

FERNANDO HENRIQUE SABBATINI

Eng. Civil, Escola Politécnica da USP, 1978

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS, PROCESSOS
E SISTEMAS CONSTRUTIVOS -
FORMULAÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da USP para a
obtenção do título de Doutor
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Vahan Agopyan
Depto. Engenharia de Construção Civil

São Paulo, 1989

À Neuza, Rodrigo, Luciano e Joanna e
aos meus pais Dolores e João Baptista

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Vahan Agopyan pela orientação, dedicação e incentivo na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco Romeu Landi pelo apoio contínuo e estímulo constante a minha carreira acadêmica.

Aos amigos professores do Departamento de Engenharia de Construção Civil pela cooperação, permanente incentivo e discussão das idéias contidas neste trabalho. Em especial aos Profs. Mercia Maria Semensato Bottura e Racine Tadeu Araújo Prado que corrigiram criticamente os originais.

Aos Profs. Luiz Sérgio Franco e Vitor Levy Castex Aly, à Eng. Monica Sybille Korf Muller, à Arq. Margareth Maria Araújo Silva ao Eng. Ronaldo Licht Soares, aos estagiários e aos técnicos do Laboratório de Construção Civil da EPUSP que, com dedicação e trabalho profícuo, tornaram possível a consecução da pesquisa que fundamentou esta tese.

Ao Eng. Tarciso Maschietto, Diretor da Tebas Cerâmica Ltda., pelo apoio recebido e pela confiança constante no êxito de nosso trabalho.

RESUMO

O trabalho propõe uma metodologia para a condução de pesquisas de desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos voltadas para a criação de inovações tecnológicas que possam efetivamente contribuir para a evolução da atividade de construção de edifícios.

São analisados os principais conceitos que identificam-se com o desenvolvimento tecnológico dos meios de produção de edifícios e estabelecidas definições para os mesmos. São também analisados os condicionantes que delimitam o contexto deste desenvolvimento no País.

A metodologia proposta, entendida como um conjunto de preceitos destinados a orientar a condução de uma investigação e que se fundamenta na busca da máxima racionalização construtiva, é apresentada em dois níveis, o da doutrina e o da estratégia.

A metodologia foi aplicada no desenvolvimento de um inovador processo construtivo de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. Este processo é apresentado e descreve-se como se deu o seu desenvolvimento, dos estudos iniciais à construção de edifícios protótipos.

Conclue-se pela importância que a adoção de uma metodologia específica representa para a busca de soluções válidas para o conjunto da sociedade e como pode contribuir para a mudança da caótica situação atual por que passa a construção civil.

ABSTRACT

This thesis proposes a methodology to carry on the development research on building methods, processes and systems aiming at technological innovations which may effectively contribute for buildings construction activities evolution.

The main concepts related to the technological development of the ways for the production process are analysed and their definitions established. It is also analysed the facts that restrain such development in Brazil.

The proposed methodology is defined as a set of principles which objective is to point out the guidance for a scientific investigation and supported by the maximum building rationalization. This methodology is presented in two distinctive levels: the doctrine and the strategy.

The methodology is applied specifically in the development of an innovative structural masonry process with ceramic blocks. The process is described, as well as the development performed stages: from the first studies to the prototype buildings construction.

It is concluded that by adopting a specific methodology important solutions for the society as a whole are obtained and it gives essential support to change the disordered situation currently faced by the civil construction.

ÍNDICE

vi

	pag.
Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice	vi
Relação das Figuras	xi
Relação dos Quadros e Tabelas	xiii
Relação das Definições	xiv
Abreviaturas e Siglas	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Formulação da Tese e dos objetivos	5
1.2 Estruturação do Trabalho	7
2 CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS COM O DESENVOLVIMENTO DOS MEIOS DE PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	10
2.1 Técnica, Método, Processo e Sistema Construtivos	12
2.1.1 Técnica Construtiva	14
2.1.2 Método Construtivo	15
2.1.3 Processo Construtivo	19
2.1.4 Sistema Construtivo	21
2.2 Pesquisa, Engenharia e Tecnologia	27
2.2.1 Pesquisa e Desenvolvimento	28
2.2.2 Engenharia e Projeto	38
2.2.3 Tecnologia e Inovação Tecnológica	44
2.2.4 Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico na Engenharia de Construção Civil	52

2.3	Industrialização e Racionalização	56
2.3.1	Industrialização	57
2.3.2	Racionalização	63
2.4	Metodologia de Pesquisa	68

3 DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS, PROCESSOS

E SISTEMAS CONSTRUTIVOS 73

3.1	Produção de Tecnologia	75
3.1.1	A Evolução Tecnológica	76
3.1.2	O Setor de Desenvolvimento de MPSCConst.	81
3.2	O Caminho para o Desenvolvimento	87
3.2.1	A Abordagem Sistêmica	88
3.2.2	O Contexto do Desenvolvimento	91
3.2.2.1	O Que Desenvolver ?	92
3.2.2.2	Como Desenvolver um MPSCConst.?	94
3.2.2.3	Onde e Com Quem Desenvolver MPSCConst.?	96
3.2.2.4	Para que Desenvolver MPSCConst.?	99
3.3	Graus de Industrialização	102
3.3.1	Classificação de Processos Construtivos	103
3.3.2	Processos Construtivos de Alvenaria Estrutural	112

4 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS,

PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS 116

4.1	Doutrina da Metodologia	117
4.1.1	Filosofia	118
4.1.2	Diretrizes	126
4.1.2.1	Construtibilidade	127
4.1.2.1.1	Conceituação	127
4.1.2.1.2	Construtibilidade como Diretriz	136

4.1.2.2	Desempenho		138
4.1.2.2.1	Conceituação		138
4.1.2.2.2	Desempenho como Diretriz	1444.2 Estratégia da Metodologia	147
4.2.1	Fundamentos		148
4.2.1.1	Seqüência de Eventos e Atividades		149
4.2.1.2	Seqüência de Decisões		158
4.2.2	O Plano de Ação		164
4.2.2.1	Fases e Etapas		165
4.2.2.1.1	Estruturação do modelo		165
4.2.2.1.2	Etapas	169	
4.2.2.1.3	Ciclos Iterativos		183
4.2.2.2	Sub-etapas		190
4.2.2.2.1	Fase de Concepção		190
4.2.2.2.2	Fase de Verificação		206
4.2.2.2.3	Fases de Descrição e Comercialização		213

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO CONSTRUTIVO DE ALVENARIA

ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS COM O

EMPREGO DA METODOLOGIA PROPOSTA

5.1	Ambiente de Pesquisa		216
5.1.1	Antecedentes		218
5.1.2	O Convênio EPUSP-TEBAS		219
5.1.3	Cenários da Pesquisa		221
5.2	Descrição do Processo Construtivo		223
5.2.1	Características Gerais		226
5.2.1.1	Identidade		227
5.2.1.2	Sub-sistemas		228

5.2.1.3	Racionalização Construtiva	232	
5.2.1.3.1	Atributos Essenciais	232	
5.2.1.3.2	Grau Superior de Construtibilidade	234	
5.2.1.3.3	Nível Organizacional Elevado	238	
5.2.1.3.4	Controle de Qualidade Eficaz	239	
5.2.1.4	Desempenho	240	
5.2.1.4.1	Paredes Resistentes	240	
5.2.1.4.2	Edifício	244	
5.2.2	Componentes	246	
5.2.2.1	Componentes Essenciais	247	
5.2.2.2	Componentes Complementares	250	
5.2.2.3	Componentes Especiais	252	
5.2.3	Técnicas Construtivas	253	
5.2.3.1	Técnicas de Assentamento de Alvenaria	255	
5.2.3.2	Técnicas de Acoplamento de Elementos	257	
5.2.3.3	Técnicas Diversas	261	5.3 Aplicação da Metodologia Proposta 264
5.3.1	Doutrina	265	
5.3.2	Fase de Concepção	269	
5.3.2.1	Estudos Iniciais	270	
5.3.2.2	Concepção do Processo EPUSP-TEBAS	283	
5.3.2.3	Projetos dos Componentes, da Produção de Componentes e da Produção de Edifícios	284	
5.3.3	Fase de Verificação	288	
5.3.3.1	Produção Experimental dos Componentes e Elementos	289	
5.3.3.2	Projeto e Construção dos Protótipos	292	
5.3.3.3	Avaliação dos Protótipos e do Processo Construtivo	293	
5.3.4	Fases de Descrição e Comercialização	296	

