensões dos componentes, já definidos pela NB-25 em 1969, (fig. 13, de ajustes):

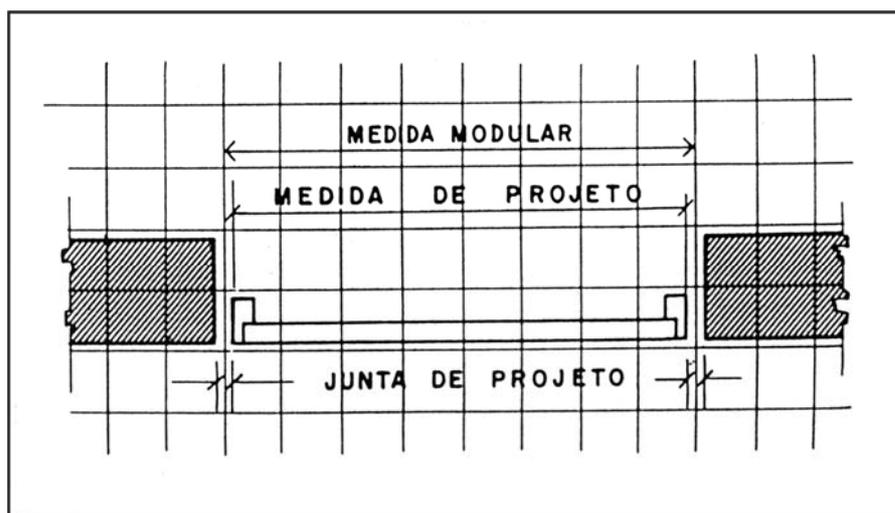


Figura 13: Exemplo de uma esquadria de madeira (porta)

Fonte: BNH/IDEG (1978: 21)

Medidas Modulares – valores teóricos de referência, medida igual a um módulo ou um múltiplo inteiro do módulo;

Medida de Projeto – aquela que se determina no projeto para qualquer componente da construção;

Medida Real – aquela que se obtém ao medir qualquer componente da construção;

Tolerância de Fabricação – diferença máxima admissível entre a medida de projeto e a medida real;

Junta de Projeto – distância prevista no projeto entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção;

Junta Real – distância real entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção;

Ajuste Modular – medida que relaciona a medida de projeto com a medida modular;

O problema da variação do dimensionamento de projeto é causado pela ferramenta de medição e pelo sistema de fabricação. Todo elemento industrializado tem uma variação real em relação à medida teórica. Por outro lado, em todo ajuste existe um limite máximo e um mínimo para a diferença entre a medida teórica e a medida real, de modo a não impedir um bom acoplamento, assim como um bom funcionamento das partes acopladas.

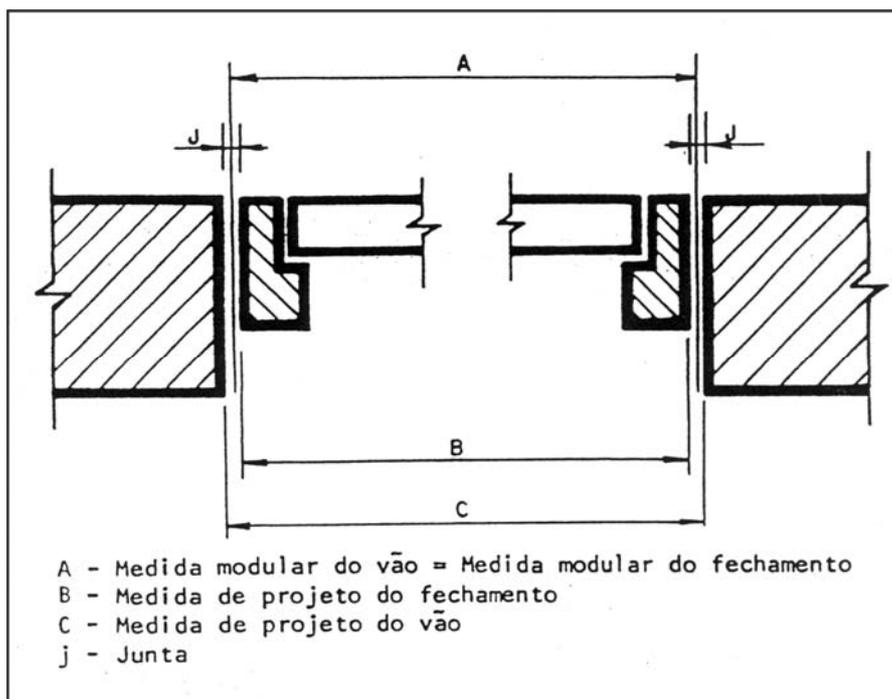


Figura 14: Vãos Modulares e seus Fechamentos

Fonte: ABNT NBR 5708 (FEV/1982)

CAPORIONI et al (1971) comenta que o estudo dos problemas de dimensionamento e organização necessários para conseguir uma industrialização de produção de uma edificação devem estar relacionadas à uma estabilização das

variáveis, tanto na execução dos trabalhos na obra, quanto nas relativas ao projeto arquitetônico.

Com relação à execução, deve-se atuar na sistematização das diversas atividades operacionais para que seja conseguidos a máxima eficiência e o menor emprego possível de tempo, com o menor gasto de energia e materiais. Isto se consegue através de uma profunda ação de racionalização, com estudo dos métodos e tempos de trabalho. Para isto são necessários, tanto uma apropriada preparação, quanto um controle e uma experimentação, através de institutos de análise de tempo propostos por diversas entidades.

Quanto ao projeto, o modo de projetar, juntamente com a padronização, devem contribuir para que este tenha um caráter prático de industrialização, ou seja, que além das exigências funcionais e estéticas devem ser consideradas aquelas de caráter técnico e organizacional da indústria (MICHALKA, 2005).

O propósito da coordenação modular visa obter uma maior integração entre as exigências projetuais e o procedimento industrial com suas vantagens econômicas, tendo como objeto, os elementos componentes da construção que deverão ser caracterizados, classificados e normalizados através de critérios definidos por esta coordenação.

Do ponto de vista qualitativo, os elementos fabricados podem ser classificados em aditivos e não aditivos (CAPORIONI et al, 1971):

Aditivos – são aqueles referentes aos revestimentos cerâmicos, tijolos, placas, laminados, etc., que se relacionam com outros elementos iguais e o conjunto por eles formado se relaciona com outros elementos da construção.

Não aditivos – são aqueles que se relacionam obrigatoriamente com outros elementos da construção como portas, janelas, vigas, etc.

Respeitando as dimensões, todos os elementos que compõe a construção podem ser classificados em 3 categorias: materiais amorfos, componentes e elementos funcionais.

Materiais amorfos – não têm nenhuma dimensão fixa, são utilizados diretamente na obra e têm medidas que dependem essencialmente de cada projeto. Exemplos: tintas, emboço, agregados etc.

Componentes – principal característica é serem elementos acabados específicos que possuem dimensões fixas em pelo menos duas direções. São fabricados pela indústria a partir de materiais amorfos, como exemplo: azulejos, pisos cerâmicos, tubos etc.