	10
	X
6 CONCLUSÕES	28
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	309
FOTOGRAFIAS	319

RELAÇÃO DAS FIGURAS

Figura N°		página
2.1	O Estado da Arte da Tecnologia, Segundo McLoughlin	35
2.2	Espectro da Tecnologia, Segundo Silva Leme	36
2.3	O Processo de P&D, Segundo Hetman	37
2.4	Representação Esquemática do Processo de "Design"	42
4.1	Estratégias de <u>Projeto</u> , Segundo Jones	151
4.2	Morfologia de um <u>Projeto</u> , Segundo Asimow	152
4.3	O Processo do <u>Projeto</u> , Segundo Hill	156
4.4	Estratégia para o Desenvolvimento de Sistemas Construtivos da "International Forum"	157
4.5	Estratégias de Lucini e do IPT	159
4.6	Sequências Vertical e Horizontal do Modelo de Asimow para o <u>Projeto</u> de Engenharia	161
4.7	Fluxograma da Estratégia para o Desenvolvimento de MPSCnst.	167
4.8	Simbologia Adotada nas Representações Gráficas da Estratégia	168
4.9	Fases da Estratégia Proposta, da Estratégia de Asimow e da de Hill	170
4.10	Fluxograma do Ciclo Iterativo da Fase de Concepção	185
4.11	Fluxograma do Ciclo Iterativo da Produção Experimental de Componentes e Elementos	187
4.12	Fluxograma do Ciclo Iterativo Concepção-Verificação	188
4.13	Fluxograma do Ciclo Iterativo de Aperfeiçoamento	189

Figura NQ		página
4.14	Fluxograma da Etapa 1 - Estudos Iniciais	194
4.15	Fluxograma da Etapa 2 - Concepção do MPSCnst.	202
4.16	Fluxograma da Etapa 3 - Projeto de Componentes e Elementos	205
4.17	Fluxograma da Etapa 4 - Projeto de Produção do Edifício (ou de suas Partes)	207
4.18	Fluxograma da Etapa 5 - Produção Experimental de Componentes e Elementos	209
4.19	Fluxograma da Etapa 6 - Projeto e Construção de Protótipos	210
4.20	Fluxograma da Etapa 7 - Avaliação dos Protótipos e do MPSCnst.	212
4.21	Fluxograma da Etapa 8 - Consolidação da Tecnologia	214
4.22	Fluxograma da Etapa 11 - Aperfeiçoamento da Tecnologia	215
5.1	Componentes Essenciais do Processo EPUSP-TEBAS	248
5.2	Componentes Complementares do Processo EPUSP-TEBAS	251
5.3	Componentes Especiais Pré-moldados, Sugeridos pelo Processo EPUSP-TEBAS	254
5.4	Execução de Vãos	258
5.5	Acoplamentos Laje-Parede	260
5.6	Juntas de Movimentação	262
5.7	Padrões de Perfuração do Componente Básico Projeto-tados na Etapa 3	287

RELAÇÃO DOS QUADROS E TABELAS

Quadro No.		página
2.1	Objetivos das Atividades de Pesquisa	34
2.2	Estágios do Processo de Inovação Tecnológica, Segundo Bright	51
5.1	Consumo Comparativo de Materiais para a Construção de um m ² de Alvenaria pelos Diversos PCAE	236
5.2	Comportamento sob Esforços de Compressão, aos 28 Dias de Paredes de Alvenaria Moldadas com o Bloco EPUSP-TEBAS	242
5.3	Resistência à Compressão de Paredinhas e Prismas -Processo EPUSP-TEBAS	242
5.4	Características do Bloco POLI	249

RELAÇÃO DAS DEFINIÇÕES

Definições formuladas pelo autor e adotadas no trabalho;

Termo definido	página
ABORDAGEM SISTÊMICA	88
APERFEIÇOAMENTO DA CONSTRUTIBILIDADE	134
CONSTRUTIBILIDADE (de um edifício, de um elemento)	133
CONSTRUTIBILIDADE (de um MPSCnst.)	133
DOCTRINA (de uma METODOLOGIA DE PESQUISA)	117
ESTRATÉGIA (de uma METODOLOGIA DE PESQUISA)	147
FILOSOFIA (de uma METODOLOGIA DE PESQUISA)	118
INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	63
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA	51
MÉTODO CONSTRUTIVO	18
METODOLOGIA DA CONSTRUTIBILIDADE	135
METODOLOGIA DE PESQUISA	71
PESQUISA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NA ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL (PDTECC)	54
PROCESSO CONSTRUTIVO	20
PROCESSOS CONSTRUTIVOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL (PCAE)	114
RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA	67
SISTEMA CONSTRUTIVO	25
TÉCNICA CONSTRUTIVA	15
TECNOLOGIA	47
TECNOLOGIA CONSTRUTIVA	48

ABREVIATURAS E SIGLAS:

ABREVIATURAS

MPSCConst.	- Métodos, Processos e (ou) Sistemas Construtivos
PCAE	- Processos Construtivos de Alvenaria Estrutural
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
PD&E	- Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia
PDTECC	- Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico na
Engenharia de Construção Civil	
SDTS	- Setor de Desenvolvimento Tecnológico de MPSCConst,

SIGLAS

CIB - Conseil International du Batiment / International Council for Building, Research, Studies and Documentation
CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction
EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A eficiência da indústria de Construção Civil é tão importante para a nação como o é para o industrial individualmente. Uma indústria eficiente se caracteriza por um reduzido volume de desperdício dos recursos localmente disponíveis, de toda ordem: materiais, humanos, energéticos, financeiros, temporais.

O setor da Construção Civil em geral e, em particular, o setor da Construção de Edifícios apresenta hoje, no país, um absurdo desperdício de recursos, traduzido por uma produtividade destacadamente inferior, quando comparada à de outros segmentos industriais. O custo social deste desperdício está ainda para ser quantificado, mas é evidente que ele é demasiadamente alto para um país com carências tão gritantes quanto o nosso. E, a permanecer inalterada esta situação (de a produtividade do setor continuar atrasada em relação a de outros setores), a construção continuará a absorver uma parcela crescente do produto interno bruto (PIB) para manter o nível de produção constante ou senão o volume de construção irá declinar (e conseqüentemente a sua importância na economia) se a parcela do PIB investida na construção permanecer constante [Lowe, 1986].(*)

(*) As referências bibliográficas neste trabalho serão assinaladas entre colchetes pelo sobrenome do autor e a data de publicação (ou só pela data quando o autor estiver sendo citado no texto). No Capítulo 7 as referências completas poderão ser identificadas por estes dois elementos.

A transformação dos recursos existentes em produtos úteis à sociedade necessita, para ser feita com maior produtividade, de meios de produção e estruturas organizacionais mais eficientes que os empregados atualmente. Constata-se que a indústria de construção de edifícios tem hoje um sensível atraso tecnológico em relação a outros segmentos econômicos e manter inalterados os meios de produção e as técnicas de organização em uso significa aumentar este atraso. A opção pelos processos construtivos tradicionais tem geralmente premiado a ineficiência técnica e a inépcia organizacional.

Assim, incrementar a produtividade operacional e evoluir tecnologicamente no setor da construção de edifícios são ações intrinsecamente dependentes do desenvolvimento dos meios de produção, o que vale dizer, da criação de novos métodos, processos e sistemas construtivos e do aperfeiçoamento dos já existentes. Este desenvolvimento assume por isto uma importância capital tanto para o segmento industrial quanto para a nação.

No entanto, o desenvolvimento dos modos de construir edifícios tem de ser o resultado de uma evolução endógena e sistemática. Só é possível equacionar adequadamente a utilização dos recursos existentes com desenvolvimento local. Só é possível evoluir sadia e constantemente se houver contínua capacitação tecnológica no país, fundada em um aprendizado regular e resultante de uma dinâmica coerente com as necessidades regionais. Só é possível solucionar problemas na construção de edifícios se

os seus condicionantes forem buscados na sociedade que os gerou (os problemas) e analisados segundo a particular ótica desta sociedade.

A importação de tecnologias neste campo, implantadas sem prévia adequação às condições locais, bem como a utilização de processos construtivos criados do dia para a noite, desenvolvidos sem metodologias apropriadas, sem estarem baseados em conhecimentos científico-tecnológicos, são procedimentos inconseqüentes e frequentemente prejudiciais para a própria evolução do setor. São procedimentos que, pela experiência pregressa no país, não têm propiciado incrementos significativos na produtividade do setor, nem otimizado o uso dos recursos existentes, nem elevado o nível de produção. Não têm também propiciado ganhos em qualidade para a atividade de construção de edifícios e menos ainda contribuído para o país consolidar e dominar a atividade de geração tecnológica na área.

O desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos deve ser conduzido de modo a considerar os diversos contextos que o balizam: empresarial, tecnológico, social, legal, etc. Res-tringindo-o apenas ao contexto tecnológico, no qual este trabalho se encaixa, constatamos que são necessários para sua consecução :

- a) Um setor de desenvolvimento tecnológico convenientemente estruturado;
- b) Recursos de natureza e em volume apropriados, principalmente recursos humanos capacitados e
- c) Metodologias adequadas para a condução do processo.

Analisando a realidade brasileira, reconhecemos que não se dispõe atualmente de nenhum destes fatores, com as características que seriam necessárias para a efetiva promoção de um desenvolvimento racional e eficaz. O que se tem é um setor desarticulado e pouco produtivo, que trabalha com recursos ínfimos, e um número muito reduzido de técnicos capacitados atuando na área. E detectamos que não se empregam metodologias específicas na condução das pesquisas de desenvolvimento tecnológico neste campo.

Analisando o panorama internacional no campo de desenvolvimento de processos e sistemas construtivos verificamos que não se dispõe nem mesmo do único fator que poderia, se aproveitado, vir a contribuir para a alteração daquela realidade - metodologias adequadas. A evolução tecnológica no campo de processos e sistemas construtivos, nos países do primeiro mundo, tem sido conduzida tradicionalmente dentro do próprio sistema produtivo. As empresas do setor de construção de edifícios quer induzidas por programas oficiais como a "Operação Breakthrough" nos Estados Unidos [Dietz & Cutler, 1971], ou os programas de reconstrução pós-guerra na Europa, quer estimuladas pela competitividade intrínseca ao mercado ou por fatores de produção os mais diversos, têm respondido com o desenvolvimento da grande maioria das inovações tecnológicas no campo [Sullivan, 1980]. Nesta situação, as metodologias para a condução do processo de criação adquirem um aspecto de ferramenta organizacional interna e de emprego exclusivo de cada empresa e a elas não se tem dado divulgação.

O presente trabalho insere-se nesta complexa problemática. Ele propõe uma metodologia para a condução de pesquisas de desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos. Pesquisas que estejam voltadas para a criação de inovações tecnológicas que possam eficazmente contribuir para o aperfeiçoamento e a racionalização da atividade de construção de edifícios.

Acreditamos que uma metodologia nesta área, além da sua função precípua de orientar competentemente a condução de pesquisas, deve, para ser totalmente adequada, constituir-se também em um instrumento útil para a capacitação de técnicos especializados e contribuir para que o setor se estruture, na medida em que seus organismos passem, com o seu uso, a ter um domínio consolidado e uniforme sobre a **tecnologia de geração de tecnologias construtivas**.

1.1 FORMULAÇÃO DA TESE E DOS OBJETIVOS

A tese enfocada pelo trabalho está relacionada com a importância do emprego de uma metodologia apropriada nas atividades de criação e aperfeiçoamento dos meios de produção de edifícios. Ela pode ser assim formulada:

“O desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos deve ser conduzido tendo a orientá-lo uma metodologia de pesquisa específica, para que o resultado represente uma evolução tecnológica válida para a sociedade”.

Para demonstrar esta tese desenvolveremos uma linha de raciocínio ordenada segundo os procedimentos seguintes:

- a) Circunstanciar o contexto do desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos e apresentar conceitos que permitam inferir a importância do emprego de uma metodologia específica para o correto equacionamento dos problemas neste contexto;
- b) Propor uma metodologia adequada para este particular tipo de pesquisa de desenvolvimento tecnológico e justificar os seus princípios doutrinários e todos os passos da sua estratégia para a condução do problema e
- c) Aplicar a metodologia no desenvolvimento de um processo construtivo e apresentar os resultados obtidos de modo a justificar, através destes, o emprego da metodologia e a validade social do novo processo.

Quando da concepção deste trabalho estabelecemos os principais objetivos a serem atingidos:

- a) Definir os condicionantes do processo de desenvolvimento tecnológico na construção civil, de modo que o trabalho servisse como uma referência útil para pesquisas na área;
- b) Criar uma metodologia específica, adequada à realidade brasileira e utilizá-la em uma pesquisa a fim de comprovar sua aplicabilidade e
- c) Desenvolver um processo construtivo de alvenaria estrutural que representasse uma real evolução em relação aos processos existentes, uma contribuição válida da Universidade para a solução de problemas da coletividade.

Impomo-nos este último objetivo como um compromisso decorrente das nossas convicções sobre a evolução do setor da construção de edifícios e das assertivas enunciadas por nós nas conclusões da nossa dissertação de mestrado [Sabbatini, 1984] : "Para desenvolver a alvenaria estrutural é fundamental a realização de pesquisas tecnológicas em diversos níveis, que transmudem e racionalizem realmente o processo construtivo e seu projeto que, no Brasil, incoerentemente, são ainda empíricos e irracionais, por não se fundamentarem exatamente nestas pesquisas."

Estamos convictos que os processos construtivos de alvenaria estrutural possuem uma importância preponderante sobre outros processos inovadores para a evolução do setor. Basicamente por dois motivos. Primeiro, porque sendo processos voltados essencialmente para a racionalização dos modos de produção tradicionalmente empregados, sem propor alterações radicais nestes, eles se constituem em meios adequados para mudar gradativa e continuamente a postura e a forma de trabalhar de todos os envolvidos no processo da construção, induzindo naturalmente o aumento da produtividade e a eliminação do desperdício de recursos, sem rupturas bruscas e ineficientes (porque não são passíveis de serem absorvidas por uma coletividade despreparada para tal). Em segundo porque são processos que para serem efetivamente implantados não se subordinam a prévia implantação de políticas governamentais de construção em larga escala e nem exigem grandes investimentos de capital e de outros recursos igualmente escassos em países em desenvolvimento.

Com o trabalho procuramos, em complementação, trazer para o debate algumas teses que estão por merecer a atenção do meio técnico: a) A formação de recursos humanos para pesquisa tecnológica e o papel da pesquisa acadêmica nesta formação e b) A estruturação de um setor de desenvolvimento tecnológico na área e a posição da Universidade no mesmo.

O trabalho teve também como meta contribuir para parametrizar e definir o campo de atuação e a abrangência de uma linha de pesquisa em Tecnologia de Processos Construtivos na Escola Politécnica, criada em 1987, mas que, pelo seu pioneirismo, não teve ainda totalmente definidos os seus contornos e objetivos.

1.2 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em quatro capítulos de conteúdo, além desta introdução e das conclusões. Nos dois primeiros, procuramos discutir os conceitos e os condicionantes que delimitam o contexto do desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos. Na seqüência apresentamos, no Capítulo 4, a proposta metodológica, objeto central da tese e no último examinamos a aplicação da metodologia e descrevemos o processo construtivo desenvolvido na pesquisa.

No Capítulo 2, analisamos os principais conceitos que estão identificados com o amplo panorama do desenvolvimento tecnológico dos meios de produção de edifícios e demos forma às definições que adotaremos neste trabalho para os mesmos. Consideramos importante aprofundar a análise

de conceitos indiretamente ligados à problemática central, não só para deixar claro nosso entendimento sobre eles e as suas relações com o desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos, mas também para: estabelecer referências para outros trabalhos no campo, alimentar o debate sobre as teses citadas em 1.1 (formação de recursos humanos, etc.) e esboçar os contornos da linha de pesquisa de tecnologia de processos construtivos.

A evolução tecnológica da construção de edifícios tendo por instrumento a criação e o aperfeiçoamento dos meios de produção é abordada no Capítulo 3. São analisados os aspectos inerentes à produção de tecnologia e à constituição do setor no qual esta produção pode ser levada a efeito. Discutimos também qual o tipo de enfoque a ser empregado na realização de pesquisas de desenvolvimento no campo e procuramos delimitar o contexto no qual se enquadra a metodologia proposta, dando resposta às indagações: O que desenvolver? e como, onde, com que e para que desenvolver métodos, processos e sistemas construtivos? Uma abordagem abrangente do problema da evolução tecnológica na construção invariavelmente irá colocá-la como um dos muitos aspectos ligados à industrialização da construção civil. Apesar de não ser objetivo do trabalho estudar este processo evolutivo, fomos levados a ampliar, neste capítulo, o conceito sobre o tema (discutido no segundo capítulo), para uma melhor definição dos limites de emprego da metodologia.