Elementos funcionais – são parte de um conjunto com uma função de uma estrutura, como: muros, tetos, instalações, etc., materiais necessários para sua montagem na obra, e cujas dimensões são a soma dos componentes (blocos, janelas, portas, tubos, etc.).

Em suma, podemos verificar que após a extração da matéria-prima e uma primeira elaboração, os materiais amorfos resultantes são enviados à obra ou à indústria para sua transformação em componentes ou elementos funcionais, constituindo um conjunto que atende, particularmente, a uma produção industrializada e conseqüentemente a uma normalização.

Os componentes de uma construção se dividem em 3 grandes categorias: laminados, elementos simples acabados e elementos compostos.

Laminados – são aqueles que pressupõem operações de caráter industrial, em geral de processo de fabricação contínuo, que incluem os perfis metálicos, barras, tubos, etc. Caracterizam-se por terem uma seção definida e um comprimento variável. São os perfis em U, L, T, I, barras, tubos, placas, etc.

Materiais simples acabados – são aqueles produzidos por outro grupo de fábricas, que transformam os materiais amorfos e laminados em elementos simples para construção. São geralmente de dimensões reduzidas, formas simples e utilização específica. Têm as três dimensões definidas, completo individualmente, mas com a finalidade de fazerem parte de elementos compostos. São eles: elementos cerâmicos, blocos, telhas, portas, peças de união e fixação, etc.

Materiais compostos acabados – são aqueles produzidos por um último grupo de fábricas que utilizam materiais amorfos, laminados e acabados para a produção de uma grande variedade de elementos compostos com características funcionais definidas. São materiais de construção com as três dimensões definidas, completo em si mesmos, mas entendidos como partes de uma construção completa, como por exemplo: aparelhos de sistema de aquecimento e refrigeração,

equipamentos de instalações elétricas (lâmpadas, interruptores, disjuntores), equipamentos hidráulicos (registros, válvulas), portas, janelas, etc.

Os elementos dimensionais (laminados, materiais simples acabados e materiais compostos acabados) constituem um vasto conjunto que se presta particularmente a uma produção industrializada e conseqüentemente a uma normalização.

Estes elementos dimensionais devem adaptar-se à modulação através de dois pontos principais:

1. Devem ser dimensionados em função de um espaço modular fixo, ou seja, sua dimensão deve ser múltiplo inteiro do módulo.

2. Devem ter um perfil que permita a união com os elementos adjacentes, considerada inclusive a junta de ligação.

Neste estágio, para a implantação da coordenação modular, a produção deverá passar pelas definições:

- De uma gama de medidas aptas a produzir elementos dimensionados em função do módulo, ou seja, de uma gama ou família de medidas modulares.
- Dentro das características individuais de um determinado elemento, dos detalhes de acoplamento, considerando necessariamente as questões de tolerância.

Conseqüentemente, pode ser necessário modificar a forma ou as dimensões dos componentes utilizados. O tipo e a importância das alterações dependerão do uso específico do elemento e a relação com os demais elementos que intervêm na construção civil.

É importante ressaltar que as medidas modulares se aplicam às medidas nominais dos componentes, ou seja, considerando-se a junta.

3. A QUALIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E O PROJETO ARQUITETÔNICO

No setor da construção civil, a competitividade do mercado tem provocado a conscientização de profissionais quanto à necessidade de melhorias para a qualidade dos produtos e o desenvolvimento de processos. Uma das principais barreiras para o avanço tecnológico e organizacional tem sua origem na etapa da elaboração de projeto. Os princípios de gestão da qualidade têm sido reconhecidos como uma das possíveis alternativas para o sucesso do empreendimento na construção GRILO (2001).

Segundo DIAS (1992) pode-se conceituar “qualidade” como “o conjunto de requisitos de bem construído, necessário para satisfazer as necessidades do usuário, cujos requisitos mais importantes são: segurança, habitabilidade, durabilidade, estética e adequação ambiental”.

A qualidade do ambiente construído, como parâmetro espacial, está diretamente relacionada à capacidade desse espaço em satisfazer às necessidades dos usuários, que vem sendo analisada sob diferentes prismas entre os quais se destacam: a funcionalidade e o conforto ambiental – térmico, acústico, lumínico e ergonômico (PORTO, 2001).

Mas não tem sido considerada a qualidade “física” do edifício. E para que isso se aplique, deve ser considerado que a qualidade do todo depende da qualidade das partes (componentes).

A criação de critérios para a qualidade das partes necessita de criação de critérios de padronização para permitir a avaliação (comparação com parâmetros pré-definidos).

FERREIRA (1999) aponta que na etapa de projeto, o empreendimento é definido, baseado na identificação das necessidades do cliente, ocorrendo a concepção e o desenvolvimento do produto, qualidade e rentabilidade.

A nova estrutura de comunicação global compostas por uma equipe multidisciplinar (constituído por uma setorização com conseqüente terceirização dos projetos), define grupos e tarefas, eliminam as barreiras entre os especialistas, traçam metas e objetivos, agilizam as ações com trocas interativas das inovações tecnológicas. Evitam assim, o retrabalho, realimentando as atividades envolvidas,

eliminando os desperdícios de tempo e recursos, devido ao não envolvimento completo dos vários setores de desenvolvimento em etapas anteriores ao ciclo. FERREIRA (1999).

Na construção tradicional, não há preocupação com as questões dimensionais dos componentes e da precisão dimensional da obra da compatibilização dimensional dos projetos envolvidos. Então muitas decisões são tomadas compulsoriamente no canteiro de obras, na hora da execução, e o progresso e o sucesso da obra dependem da capacidade do responsável no local, muitas vezes representado pelo mestre-de-obras. Muitos componentes da obra, executados em diversos locais ou na própria obra, apresentam grande variedade quanto aos aspectos de função, dimensão, materiais que são preparados, resultando em atrasos, baixo rendimento e riscos para o empreendimento.

Para CEOTO (1998) é preciso simplificar o processo construtivo: empresas mais especializadas, regulamentadas, com base em tecnologia e gestão, ou seja, por exemplo, mais padronização dos materiais, uso de arquivos eletrônicos e menor variedade, objetivando gerar uma cultura de ganho de produtividade e comprometimento dos serviços.

Para eliminar as deficiências dos processos comuns na construção, a padronização dos elementos pré-fabricados resultante na normalização exige uma organização industrializada dos processos da produção. Outro resultado é que esses sistemas exigem mão-de-obra com bastante capacitação profissional, pois os elementos da construção produzidas em fábrica são levados para o local. FERREIRA (1999).

3.1. O Papel da Padronização na Racionalização da Construção

A padronização na racionalização da construção consiste em um dos subsídios para uma empresa que pretende implantar um sistema de gestão de qualidade ou aperfeiçoar os seus processos obtendo melhorias de qualidade e produtividade, devendo estar imbuída de um pensamento direcionado à busca incessante e incansável do melhoramento contínuo, sem constituir de tentativas aleatórias e esporádicas.