No Capítulo 4 expomos a metodologia de pesquisa proposta. Esta é analisada em dois níveis: o da doutrina e o da estratégia. A doutrina, um conjunto de preceitos norteadores, baseia-se em uma filosofia - a de buscar a máxima racionalização construtiva, otimizando o uso dos recursos disponíveis e em diretrizes balizadoras, que se constituem nos paradigmas do processo de desenvolvimento - a construtibilidade e o desempenho. A estratégia da metodologia ou, o plano de ação para resolução do problema, é minuciosamente exposta neste capítulo. Inicialmente apresentamos os fundamentos que nos serviram de base para a formulação da mesma. Na seqüência, estabelecemos o plano geral da estratégia metodológica, as suas fases, as etapas e as sub-etapas. Procuramos descrever graficamente todo o método através de fluxogramas para facilitar a compreensão dos seus passos e seqüências.

A metodologia foi empregada no desenvolvimento de um processo construtivo de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. No Capítulo 5 procuramos demonstrar a aplicabilidade da mesma, apresentando o processo e descrevendo como se deu o seu desenvolvimento. Inicialmente é apresentado o ambiente em que foi realizada a pesquisa, para qualificá-la e mostrar a sua dimensão. Em seguida o processo construtivo é descrito, com um nível de detalhamento que consideramos suficiente para uma compreensão genérica de suas características. E, por último, relatamos como decorreu o processo de desenvolvimento, ordenando-o segundo a seqüência da estratégia proposta.

As conclusões finais encerram uma análise crítica da importância de se dispor de uma metodologia específica para a condução de pesquisas de desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos e da eficácia da metodologia proposta em conduzir com sucesso pesquisas neste campo. Neste capítulo são emitidas as conclusões de caráter geral, pois como sistemática de trabalho apresentamos conclusões específicas em cada um dos temas discutidos nos capítulos de conteúdo.

CAPITULO 2

CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS COM O DESENVOLVIMENTO DOS MEIOS DE PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

"There is no danger in not knowing many things.
It is only dangerous to know many things that are
no longer correct."

Walther Meyer-Bohe

[Schmid & Testa, 1969]

Ao abordarmos conceitualmente um tema novo, pouco explorado, de conhecimento relativamente restrito ou polêmico, é essencial que compreendamos claramente os conceitos básicos que o fundamentam. O desenvolvimento dos meios de produção na construção civil é um assunto com estas características. Assim consideramos importante iniciar este trabalho formulando os conceitos basilares relacionados com o tema.

Em primeiro lugar houve a necessidade de conceituarmos os termos técnicas, métodos, processos e sistemas construtivos, os quais apresentam, no Brasil, uma grande ambiguidade. Por serem os objetos da pesquisa de desenvolvimento para a qual propomos uma metodologia, é fundamental, para a compreensão do trabalho, que esta ambiguidade seja desfeita.

Para a criação de novos meios de produção e o aperfeiçoamento dos já existentes, defendemos a tese de que, para a máxima eficácia destas atividades, deve-se fazer uso de um ferramental específico - a pesquisa de desenvolvimento tecnológico, aplicada à Engenharia de Construção Civil. Para o entendimento do que isto vem a ser é necessário que não existam dúvidas sobre conceitos essenciais como: Pesquisa; Tecnologia; Inovação Tecnológica; Pesquisa de Desenvolvimento e Engenharia de Construção Civil. No âmbito da Engenharia de Construção Civil, no país, estes conceitos não têm sido claramente enfocados.

Observamos que existem até mesmos inúmeros preconceitos relativos à Pesquisa, às funções e objetivos da Engenharia e ao campo de atuação da Engenharia de Construção Civil, fundados primordialmente no desconhecimento daqueles conceitos. Desta forma, consideramos de grande importância para o entendimento da proposta metodológica, estabelecermos os conceitos primários associados àqueles termos. Entretanto, por estarmos interessados no conteúdo operacional das palavras e não no conteúdo filosófico, procuramos analisar pragmaticamente os conceitos a elas referentes.

Acreditamos que a evolução dos meios de produção na construção civil passa necessariamente pelos processos convencionalmente denominados industrialização e racionalização. No entanto, estes são

termos diversa e incoerentemente interpretados no nosso meio técnico. Houve, assim, a necessidade de explicitarmos claramente os conceitos que aqui adotaremos para os mesmos.

Consideramos ainda importante conceituarmos metodologia de pesquisa, por ser este o tema central do trabalho e devido à inconsistência e confusão com as quais normalmente ela é brindada nas disciplinas profissionalizantes

2.1 - TÉCNICA, MÉTODO, PROCESSO E SISTEMA CONSTRUTIVOS

"When dealing with ambiguous terms, the first duty of a writer is definition."

David Landes

The Unbound Prometheus

Não há dúvida de que existe hoje uma ambiguidade muito grande no significado dos termos técnica, método, processo e sistema construtivo.

Diferentes autores utilizam-se indiscriminadamente, em um mesmo texto, ora de um, ora de outro termo para designar a mesma coisa. O que deixa evidente existir ou uma acentuada indefinição dos mesmos (e por isto confunde-se o seu uso) ou uma real sinonímia entre eles.

Na linguagem cotidiana da construção civil é comum também o uso impreciso daqueles termos. Por exemplo, ao se nomear o modo de se construir um edifício fala-se indistintamente em técnica construtiva tradicional ou método construtivo tradicional ou processo construtivo tradicional ou ainda sistema construtivo tradicional.

No entanto, na realidade, existem diferenças sensíveis no significado destes termos. E é importante que se estabeleçam definições precisas e particularizadas. Não só porque a linguagem técnica necessita das mesmas, mas principalmente para que se disponha em português de um vocabulário rico, coerente e sem ambigüidades. Um vocabulário que possibilite uma comunicação eficiente entre diversos interlocutores.

A falta de precisão no uso dos termos decorre da ausência de uma terminologia já sedimentada e da sinonímia existente na linguagem coloquial entre as palavras técnica, método, processo e sistema.

Consultando dicionários da língua portuguesa observamos que estas são todas palavras de múltiplos sentidos. Em cada um dos vocábulos pode-se pinçar um significado corrente que utiliza uma explicação derivada das outras palavras ou, as dê como sinônimas. Por exemplo, no Grande e Novíssimo Dicionário da Língua Portuguesa, de Laudelino Freire [Freire, 1943], encontramos as seguintes acepções:

- Técnica - Conjunto dos processos de uma arte ou fabricação;
- Método - Modo de proceder, processo, maneira de fazer as coisas;
- Processo- Método, sistema, modo de executar qualquer coisa;

- Sistema - Método, combinação de meios e de processos destinados a produzir certo resultado.

Além disto, são todas palavras de uso corriqueiro pela população, triviais, comuns. Por isto têm um sentido amplo, de limites indefinidos e mutável.

Assim, ao se comporem a partir destas palavras os referidos termos, pela adição do vocábulo "construtivo", é natural transpor para o vocábulo duplo as imprecisões das palavras de origem.

No contexto deste trabalho consideramos fundamental não haver dubiedade sobre o significado dos termos métodos, processos e sistemas construtivos. Por conseguinte, propomos a seguir uma terminologia apropriada, a qual adotaremos.

Nesta terminologia, as definições estão particularizadas para os edifícios. Contudo, elas poderão ser estendidas, sem modificações sensíveis, a outros campos da construção civil.

2.1.1 TÉCNICA CONSTRUTIVA

Ferrater Mora, citado por Ruy Gama [1983], afirma que os gregos usavam o termo "**techné**", raiz etimológica da palavra técnica, para designar uma habilidade mediante a qual se faz algo, não uma habilidade qualquer, mas uma habilidade que segue certas regras. Por isso "techné" significa também ofício.

Segundo Milton Vargas [1985], o conceito original da "techné" manteve com o correr do tempo a sua característica fundamental, qual seja, a de ser o **saber-fazer**, sendo que, o conjunto de saberes de como fazer eficientemente algo de prático, por extensão, ficou conhecido como - **As Técnicas** (de construir, de curar, de plantar . . .)

Ruy Gama [1987] conceitua **TÉCNICA** como: Conjunto de regras práticas para fazer coisas determinadas, envolvendo a habilidade do executor e transmitida verbalmente, pelo exemplo no uso das mãos, dos instrumentos e ferramentas e das máquinas. Alarga-se frequentemente o conceito para nele incluir o conjunto de processos de uma ciência, arte ou ofício para a obtenção de um resultado determinado. Com este enfoque são dois os conceitos implícitos na palavra técnica. Fundamentalmente ela significa - os procedimentos adotados por um operário para executar algo (ou o modo de se fazer algo) . O segundo conceito é uma generalização do conceito original, que por extensão significa - o conjunto de procedimentos de um ofício ou uma arte (ou o corpo de técnicas).

O vocábulo **Construtivo** significa - que serve para construir. Assim, **TÉCNICA CONSTRUTIVA**, no seu sentido básico seria o conjunto de procedimentos (atividades, operações) adotados por um operário (de construção) para produzir algo. E, no seu sentido mais genérico, **AS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS** (no plural) corresponderiam ao conjunto de procedimentos empregados na produção de uma construção.

Adotaremos neste trabalho o conceito básico do termo técnica construtiva definido como:

TÉCNICA CONSTRUTIVA é um conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção.

Deste modo, seriam técnicas construtivas, por exemplo: elevar uma parede de alvenaria; montar uma forma de madeira para moldar uma viga de concreto; assentar uma esquadria de janela; pintar uma porta; montar a estrutura de um telhado; assentar um piso cerâmico; embutir uma canalização elétrica; instalar uma banheira, etc.

O conjunto de todas estas técnicas (e muitas outras) é entendido como - **A técnica construtiva de um edifício**. Note-se que neste conceito não estão implícitas noções de seqüência, precedência, organização, mas tão somente a noção de coleção.

Da mesma maneira, ao se falar, no singular, em técnica construtiva de uma barragem ou técnica construtiva de uma ponte ou ainda de uma estrada, só está implícita a idéia de coleção de técnicas para se construir esta ou aquela obra.

2.1.2 - MÉTODO CONSTRUTIVO

A maior inconsistência no uso dos termos em análise ocorre com os termos método e processo construtivo. Apesar de que em determinadas áreas do conhecimento, como por exemplo na epistemologia [Barros & Leheld, 1986], se conceitue com rigor e precisão as palavras método e processo, a realidade é que na linguagem coloquial elas se confundem. Além de sinônimas, são palavras que se subordinam mutuamente. O método é um conjunto de processos e o processo é um conjunto de métodos.

O estabelecimento de uma terminologia precisa na área da construção civil se prende à necessidade, como já foi mencionado, de se dispor de um vocabulário sem ambigüidades, a fim de se criar condições que permitam uma comunicação eficiente entre os técnicos da área.

No entanto, face a multiplicidade de significados que os vocábulos método e processo têm na língua portuguesa, optamos por conceituar os termos compostos (ou expressões adjetivadas) **método construtivo** e **processo construtivo**. Assim, a conceituação a seguir é específica apenas para estes termos compostos. Por conseguinte, não pretendemos fazer restrições quanto ao emprego, na linguagem técnica da construção civil, dos vocábulos método e processo (ou seja, entendemos que estes últimos não são palavras que devam constar de um vocabulário técnico da construção civil).

O vocábulo método tem origem na palavra grega "méthodos", que significa "caminho para se chegar a um fim" [Ferreira, 1975]. Está implícito em todos os seus significados a noção de seqüência de procedimentos ou de operações (para se obter um dado resultado).

Como a palavra procedimento significa "o ato de proceder" (que também é o significado primário da palavra processo) fica claro que método corresponde a um conjunto de processos operacionais com uma determinada seqüência. Ocorre que na construção civil estes processos operacionais são justamente as técnicas construtivas (conceituadas em 2.1.1) utilizadas pelos diversos operários envolvidos na consecução de um dado produto.

Existe, portanto, uma relação de subordinação da técnica construtiva ao método construtivo. Ou

seja, um conjunto de específicas técnicas construtivas e a maneira como elas se inter-relacionam (noção de precedência, de seqüência, de organização) para se obter um certo produto, definem um método construtivo.

Mas qual a extensão do produto? Toda a edificação ou parte dela? Consideramos necessário fazer uma distinção, dado que existe uma maior complexidade em se fazer uma edificação, quando comparada com uma sua parte, o que implica em aspectos organizacionais muito diferenciados.

E é por esta necessidade (criar termos para designar coisas discrepantes) que se faz a distinção entre método construtivo e processo construtivo. Sabemos que na linguagem técnica em uso corrente no país há um emprego pouco exato destes termos. No entanto, para efeito deste trabalho, consideramos essencial diferenciá-los. Isto em decorrência de que, desenvolver um particular modo de construir um edifício como um todo ou uma sua parte, implica em atividades de complexidade muito diversas. Apesar de podermos empregar uma mesma metodologia para ambos os desenvolvimentos.

Examinando a bibliografia internacional verifica-se que há uma tendência predominante em se considerar o termo processo construtivo em um nível hierárquico superior em relação ao termo método construtivo. Em uma escala de subordinação sucessiva (método-processo), o nível mais alto é normalmente representado pelo processo. Do exame de inúmeros textos transparece que o processo da construção se relaciona com o todo e que é um conjunto de métodos, que seriam os passos do processo. Exemplo desta concepção podem ser observados, dentre outros, nos textos do "Conseil International du Batiment - CIB" [1985], de Cutler & Cutler [1974] e de Foster [1973]. Por conseqüência destas noções, admitiremos existir uma relação de subordinação do método construtivo ao processo construtivo.

Ou seja, o método construtivo relaciona-se com a construção de partes da edificação. Internacionalmente empregam-se os termos sub-sistema [ISO,1981] ou elemento [CIB, 1973; BSI, 1984] para a designação da maior parte funcional de um edifício (por exemplo: fundação, piso, cobertura, parede, instalações, etc). No Brasil o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo [Souza, 1981] foi o responsável pela proposição de uma terminologia que consigna ambos os termos, subordinando o elemento ("agregado de componentes") ao sub-sistema (que teria a mesma conotação dada internacionalmente). Iremos dar preferência a esta terminologia pois, o seu uso encontra-se difundido no país.

Adotaremos então a seguinte definição de método construtivo:

MÉTODO CONSTRUTIVO é um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte (sub-sistema ou elemento) de uma edificação.

Com a adoção desta definição, ao nos referirmos a um particular método construtivo, por exemplo, método construtivo para se fazer uma estrutura reticulada de concreto armado, estamos nos referindo a um conjunto ordenado de técnicas específicas, que se inter-relacionam e possuem uma seqüência bem definida e que é apropriado para se construir a estrutura de uma edificação. Este conjunto de técnicas englobaria, por exemplo, as maneiras de se montar as formas, armar as peças estruturais, escorar o conjunto de formas, concretar as peças, curar, desformar, etc.

Por conseqüência, seriam considerados métodos construtivos distintos os que, para executar aquela mesma estrutura, empregassem formas de madeira maciça (em tábuas) e os de formas de madeira

compensada pois, em decorrência desta diferença, ter-se-iam conjuntos específicos de técnicas para cada um dos métodos.

2.1.3 PROCESSO CONSTRUTIVO

No contexto deste trabalho, ao ser empregado o termo processo construtivo deve-se entender que complementarmente está implícita a expressão - para se construir um edifício. Ou seja, a um dado processo construtivo corresponde uma única e específica maneira de se construir um edifício. Com base nos conceitos formulados em 2.1.2, podemos inferir que um **processo construtivo** se constitui em um conjunto de métodos construtivos bem determinados.

Conceituando-se desta maneira, sem outras restrições, estaremos definindo um extensíssimo universo de processos construtivos. Isto, como uma decorrência da imensa quantidade possível de combinações entre os inúmeros métodos construtivos empregados na execução das várias partes de um edifício.

Porém, um processo construtivo normalmente se caracteriza pelos métodos empregados na construção dos elementos essenciais do edifício. Daqueles que lhe definem a forma e o volume, que materializam o abrigo. Assim, os processos construtivos se caracterizam pelos métodos empregados na execução da estrutura e do envelope exterior (vedações verticais e horizontais).

Esta restrição foi também estabelecida por Foster [1973] ao colocar que os processos de produção de edifícios se relacionam com a natureza e a seqüência de operações empregadas na erecto do invólucro do edifício ("building fabric", definido pelo autor como - "the environmental envelope of the building").

Adotaremos assim a seguinte definição de processo construtivo (de edifícios):

PROCESSO CONSTRUTIVO é um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro).

Com esta conceituação, ao nos referirmos, por exemplo, a um processo construtivo de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos estaremos nos referindo a um bem definido modo de se construir a estrutura e as vedações de um edifício com o emprego de paredes resistentes de alvenaria executadas com um determinado bloco cerâmico. Semelhantemente, se a referência for a um processo construtivo de paredes maciças de concreto, estar-se-á referindo a um específico conjunto de métodos construtivos empregado na erecto de um edifício e que se caracteriza por possuir paredes estruturais de concreto armado moldadas "in loco".

A terminologia adotada neste trabalho subordina a técnica ao método e este ao processo. Todos

estes três termos correspondem a modos de se produzir uma obra. Todos são empregados para representar a transformação de objetos de uma para outra forma. Todos são conjuntos de operações, de procedimentos sistematizados. No entanto, são termos para os quais estamos adotando significados diferentes. Isto porque, eles representam conjuntos de atividades com níveis bastante diferenciados de **complexidade organizacional** (crescente da técnica para o processo).