KRÜGER & HEINECK (1999) afirmam que entre tantas melhorias possibilitadas pela padronização, pode ser destacada a redução da variabilidade, sendo as atividades revestidas de constância e uniformidade. É benéfico para o processo e para o próprio treinamento dos operários envolvidos que as operações sempre se repitam da mesma maneira, aniquilando a atuação empírica de tentativas e erros. O final do trabalho é previsível, sendo os insumos sempre processados do mesmo modo. Igualmente se destaca a racionalização, concretizada pela utilização coerente de materiais, mão-de-obra, equipamentos e do tempo. O uso estritamente necessário desses elementos evita, ou ao menos minimiza a ociosidade e o desperdício de tempo e de recursos.

Uma das ferramentas para a padronização da racionalização na construção se dá através da aplicação da coordenação modular, visando como primeiro objetivo o dimensionamento dos componentes. Pois deve estar claro que seria uma utopia pensar em um sistema modular sem que os componentes tenham medidas modulares.

Para haver uma coordenação modular, é necessário que cada elemento esteja contido dentro de um espaço modular definido por linhas ou planos de um sistema modular de referência.

3.2. Questões Relativas ao Projeto Modular

3.2.1. Sistemas de Referência

O uso de um sistema de referência existe na arquitetura desde a Antigüidade. Um dos exemplos é o projeto desenvolvido pelo arquiteto Bramante para a Basílica de São Pedro (1506 - 1626), no Vaticano, em Roma, baseado em retícula, onde os diversos elementos estruturais coincidem com as linhas do traçado de referência. (Fig. 15).

Atualmente tem surgido a idéia de generalizar o uso de reticulados como sistemas de referência, baseado na razão fundamental de coordenar as posições e dimensões de todos os materiais e elementos dimensionados que compõem a construção. Isto requer uma racionalização do sistema, em função de um reticulado ou de uma combinação de reticulados, com o objetivo de simplificar o trabalho de

projeto, de facilitar a colocação (instalação) dos materiais na obra, diminuindo a incidência dos cortes e ajustes.

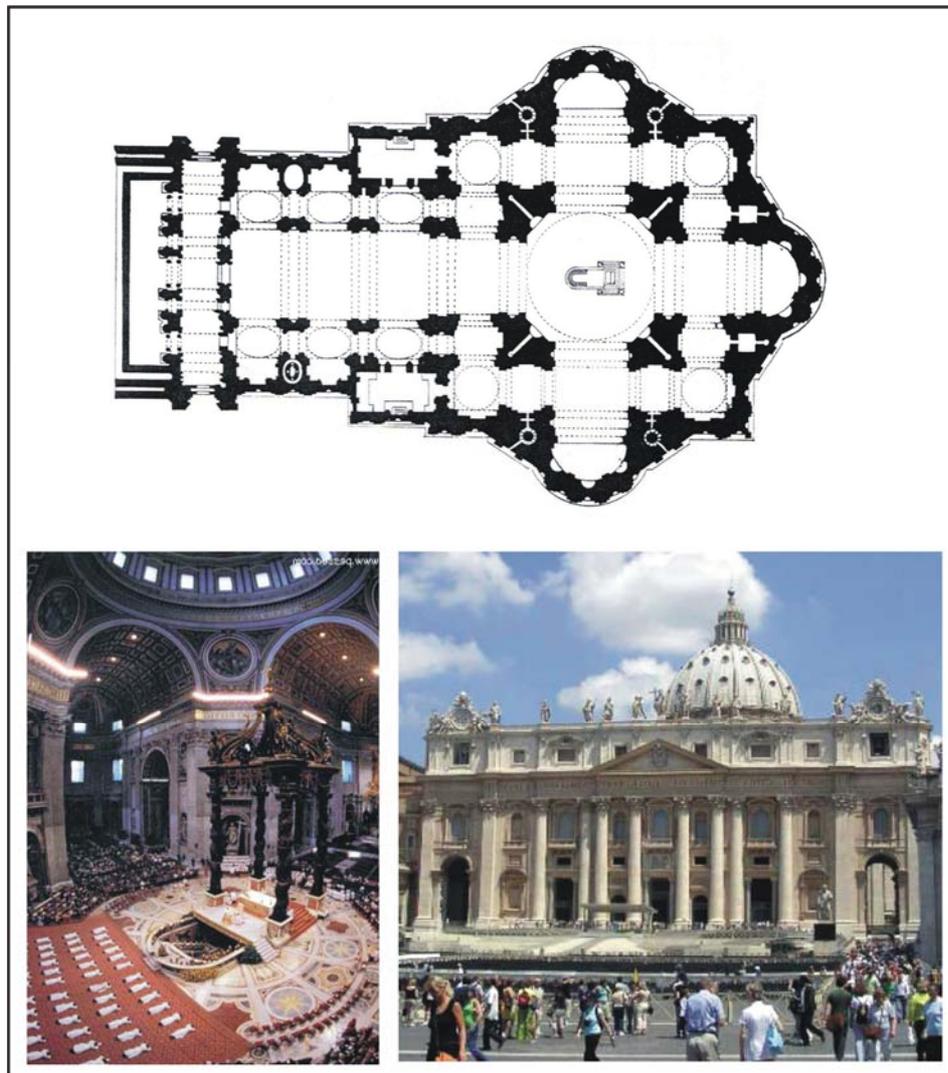


Figura 15: Basílica de São Pedro. Vaticano, Roma, Itália.

Fonte: < pt.wikipedia.org/wiki/Bas%C3%ADlica_de_S%C3%A3o_Pedro>.

Em 09/01/2006.

Os reticulados têm, por conseguinte, as seguintes finalidades:

- Constituir um sistema de referência que permita situar os objetos com relação a linhas ou pontos fixos;
- Facilitar uma escala dimensional de leitura imediata na área do desenho de projeto.

Na figura 16, temos indicada a disposição de componentes modulados em relação ao quadriculado modular de referência, em planta, com o multimódulo adaptado foi de 3M.

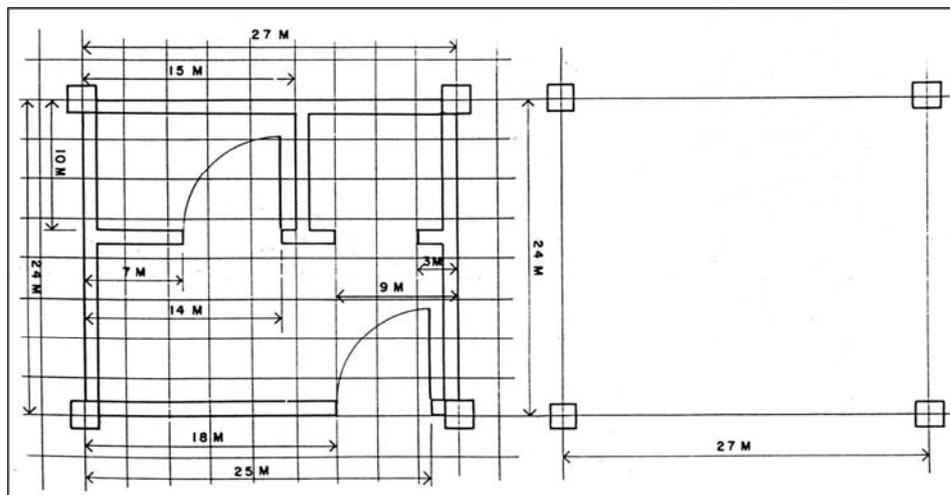


Figura 16: Desenho de componentes modulados – Quadrado modular de referência.