Na aplicação de uma dada técnica construtiva a escolha dos passos de trabalho (ações) e de como eles se inter-relacionam é uma decisão individual do operário que a executa. Na aplicação de métodos ou de processos construtivos as decisões são previamente equacionadas em uma etapa anterior à produção (planejamento) e a construção se desenvolve sob a coordenação e responsabilidade de profissionais que seguem um programa pré-estabelecido e que tomam as decisões, quando elas são cabíveis, inclusive para alterar o programa, agindo portanto como controladores do processo. O trabalho de organização da produção de um edifício (e conseqüentemente dos métodos e processos empregados) é um trabalho de engenharia. No país começa a ser reconhecido que este é um trabalho próprio da Engenharia de Construção Civil (ver 2.2.4).

2.1.4 SISTEMA CONSTRUTIVO

A palavra sistema, do grego "systema" (reunião, grupo) é uma palavra de uso comum e de múltiplos sentidos. O Novo Dicionário da Língua Portuguesa, de Aurélio B.H. Ferreira [Ferreira, 1975], descreve 19 acepções correntes para a mesma. Por ser uma palavra vulgar, de uso corriqueiro, é bastante problemático o seu uso na linguagem técnica pois, torna-se difícil expressar uma idéia com precisão através de um símbolo com muitos e arraigados significados.

Assim, é comum no Brasil o emprego na linguagem escrita diária do termo "Sistemas de Construção", para designar os diversos modos de se construir, como sinônimo de técnicas, métodos e processos construtivos.

No entanto, existe internacionalmente um relativo consenso sobre o significado, na linguagem técnica da construção civil, do termo **sistema construtivo** ("Building System" em inglês e "Système Constructif" em francês). É este significado que será aqui conceituado e adotado.

Em seu sentido mais amplo, sistema é um conjunto de elementos (partes do todo) que guardam entre si alguma relação [Sebestyén, 19 80]. Ou ainda, é um conjunto de elementos combinados em um todo, organizado para servir a um objetivo comum [Warszawski, 1977].

Segundo Warszawski [1977] "um sistema de produção compreende homens, máquinas e outros meios, os quais convertem materiais e trabalho em produtos especificados". Um sistema construtivo é um sistema de produção cujo produto objeto é um edifício.

Da mesma forma, um processo de produção tem por objetivo converter recursos em produtos. Ocorre porém que um sistema de produção não deve ser confundido com um processo de produção. O

sistema tem um grau de complexidade muitíssimo maior pois, para ser considerado como tal, deve possuir inter-relações bem definidas entre todas as suas partes.

De acordo com Hed [19 81] , a descrição de um processo contém informações sobre: as atividades e os métodos de trabalho do processo, a interdependência entre as atividades, os pontos de decisão, os critérios de decisão, etc. Por outro lado, a descrição de um sistema deve conter informações sobre: os níveis do sistema, seus componentes (internos e externos ao sistema), as propriedades de cada componente, as relações entre eles e as propriedades de todas as relações.

Em um sistema não há abertura para tomada de decisões que conduzam a caminhos que não tenham sido pré-estabelecidos ou decisões que corrijam falhas imprevistas. Pode, no entanto, haver a possibilidade de escolha entre opções previamente estabelecidas e que possuam as relações com o todo também já determinadas.

Este conceito de sistema conduz à conclusão de que os sistemas construtivos devem ter um elevado grau de industrialização (ver 2.3.1), serem normalmente fechados (no qual as opções só são encontradas dentro do próprio sistema) e organizacionalmente perfeitos.

Autores como Sebestyén [1980], Schmid & Testa [1969] , Wars-zawski [1977], Trigo [1978] e Foster [1973] ressaltam que o termo sistema construtivo deve ser empregado para identificar processos altamente industrializados ou, como coloca Sebestyén [1980] , "avançadas formas de construção industrializada". Outros autores como Dietz e Cutler [Dietz & Cutler, 1971; Cutler & Cutler, 1974] enfatizam esta restrição acoplando ao termo sistema construtivo o adjetivo industrializado, procurando assim identificar com maior precisão o seu significado.

No Primeiro Congresso do CIB, em 1961 [CIB, 1961] , estabeleceu-se que: "O termo **sistema construtivo** é usado para processos construtivos onde todos os detalhes, descendo ao mais minucioso detalhe de instalação, foram harmonizados em um todo único, dando ótimos resultados."

Dietz e Cutler, nos trabalhos acima citados, definem **sistema construtivo** como: "(...) a completa integração de todos os subsistemas e componentes em um processo global utilizando inteiramente técnicas industrializadas de produção, transporte e montagem.". Esta definição é coerente com a adjetivação imposta pelos autores ao termo, reservando-o para os processos "industrializados".

O pesquisador checo Sebestyén [1980] afirma que um sistema para ser qualificado como tal, deve ter três componentes bem definidos: **a)** o componente "hardware" - formado pelos subsistemas técnicos, que devem ser compatíveis entre si (estrutura, vedações, coberturas, etc); **b)** o componente "software", constituído, entre outros, por todos os projetos referentes ao sistema, programas para o planejamento e controle da construção, um consistente sistema de codificação dos componentes, etc. e **c)** o componente "orgware" (de organização) compreendendo um sistema relativamente permanente de organizações associadas, cada uma com responsabilidades bem definidas no desenvolvimento e manutenção do sistema construtivo, na fabricação dos componentes e na construção dos edifícios. O autor, atual secretário geral do CIB afirma ainda que, se não estiverem presentes estes três componentes, no máximo ter-se-á um quase-sistema (um sistema não elaborado totalmente) ou um pseudo-sistema (no qual faltam muitas das características necessárias para ser considerado um sistema construtivo).

Colocação semelhante é feita por Warszawski [1977] ao afirmar que um sistema construtivo é caracterizado por possuir os seguintes atributos que deverão estar muito bem definidos: uma tecnologia de

produção (dos componentes e elementos); um projeto do produto (o edifício) e uma organização de produção (do edifício). Do mesmo modo Schmid & Testa [1969] compõe um sistema construtivo a partir de três estruturas essenciais, as estruturas organizacional, técnica e de projeto.

Este conceito, que principiou a ser estruturado na Europa na década de cinquenta [Schmid & Testa, 1969], sobre o que atualmente se denomina por sistemas construtivos, é o que será assumido neste trabalho. Para tanto, adotaremos a seguinte definição:

SISTEMA CONSTRUTIVO é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.

Com base nesta definição pode-se concluir que um **sistema construtivo** é um processo construtivo de superior complexidade, muito bem definido e tecnologicamente mais avançado. No entanto, a definição procura ressaltar que um sistema construtivo deve ser focado de um modo diverso em relação àquele. Um sistema deve ser entendido como um conjunto de partes coordenadas que guardam relações mútuas perfeitamente determinadas enquanto que, um processo deve ser entendido como um conjunto de métodos inter-relacionados.

A definição que adotaremos neste trabalho é mais restritiva que aquela formulada por Picarelli [1982] em sua tese "Habitação, Desenho Industrial e Tecnologia" - "Por sistemas construtivos entendemos o conjunto de elementos da construção entre os quais existe uma relação definida.". Com este conceito Picarelli procurou englobar sob uma mesma denominação o que aqui definimos por processo e por sistema. Com o mesmo objetivo alguns pesquisadores no Brasil empregam outras expressões tais como - tipologias construtivas ou soluções construtivas.

A expressão **tecnologias construtivas** tem sido também empregada para englobar sob uma mesma denominação processos e sistemas construtivos. Apesar de não nos opormos a este emprego, acreditamos que ele deva ser feito em um contexto perfeitamente coerente com o sentido da palavra tecnologia, que possui uma conotação bastante ampla, como pode ser visto em 2.2.3.

Baseando-se nas definições adotadas, teremos os seguintes entendimentos sobre as expressões citadas no início e que são indistintamente empregadas na linguagem cotidiana da construção civil:

- Técnica construtiva tradicional (de edifícios)- conjunto (coleção) das técnicas empregadas tradicionalmente para a construção de um determinado tipo de edifício;
- Método construtivo tradicional- conjunto organizado das técnicas empregadas na construção de parte de uma edificação e que tem uso firmado na tradição construtiva local. Por exemplo, o método construtivo tradicional de se construir uma parede de vedação empregando tijolos cerâmicos e argamassa de cal;
- Processo construtivo tradicional (de edifícios)- específico modo de se produzir um edifício e que se

fundamenta em métodos construtivos tradicionalmente empregados em uma certa região. Por exemplo, em São Paulo, o processo construtivo tradicional para se construir edifícios de múltiplos pavimentos emprega estrutura reticulada de concreto armado, moldada com formas de madeira e vedações de tijolos cerâmicos furados (ou blocos de concreto).