Fonte: BNH/IDEG (1978: 37)

3.2.2. Tipos de Desenho para um Projeto Modular

Os desenhos necessários para a representação gráfica de um projeto modular podem ser divididos em duas categorias:

- Desenhos para projeto de componentes
- Desenhos para execução da edificação

Sendo a construção de um edifício, um processo de acoplamento de cada um de seus componentes, os desenhos para a execução podem subdividir-se em:

- Desenhos para acoplamento de detalhes
- Desenhos para acoplamento de projeto

Um projeto modular requer, em função das sucessivas etapas de projeto, de três tipos de desenho:

- Desenho de componentes – deve indicar além do perfil dos componentes e caracterização, todos os dados necessários à produção, através das

dimensões de um elemento modular que serão definidas mediante suas medidas de fabricação e de uma tolerância que atente para as propriedades do material, sua dimensão, a precisão dos instrumentos de medida usados na sua fabricação, assim como a própria imprecisão de fabricação. Além disto é preciso que seja considerada a junta necessária para união aos elementos contíguos.

- Desenho para acoplamento de detalhes – qualquer que seja sua dimensão, devem conter todos os elementos necessários à colocação de cada componente em sua posição específica. Ao se fazer o acoplamento de dois elementos, tem que ser levado em consideração a posição de cada um assim como o problema da união. O acoplamento implica o uso de uma junta, que cumpre duas funções: satisfazer às condições técnicas da união e permitir a colocação correta, na obra, das peças adjacentes.

A união deve ser concebida de modo a permitir o acoplamento com uma grande variedade de elementos, a fim de permitir um elevado grau de intercambiabilidade, onde a espessura da junta varia em função do tipo de elemento com o qual será o acoplamento (fig. 17).

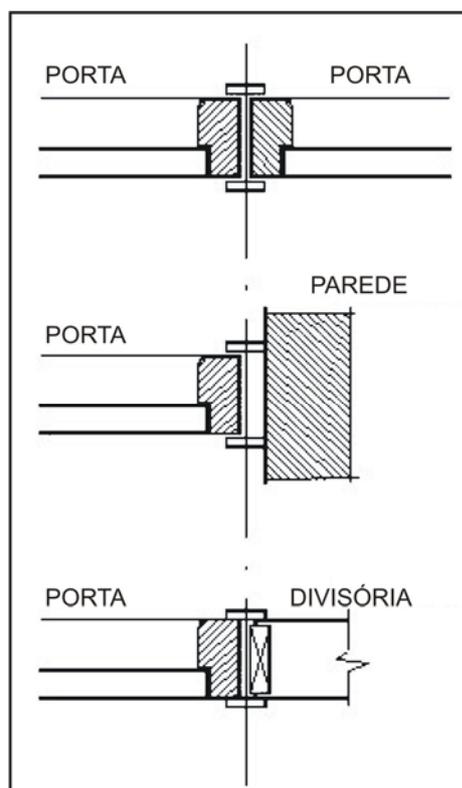


Figura 17: Representações Gráficas de Detalhes Modulares.

Fonte: Carporioni et al (1971:205)

Instalações (elétrica, hidráulica, sanitária, ar condicionado, distribuição de gás, etc)

A questão da correlação entre as linhas de referência, a disposição dos diversos dutos de distribuição e dos aparelhos a eles ligados, apresenta a mesma importância em relação aos outros elementos. Todas estas instalações obedecem a exigências próprias, mas têm em comum a existência de uma trama de tubos e dutos ligados a elementos próprios a cada tipo de instalação.

A utilização de um sistema modular de referência permitirá a determinação precisa do posicionamento dos aparelhos ligados à instalação em questão, assim como facilitar a pré-montagem parcial da instalação.

As seções transversais dos tubos e dutos são de pouca importância para efeito de coordenação, já que na maioria das vezes são inferiores ao módulo, não tendo incidência sequer indireta sobre seu posicionamento.

Desta maneira, todas as instalações de uma edificação se relacionam com o sistema de coordenação modular, pois as dimensões longitudinais dos tubos e dutos se determinam tomando como referência este sistema (fig. 18).

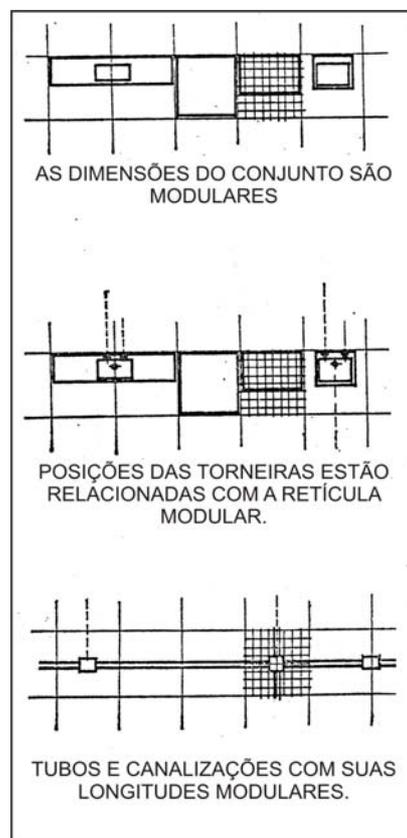


Figura 18: Disposição em relação à retícula de referência

Fonte: Carporioni et al (1971:230)

- Desenho para acoplamento de projeto – pode ser considerado como a representação gráfica do conjunto de todos os elementos da edificação, que define a posição relativa de todos os elementos dentro da edificação com a exata posição de cada componente na planta geral em relação a um sistema de referência X, Y e Z. Estes valores devem coincidir precisamente, por todas as posições dos componentes nos distintos desenhos do projeto, a fim de identificar cada elemento utilizando somente a referência modular (fig. 19). Nestes desenhos podem ser vistos todos os tipos de acoplamento necessários para a execução da edificação.