E, finalmente, para sermos coerentes com a definição adotada, acreditamos que não há ainda sentido utilizar-se a expressão "sistema construtivo tradicional" pois, tradicionalmente empregam-se, no país, modos de se construir que absolutamente não se enquadram aos preceitos implícitos na definição adotada. Os processos hoje empregados caracterizam-se justamente por não possuírem relações bem definidas entre suas partes e por serem processos de produção pobremente organizados.

Neste trabalho, empregamos a sigla MPSCnst. para abreviar a expressão - Métodos, Processos e (ou) Sistemas Construtivos.

2.2 PESQUISA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA.

"The basic purpose of the engineering profession is to
develop technical devices, services and systems for the
use and benefit of Man."

George Beakley

Design Serving The Needs of Man [Beakley & Chilton,
1974]

Um dos objetivos de incluímos neste trabalho uma discussão sobre conceitos relacionados com a pesquisa, a engenharia e a tecnologia é o de procurar estabelecer a natureza e o alcance da pesquisa de desenvolvimento tecnológico, executada no âmbito da engenharia de construção civil.

Este particular tipo de pesquisa, que se constitui na ferramenta essencial para obtenção de novos métodos, processos e sistemas construtivos, tem sido frequentemente confundida, pelo meio técnico que atua na Engenharia Civil, com a pesquisa dita pura ou básica. É usual, no país, associar-se "pesquisa" com "trabalho de cientista" ou seja, algo que não se coaduna com a atividade normal do engenheiro civil. Deste fato resulta um preconceito injustificado, vigente entre o meio técnico, contra o trabalho de pesquisa, preconceito este que alimenta atitudes de menosprezo (quando trata a pesquisa como coisa de teóricos, de acadêmicos, sem finalidade prática) e de abandono.

Reputamos que o atual estágio de atraso tecnológico no campo de MPSCnst. deve ser em parte creditado ao fato de não se executarem sistemática e metodicamente pesquisas de desenvolvimento nesta área, fruto do desconhecimento de suas características e da importância que possuem no equacionamento de soluções otimizadas. Assim a inclusão desta discussão conceitual é feita com o intento de procurar contribuir para um melhor entendimento do que seja pesquisa em engenharia.

Um outro objetivo é o de estruturar alguns conceitos, que são importantes para a compreensão do

objeto central deste trabalho e que, por terem significados nebulosos, são passíveis de interpretações dúbias e algumas vezes incoerentes com o sentido que lhes queremos atribuir.

2.2.1 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Como premissa básica para discussão do tema podemos adotar a definição de Hertz [1950]: "**Pesquisa** é a aplicação da inteligência humana, de uma maneira sistemática, a um problema cuja solução não é imediatamente compreensível."

Por este conceito, genérico e amplo, a pesquisa é entendida como uma atividade que, empregando a inteligência, tem como propósito solucionar problemas específicos.

No seu trabalho - "The Theory and Practice of Industrial Research", Hertz [1950] preocupa-se em distinguir claramente a pesquisa da ciência, com o objetivo de desmitificar o conceito corrente de que pesquisa é um trabalho exclusivamente de cientistas. Segundo o autor "Ciência não é pesquisa, apesar de a pesquisa ser empregada na evolução da ciência e o método científico se constituir em parte da pesquisa... Apesar de reconhecermos existir uma estreita interdependência, podemos claramente distinguir pesquisa de ciência - Ciência é um corpo de conhecimentos; pesquisa é um processo de resolver problemas. ... Os métodos da ciência designam os métodos utilizados na acumulação de conhecimentos, enquanto que os métodos de pesquisa são aqueles que, de maneira sistemática, empregam a inteligência humana na solução dos problemas."

McLoughlin [1970], procura distinguir os dois significados subentendidos na palavra pesquisa: "O primeiro e mais genérico, abrange todos os processos indutivos e experimentais que transformam um conceito teórico em um resultado prático... O segundo é utilizado para designar um segmento muito restrito do processo global de pesquisa que, através de trabalhos teóricos ou experimentais, conduz um específico preceito científico ou tecnológico a um novo nível de compreensão.". A confusão que se faz com a palavra pesquisa pode ser explicada pelo fato de que comumente o segundo significado assume caráter geral e não a específica condição que verdadeiramente possui.

No livro "Improving the Effectiveness of Research and Development", Seiler [1965] transcreve as definições estabelecidas pela National Science Foundation (NSF) dos Estados Unidos para os três tipos de atividades de pesquisa:

"Pesquisa Básica é a pesquisa na qual o principal propósito do pesquisador é o mais completo conhecimento ou compreensão do assunto em estudo, ao invés de procurar-lhe uma aplicação prática;

Pesquisa Aplicada é dirigida diretamente para uma aplicação prática do conhecimento e engloba os projetos de pesquisa voltados para a descoberta de conhecimentos científicos inéditos, desde que tenham objetivos comerciais específicos e se relacionem com novos processos ou produtos, e

Desenvolvimento é o uso sistemático de conhecimentos científicos voltado para a produção de materiais, dispositivos, métodos ou sistemas úteis, incluindo o projeto e desenvolvimento de protótipos e processos."

Seiler no livro citado comenta que "as definições por si só não estabelecem uma linha divisória precisa entre os três tipos, como uma consequência peculiar da natureza da própria pesquisa" e que "frequentemente um projeto de pesquisa contém elementos dos três tipos, havendo uma progressão natural

de um para outro sem linhas demarcatórias bem definidas."

A segunda afirmação encontra ressonância entre a totalidade dos autores consultados. No entanto, o fato de Seiler não identificar limites claros parece decorrer da forma sintética que foi empregada na formulação das definições. No seu trabalho " Pesquisa, Desenvolvimento Experimental e Inovação Tecnológica", Teixeira [1983] estabelece conceitos mais explícitos e que nos permitem distinguir melhor as linhas divisórias:

"**A Pesquisa Básica**, também denominada pura ou fundamental, é a investigação original, cujo objetivo se resume na expansão do conhecimento científico - não tem por objetivo aplicar os conhecimentos obtidos ... **A Pesquisa Aplicada** difere pouco da pesquisa básica em termos de procedimentos e metodologias. A distinção se estabelece, entretanto, nos objetivos. A atividade de pesquisa aplicada é investigação original conduzida com o objetivo de se ganhar novos conhecimentos técnico-científicos tendo em vista uma aplicação prática. É a atividade que se caracteriza em geral por explorar a utilização de conhecimentos auferidos da pesquisa básica na solução de problemas práticos... Por **Desenvolvimento Experimental** entende-se a atividade que objetiva a construção de protótipos e ou a montagem de um processo experimental de produção, a partir de um amplo acervo de conhecimentos e técnicas oriundas da pesquisa e ou da experiência prática pregressa. Assim o desenvolvimento experimental é um trabalho sistemático, criativo, com fundamento em conhecimentos, práticas e técnicas diversas e dirigido à obtenção de um produto ou processo de produção. Entende-se entretanto que a atividade de desenvolvimento experimental cessa quando um protótipo ou linha piloto de produção é concluída e testada. Daí em diante, até a obtenção de uma produção definitiva ou de um produto acabado, a atividade é definida como **engenharia** (de produto e ou processo).

Dependendo das características da instituição que exerce atividades de pesquisa, os conceitos podem variar. Walters[1965] destaca que a formulação destes conceitos pode se alterar em função dos objetivos da instituição. Para exemplificar, ele cita o conjunto de definições estabelecidas pela International Business Machine (IBM), que apresenta como maior diferença um conceito de desenvolvimento que engloba algumas das atividades da engenharia. A IBM classifica o desenvolvimento em duas atividades: o desenvolvimento avançado e o desenvolvimento de produto, e os define:

"**Desenvolvimento Avançado** converte o conhecimento científico existente em produtos ou processos demonstrando suas viabilidades. Ele contribui ainda na análise crítica de áreas problemáticas, pela determinação da oportunidade em iniciar um esforço no desenvolvimento de produto.

Desenvolvimento de Produto relaciona-se com a construção de modelos e protótipos de produtos ou dispositivos. Ele engloba: o Planejamento de Engenharia, o qual traduz a concepção do produto e o conhecimento dos requisitos do usuário em objetivos de projeto e subsequentemente em especificações detalhadas de engenharia; o Projeto do Produto que se encarrega de reduzir as especificações de um dispositivo a um modelo de protótipo prático e a Atividade de Documentação que gera dados que irão alimentar a engenharia de produto." [Walters, 1965] (grifos nossos).