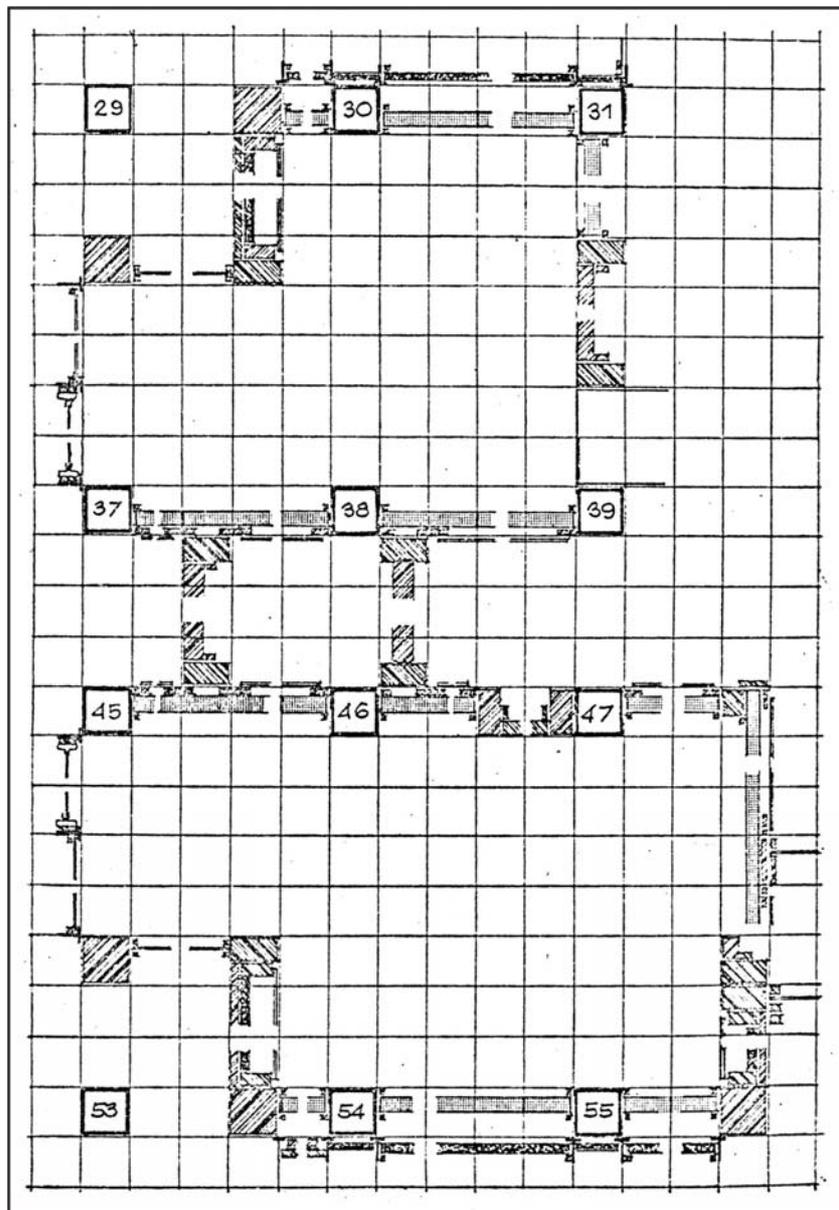


Figura 19: representação gráfica de um acoplamento de projeto.

Fonte: Carporioni et al (1971:236)

O desenho acima (fig. 19) equivale ao Desenho de Conjunto, usado na indústria mecânica para dar a posição das partes, na montagem de uma máquina, um equipamento ou um elemento funcional de um edifício.

Para demonstrar que o estudo da coordenação modular não é novidade no Brasil, verificamos um exemplar (fig. 20) de estudo efetuado em 1967 pela Associação Brasileira de Cimento Portland e apresentado como exemplo de um projeto coordenado modularmente para uma casa popular da COHAB, com blocos de concreto de 0,10 x 0,20 x 0,40.

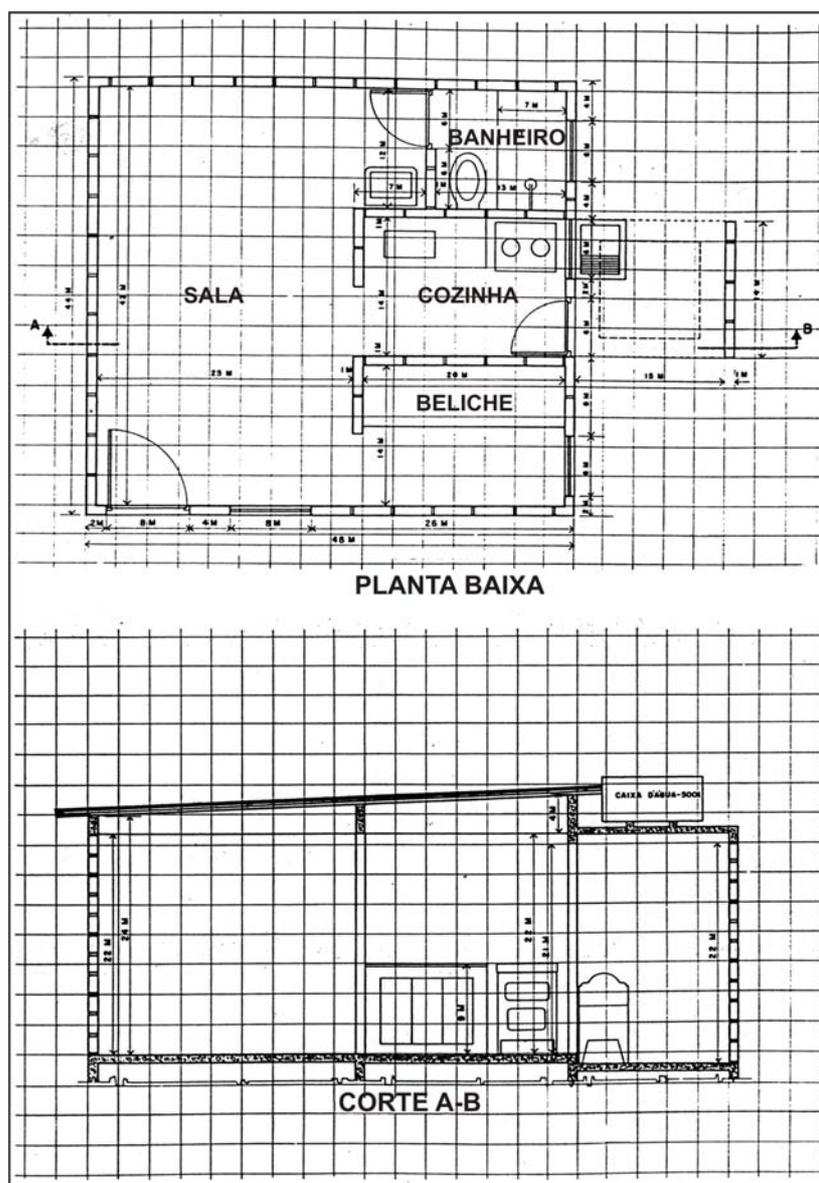


Figura 20: Planta Baixa e Corte A-B, exemplo de estudo em 1967

Fonte: BNH/IDEG (1978: 40-41)

E a perspectiva desta casa com reticulado espacial modular de referência, com multimódulo adotado de 3M.

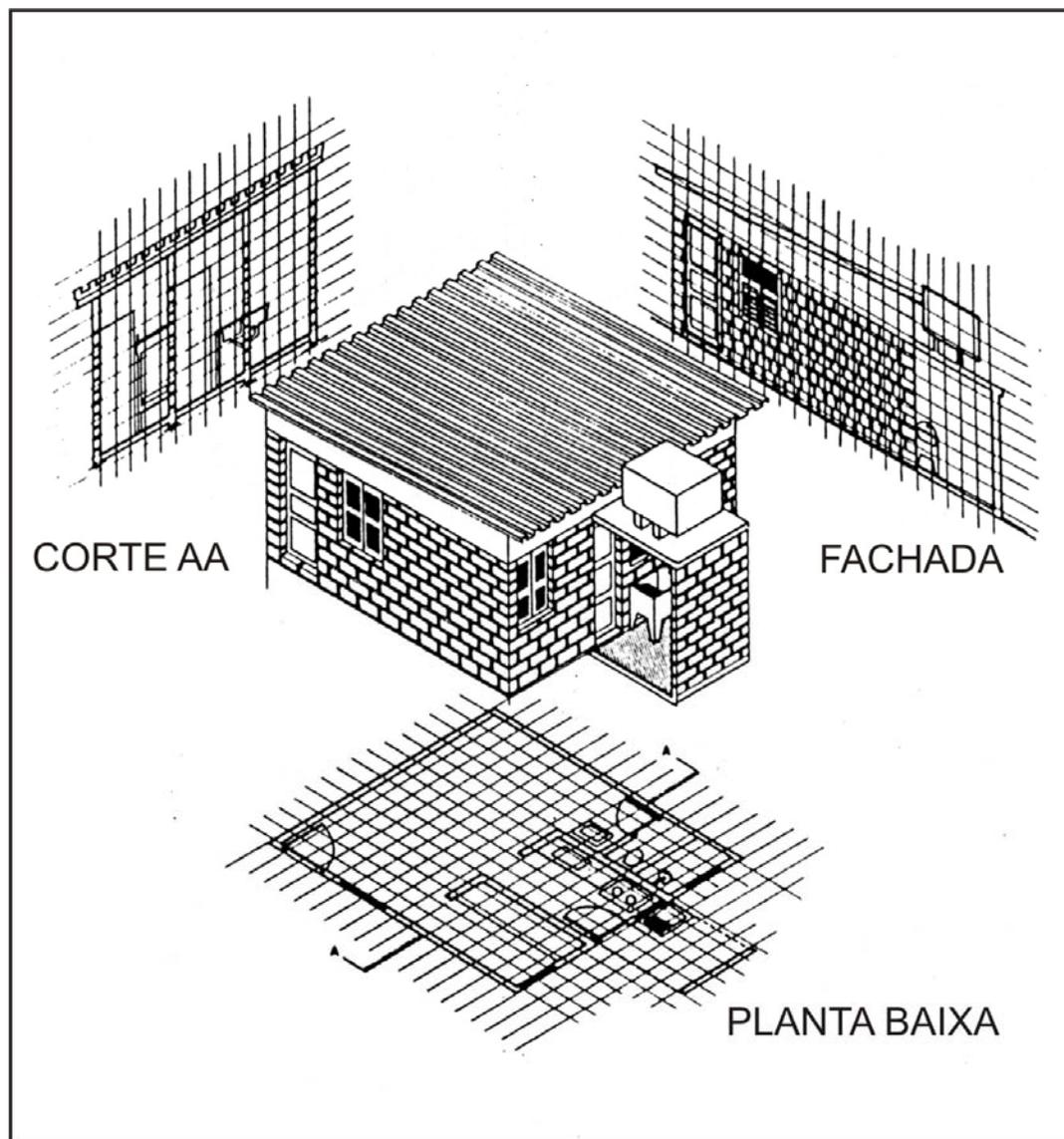


Figura 21: Planta, Corte e Fachada – Quadriculados multimodulares de referência.

Fonte: BNH/IDEG (1978: 16)

3.2.3. As Vantagens da Industrialização da Construção

A coordenação modular da construção deve ser entendida como uma referência para o processo de planejamento e de execução, cuja aplicação poderá servir de base a todos os processos construtivos, desde a construção tradicional, até a industrialização total. Concomitantemente ao desenvolvimento dessa sistemática, é

também necessária a normatização dos componentes da construção, permitindo assim a industrialização dos componentes.

Segundo MICHALKA & RIBEIRO (2001), com um planejamento rigoroso e uma execução precisa e econômica, tal como ocorre nos setores industriais, esse sistema corresponde à vantagem de utilizar um processo construtivo mais adequado ao desenvolvimento industrial, evitando recortes com perdas de material, mão-de-obra e tempo.

As vantagens da aplicação de sistemas modulares se apresentam tecnicamente em todas as fases do projeto, como (BNH/IDEG, 1978):

- Facilitar a normalização dos componentes para a industrialização da construção;
- Facilitar a integração das equipes, pois o reticulado modular possibilita as resoluções técnicas e compatibilização dos projetos;
- Liberdade de criação na execução dos projetos, diferentemente do que ocorre na adoção de sistemas ou componentes padronizados em sistemas fechados, com mais tempo até para elaborar melhor os aspectos estéticos devido à facilidade de construção e detalhes padronizados;
- Permitir maior otimização na utilização dos materiais, inclusive o interstício e a reposição entre elementos de materiais diferentes, alternativos ou não, pois haverá uma perfeita concatenação de encaixes e dimensões;
- Permitir flexibilização com a execução de projetos que, num primeiro momento podem não ser totalmente modulados, mas que serão passos importantes para a efetiva implementação de novos materiais e tecnologias, de forma gradativa, sem grandes dificuldades.
- Proporcionar intercâmbio nacional e internacional das tecnologias de construção e desenvolvimento de novos materiais;
- Reaproveitar materiais para a construção da edificação, como estacas, régua, etc;

- Simplificar o projeto arquitetônico, instalações, estruturas e de operações de execução, facilitando também a manutenção com posição das instalações prediais pré-estabelecidas;
- Simplificar a execução da obra pela racionalização do traçado, da posição e montagem dos seus elementos, reduzindo falhas e acidentes devido ao sistema de montagem se dar através de seqüências repetitivas operacionais.

Em consonância com FERREIRA (1999), o uso da coordenação modular significa uma melhor organização, entendimento e o reconhecimento da cooperação interdisciplinar e entre departamentos por conscientizar a importância da função de cada um, os autores projetuais, os fabricantes dos componentes da construção e os executores da obra.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

4.1. Conclusões

A análise dos problemas relativos à implantação da industrialização da construção civil brasileira tem encontrado uma série de objeções sobre sua viabilidade, sua oportunidade, dentro do panorama atual do desenvolvimento brasileiro. A indústria da construção civil encontra-se defasada em relação aos demais ramos industriais. Necessita adequar-se às novas condições impostas pelo desenvolvimento dos mercados e da sociedade.

Um aspecto importante analisado diz respeito à preocupação entre o desenvolvimento sustentável e o setor da construção civil brasileira, como foi abordada no **capítulo 2**. A edificação para ser sustentável deve levar em consideração o entorno, a tipologia, assim como os materiais e a tecnologia adotados. Também deve atender as questões de eficiência energética, conforto ambiental e os condicionantes climáticos.

Com isso, o detalhamento projetual e as parcerias com as equipes de projeto, afinados com os construtores e fornecedores, representam etapa de fundamental relevância para a sustentabilidade, pois os processos industriais da construção civil e os sistemas gerados pelo homem devem buscar reproduzir a lógica existente em qualquer ecossistema natural, onde existe um fluxo integrado de matéria e energia, em que nada é perdido, mas reaproveitado, levando em consideração todo o ciclo de vida das edificações.

O histórico e os processos da industrialização civil brasileira mostraram que a utilização de métodos tradicionais da construção, por serem uma somatória de atividades artesanais, requer um extenso contingente de mão-de-obra não-qualificada, sendo responsável pelo baixo nível de execução da arquitetura contemporânea brasileira, pelo desperdício de materiais, de tempo, gerando altos índices de despesa para o setor. Com isso, eleva-se o custo de um imóvel, prejudicando ainda mais a maioria do povo brasileiro de baixa renda média, dificultando o acesso a uma construção formal.

É preciso que a diferença entre pré-fabricação e a industrialização da construção seja divulgada para não haver resistência por parte dos projetistas, construtores, fabricantes e operários. A industrialização mecaniza as operações

artesanais do canteiro, levando à capacitação da mão-de-obra não qualificada, trazendo como consequência a redução nos prazos de execução, a eliminação dos desperdícios de materiais, controles tecnológicos e qualitativos mais fáceis e rigorosos, permitindo a previsão de trabalho em longo prazo e o atendimento ao prazo previsto. Também permitirá que a mão-de-obra se torne mais qualificada, gerando uma melhora salarial e o nível de renda.

Enfim, esta industrialização engloba um campo mais abrangente, envolvendo a transformação estrutural de todo o processo produtivo que envolve aspectos sócio-econômicos, culturais, científicos e ideológicos.

Para uma melhor compreensão da industrialização da construção foram analisados os sistemas industriais fechado e aberto, conforme sub-capítulo 2.2.

O sistema industrial fechado consiste em produzir tipos pré-determinados de edificações, com a pré-fabricação em série dos componentes construtivos necessários, que tem uso exclusivo no sistema adotado (MANDOLESI, 1981). Na prática, o objeto da construção é decomposto em partes, que são possíveis de ser fabricadas e capazes de serem conectadas, objetivando aquele projeto de edificação. A inviabilidade deste sistema surge quando não é possível fazer um intercâmbio de componentes por serem específicos para um determinado projeto. No Brasil a industrialização é frequentemente confundida com a industrialização de caráter fechado, levando a uma grande resistência aos processos industriais por parte dos projetistas.

Já o sistema industrial aberto é destinado ao mercado e não exclusivamente às necessidades de uma só empresa, um só projeto ou tipo específico de edificação. Os componentes do edifício são concebidos através da decomposição em partes, produzidas em série em uma fábrica, ou mediante a industrialização dos componentes, adotando especificações que permitam a compatibilidade e a integração de componentes industrializados.

Da análise dos sistemas construtivos industriais para a construção civil, conclui-se que o sistema industrial aberto é o mais adequado por atender às exigências funcionais, estéticas e econômicas dos projetistas, construtores e fabricantes. Para tal mostra-se como fundamental a padronização de componentes e

uma correlação dimensional dos mesmos, sendo a coordenação modular uma ferramenta básica e imprescindível para desempenhar essa função.

Em função desta padronização, além dos benefícios de não permitir desperdício, fazer economia de tempo, de execução, de energia, há uma maior possibilidade para que o arquiteto tenha em seu projeto como gama de opções, componentes feitos de fontes renováveis, que entre outros fatores agridam menos o meio ambiente, que possam reciclar-se, que tragam menos impactos ambientais, ou seja, que sejam ecologicamente mais indicados para aplicar em sua edificação.

No sub-capítulo 2.3 foi abordado o conceito de módulo, tanto como elemento de proporção, exemplificado desde a arquitetura helênica (entre os anos 300 e 100 a.c.), na matemática, nas artes e na arquitetura, onde a aplicação das proporções exerce papel fundamental e fascinante, quanto como elemento de industrialização do processo construtivo, sendo empregado agora com fins técnicos, utilitários e produtivos, gerando a expressão “coordenação modular”. Deve ser entendido como um sistema de referência e de orientação para o processo de planejamento e de execução, cuja aplicação poderá servir de base a todos os processos construtivos, desde a construção tradicional, até a pré-fabricação parcial ou total, sem excluir, entretanto, as proporções no projeto do edifício. Para o desenvolvimento dessa sistemática, é também necessária a normatização dos componentes da construção, permitindo assim a industrialização desses componentes.

No **capítulo 3** foram feitas observações sobre a qualidade do ambiente construído e do projeto arquitetônico, observando-se que o mercado não tem considerado a qualidade “física” do edifício, onde o todo depende da qualidade das partes (componentes da construção).

A reformulação da atividade de projeto é uma necessidade que resulta da industrialização da construção civil, capacitando as equipes projetuais e de produção, adotando a coordenação modular, construtibilidade e racionalização dos elementos construtivos que simplificarão os projetos e aumentarão a produtividade e eficiência do setor da construção civil.

Atualmente, primeiro elaboram a fase preliminar do projeto de arquitetura, depois a análise da edificação construída e nem sempre a solução arquitetônica

produz uma boa solução técnica, encontrando freqüentemente problemas de materiais, de instalação, estrutura, etc.

É preciso haver uma conexão maior entre os projetos e a execução do edifício. Um bom exemplo é o “como construído” ou “*as built*” que há divergências com o projeto inicial, onde praticamente executa-se um novo projeto, redesenha-se o edifício. E esta desvinculação é tão considerável, que existem empresas especializadas em projetos executivos. O ideal é que o projeto de arquitetura seja um projeto executivo, pois no projeto final não deveria haver conflito.

Os projetos ao serem elaborados em conjunto, visualizam-se logo as eventuais incompatibilidades na fase inicial, também há disponibilidade de pensar nas soluções mais sustentáveis como, por exemplo, com a equipe de iluminação, de estrutura, ventilação, com um único objetivo de atingir o melhor desempenho da edificação. Com decisões sendo tomadas na obra, acarreta desperdício de tempo, financeiro, de material e entulho.

E o uso de reticulados como sistemas de referência requer uma racionalização do sistema com o objetivo de simplificar o trabalho de projeto, de facilitar a colocação (instalação) dos materiais na obra, diminuindo a incidência dos cortes e ajustes. Obtém-se um produto racionalizado com qualidade, flexibilidade, rapidez de execução, redução de desperdício, beleza e principalmente melhorando a performance e aumentando a competitividade da indústria da construção civil.

Do presente trabalho, conclui-se que este condicionante econômico-produtivo no setor da construção de edificações tem motivado empresas construtoras e incorporadoras e profissionais de projeto a adotarem estes novos procedimentos de racionalização da construção, pois permite oferecer produtos e serviços com melhores níveis de qualidade em resultados palpáveis em curto prazo, quando se agrupam num enfoque sistêmico, abrangendo todas as etapas do processo construtivo.

É necessária também uma maior divulgação na implementação da industrialização da construção civil, com aumento da visibilidade rentável deste processo construtivo e treinamento eficaz de mão-de-obra, não só em nível de projeto e execução, mas também a obra como um todo.

4.2. Recomendações

Para que o processo de industrialização da construção civil brasileira se torne possível, são realizadas algumas recomendações de procedimentos:

É importante para a sustentabilidade da edificação que as parcerias da construção civil aconteçam para buscar uma melhor integração, projeto e rentabilidade.

E com o tamanho dos componentes padronizados, a equipe projetual poderá definir um tamanho no projeto e especificar o componente, como por exemplo, qual material a ser utilizado, se poderá ser de madeira, em alumínio, de ferro, inclusive é importante para a indústria de materiais ecológicos oferecer um material que possa ser adotado na hora da escolha projetual.

Como BRUNA (2002) destaca, é necessário dar garantias para a indústria da construção civil de que haverá continuidade de trabalho nos canteiros industrializados, pois não se pode pretender que a indústria assumirá riscos sem garantias mínimas de adotar métodos de produção, cuja implantação deverão ser feitos investimentos consideráveis.

Outro aspecto é a necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento em novos materiais, técnicas, sistemas, mas também pesquisa interdisciplinar, com o objetivo de encontrar as melhores soluções para o organismo arquitetônico final, em termos funcionais, técnicos, econômicos e sociais.

Também há a análise das transformações necessárias nos cursos de formação dos profissionais de arquitetura para atuar nos três níveis em que o projeto deverá atingir: desenho industrial, projeto arquitetônico e planejamento territorial. Para os profissionais de engenharia, caberia a formação para adquirir conhecimentos sobre a construção vista nos seus aspectos essencialmente tecnológicos e organizacionais da produção.

E estudos futuros podem levar a aplicações reais de forma a comprovar o potencial identificado neste trabalho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, Ignácio. **La Forma Arquitectonica**. Pamplona, EUNSA, 1976.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.706 a NBR 5.731. **Normas Brasileiras Relativas à Coordenação Modular**. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- CAPORIONI, GARLATTI, TENCA-MONTINI. **La Coordinación Modular**. Editroial Gustavo Gili, S. A. – Barcelona, 1971
- CEOTO, Luís Henrique. Produtividade se Constrói. **“Qualidade Na Construção”** – SindusCon, São Paulo, Ano I (p. 16-19), número 8, Junho de 1998.
- CUNHA, E.; MAGRO, M. apud LOSSO, Marco Aurélio (2003). **Novas Estratégias Projetuais na Construção Civil: A Racionalização do Uso da Energia**. In: MERCOFRIO. 2002. Florianópolis, SC. 2002.
- DIAS, Ângela M. G. R. Vilela apud FERREIRA, Isabel C. Guerreiro (1999). **Aspectos de Projeto que Influenciam a Construtibilidade**. 1992. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1992.
- FERREIRA, Isabel Cristina Guerreiro. **Qualidade no Projeto e o Sistema Modular na Construção**. 1999. 209 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 1999.
- GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GRILO, Leonardo Melhorato; PEÑA, Monserrat D.; SANTOS, Luiz A.; et al. **Análise da Implementação dos Princípios de Gestão da Qualidade em Empresas de Projeto** (tags). In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001. Fortaleza, CE, 2001. 14p.
- HUNTLEY, H. E. **A Divina Proporção - Um Ensaio sobre a Beleza na Matemática**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1985. 178p.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISASS TECNOLÓGICAS. **Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação**. Divisão de Engenharia Civil, Agrupamento de Componentes e Sistemas Construtivos, SP, 1998.
- KRÜGER, José Adelino; HEINECK, Luiz Fernando Mahlmann. **A Elaboração de Manuais de Procedimentos Padronizados para a Melhoria da Qualidade e Produtividade: Ação de uma Empresa de Construção Civil num Ambiente de Competitividade e Globalização**. Recife, PE. 1999. 11p., In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho, 1º, Recife, 1999. Artigo técnico.
- LIMA, João Filgueiras. **A Industrialização da Argamassa Armada no Brasil**. Anais do I Simpósio Nacional De Argamassa Armada – Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, Dept. de Engenharia de Construção Civil, 02/03 de junho de 1986.SP.

- LOSSO, Marco Aurélio. **O Projeto de um Edifício pensado para a Sustentabilidade: Transcendendo os Métodos Usuais de Projeção** (tags). In: III ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. 2003. São Carlos, SP. 2003. 12p.
- MANDOLESI, Enrico. **Edificación. El proceso de edificación. La edificación industrializada. La edificación del futuro**. Ediciones CEAC / Barcelona, España, 1981.
- MICHALKA JR., Camilo. **Sistema Industrial Aberto**. Apostila da Disciplina do Curso de Pós-Graduação de Arquitetura Ambiental: Técnicas Construtivas e Construção Ecológica. UGF/CEPAC. Rio de Janeiro, 2005.
- MICHALKA JR., Camilo, RIBEIRO, Marcellus Serejo. **Obstáculos à Utilização em Larga Escala de Materiais de Baixo Impacto Ambiental** (tags). In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS, 2º E 1º, 2001. Canela, RS: ENECS, ELECS, 2001.
- _____. **O Material Sustentável e a sua Inserção no Contexto da Construção Civil no Brasil** (tags). In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS, 2003. São Carlos, SP: ENECS, 2003. p.10.
- MORETT, Henrique Thomaz. **A Importância da Inserção dos Sistemas Construtivos de Solo-Cimento no Processo de Industrialização da Construção**. 2003. 234 f. Dissertação (mestrado) – Programa em Pós-Graduação de Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- NOVAES, Celso Carlos. **Ações para Controle e Garantia da Qualidade de Projetos na Construção de Edifícios** (tags). In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001. São Carlos, sp. 2001. 5p.
- PORTO, Maria Maia, SALGADO, Mônica Santos. **Certificação Ambiental de Projeto de Edificação Fabril com Base nos Princípios da Arquitetura Sustentável: Fundamentos de uma Proposta** (tags). In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2001. São Pedro, SP. 2001. 2p.
- QUARONI, Ludvico. **Proyectar un edificio – ocho lecciones de arquitectura**. Madrid, Xarait. 1977.
- RIBEIRO, Marcellus Serejo. **A Industrialização como Requisito para a Racionalização da Construção**. 2002. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Programa em Pós-Graduação de Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- ROSSO, Teodoro. **Racionalização da Construção**. São Paulo: FAU/USP, 1980.
- _____. **A Coordenação Modular: Teoria e Prática**. São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, 1996.
- SILVAN, Evan. **Uma Introdução ao Projeto Arquitetônico**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 1999.

SIQUEIRA, Tagore Villarim. Desenvolvimento Sustentável: Antecedentes Históricos e Proposta para a Agenda 21. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, V. 8, N.15, p. 247-288, Junho de 2001.

SITES CONSULTADOS:

CYBERARTES – Ação Cultural PROCENGE – Processamento de Dados e Engenharia de Sistemas. Pesquisa sobre Le Corbusier. Disponível em: <<http://www.cyberartes.com.br>>. Acesso em 19 jun. 2005.

ENCICLOPÉDIA WIKIPÉDIA. Pesquisa sobre Vitruvius e Partenon. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki>>. Acesso em 19. jun. 2005.

MATEMÁTICA ESSENCIAL. Pesquisa sobre Vitruvius e Leonardo Da Vinci. Disponível em: <http://pessoal.sercomtel.com.br/matematica/inex.html>>. Acesso em 19. jun. 2005.