A definição da Secretaria de Tecnologia Industrial do antigo Ministério de Indústria e Comércio amplia o leque de objetivos da atividade de desenvolvimento. "Desenvolvimento experimental é investigação sistemática baseada no conhecimento existente, estabelecido pela pesquisa ou pela experiência prática, objetivando a produção de novos materiais, produtos e equipamentos, a determinação de novos

processos, sistemas e serviços e o aperfeiçoamento de processos, sistemas e serviços existentes " [Almeida, 1981]

Analisando as definições anteriores pode-se inferir que a principal diferença entre pesquisa básica e aplicada é a motivação que as estimula. Enquanto a motivação da pesquisa básica é a curiosidade científica, a da pesquisa aplicada é a obtenção de resultados práticos, que possam ser aplicados. Ambas podem produzir as mesmas conclusões, apesar de terem objetivos diversos.

A diferença entre a pesquisa aplicada e a pesquisa de desenvolvimento (ou simplesmente desenvolvimento) está nas conclusões: enquanto que na primeira, a conclusão pode ser a de que um determinado conhecimento científico possui potencialidade de aplicação comercial, na segunda, a conclusão é que um processo ou um produto é viável, do ponto de vista técnico, de ser respectivamente implantado ou produzido. Ou seja, possui aptidão para ser realizado ("do-ability" em inglês).

Para se concluir que um produto ou processo é viável em termos econômicos é essencial completar-se o estágio seguinte à pesquisa de desenvolvimento, qual seja, a engenharia de produto ou de processo. O desenvolvimento termina no protótipo, modelo ou na planta-piloto [Almeida, 1981]. A engenharia, a partir destes, investiga a possibilidade e os métodos de realização econômica daquele.

Considerados em conjunto, a pesquisa, o desenvolvimento e a engenharia de produto (ou de processo) conduzem um conceito científico ou tecnológico desde o princípio, na mente de quem o criou, até à colocação de um produto ou de um processo no mercado, com o início da produção industrial.

As atividades de pesquisa e desenvolvimento podem ser melhor compreendidas pela descrição dos seus objetivos. No quadro 2.1 relacionamos os principais objetivos dos diversos tipos de pesquisa.

É comum o uso do termo composto Pesquisa e Desenvolvimento, representado pela sigla P&D (R&D em inglês, de "Research and Development"). As atividades de P&D englobam a pesquisa básica e a aplicada (em ciência e em Engenharia) e o projeto de desenvolvimento de protótipos e processos [Walters, 1965].

"Os dois termos (P&D) estão geralmente juntos e designam um conjunto de atividades de natureza criativa, realizadas normalmente de forma sistemática com o fim de aumentar o acervo de conhecimentos técnico-científicos e usar tal acervo no projeto e realização de aplicações práticas" [Teixeira, 1983].

O sistema de Pesquisa & Desenvolvimento pode ser entendido como um sistema fechado que se retro-alimenta. McLoughlin [1970] descreve-o graficamente e denomina-o de estado da arte da tecnologia ou simplesmente tecnologia (ver 2.3.3). Na Figura 2.1 é reproduzido com simplificações o esquema proposto pelo autor. McLoughlin afirma que, apesar de usualmente imaginar-se que a pesquisa aplicada resulta da pesquisa básica, o que ocorre, no atual estado da arte da tecnologia, é a pesquisa aplicada estimulando diretamente a pesquisa básica e o desenvolvimento através de seus resultados: novas técnicas, novos materiais e novos conhecimentos.

Quadro 2.1 Objetivos das Atividades de Pesquisa

Tipos de Pesquisa	Objetivos
Básica	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento Original - Avanço no Conhecimento Científico - Descobertas e Invenções - Novas Teorias - Novos Princípios
Aplicada	<ul style="list-style-type: none"> - Novos Conhecimentos que Possam Ser Aplicados a Produtos e Processos - Novos Materiais - Novas Técnicas
Desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> - Novos Produtos - Novos Processos e Métodos - Aperfeiçoamento de Produtos Existentes - Aperfeiçoamento de Processos e Métodos

Este particular entendimento de McLoughlin não é consenso entre pesquisadores do assunto. Almeida [1981] transcreve o sistema proposto por Silva Leme, diferente do de McLoughlin pelo caráter aberto, seqüencial, e por ter início com a pesquisa básica (ou pura) . Descreve também um sistema fechado proposto por Hetman com três campos: pesquisa, desenvolvimento e difusão. Nas Figuras 2.2 e 2.3 apresentamos graficamente os dois sistemas com adaptações (supressão de quadros sem interesse para esta análise).

A pesquisa em construção de edifícios tem sido conceituada de diversas maneiras, notadamente quando lhe procuram dar um sentido genérico. Por exemplo, Arctander [1974] definiu-a no 6o. Congresso do CIB como "Qualquer aplicação de conhecimento que produz um melhor ambiente construído ou ainda: é o conhecimento aplicado que valoriza o ambiente construído."

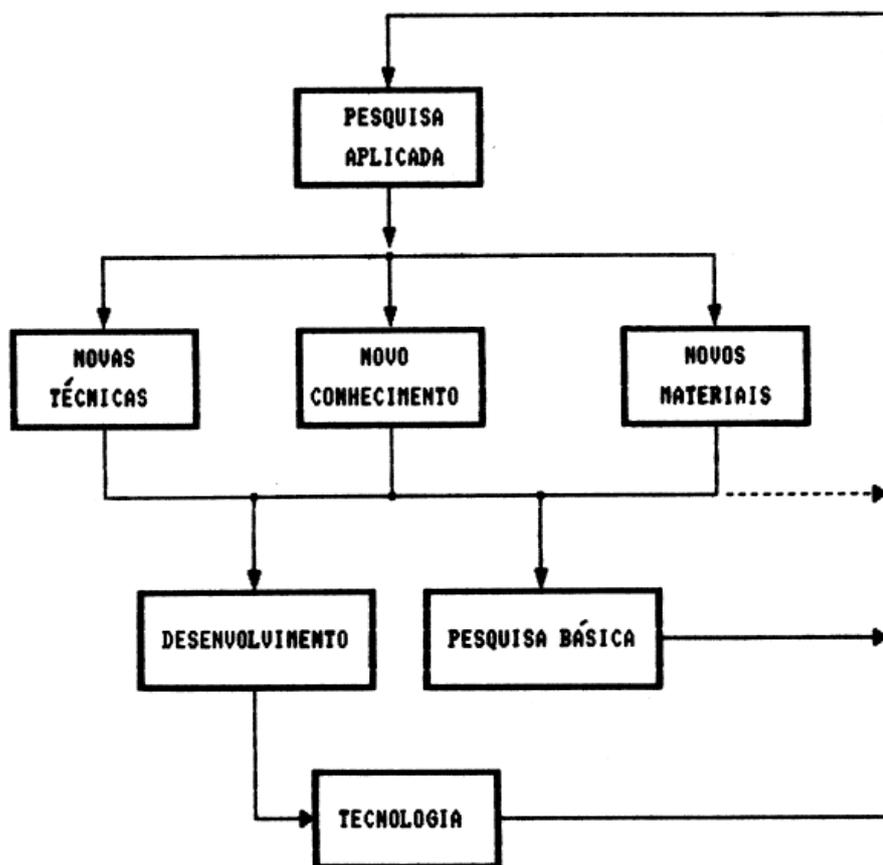


Figura 2.1 O Estado da Arte da Tecnologia [McLoughlin, 1970]

Hobbs [1977], Presidente do Comitê W54 do CIB ("Building Research") coloca que o Comitê identificou três tipos de pesquisa em construção de edifícios, classificados segundo seus objetivos e, caracterizados por: a) Trabalho inovador e de desenvolvimento dirigido para a obtenção de específicos e rápidos incrementos no desempenho ou na eficiência de algum atributo e que tenha interesse comercial para qualquer um dos vários ramos da indústria de construção; b) Trabalho

fundamental e a longo prazo, objetivando criar uma reserva de conhecimento básico e de pesquisadores e sem objetivos comerciais imediatos; c) Trabalho imparcial e judicioso conduzido no sentido de estabelecer critérios de aceitação de novos produtos e processos, promover esta aceitação, prover as bases para uma política nacional no setor, determinar requisitos para a preservação do ambiente, etc. A **pesquisa de desenvolvimento tecnológico** na engenharia de construção civil, conceituada em 2.2.4, enquadra-se no tipo a) da classificação acima.



Figura 2.2 Espectro da Tecnologia, segundo Silva Leme [Almeida, 1981] (Obs.: Ver também processo de inovação tecnológica, ítem 2.2.3).

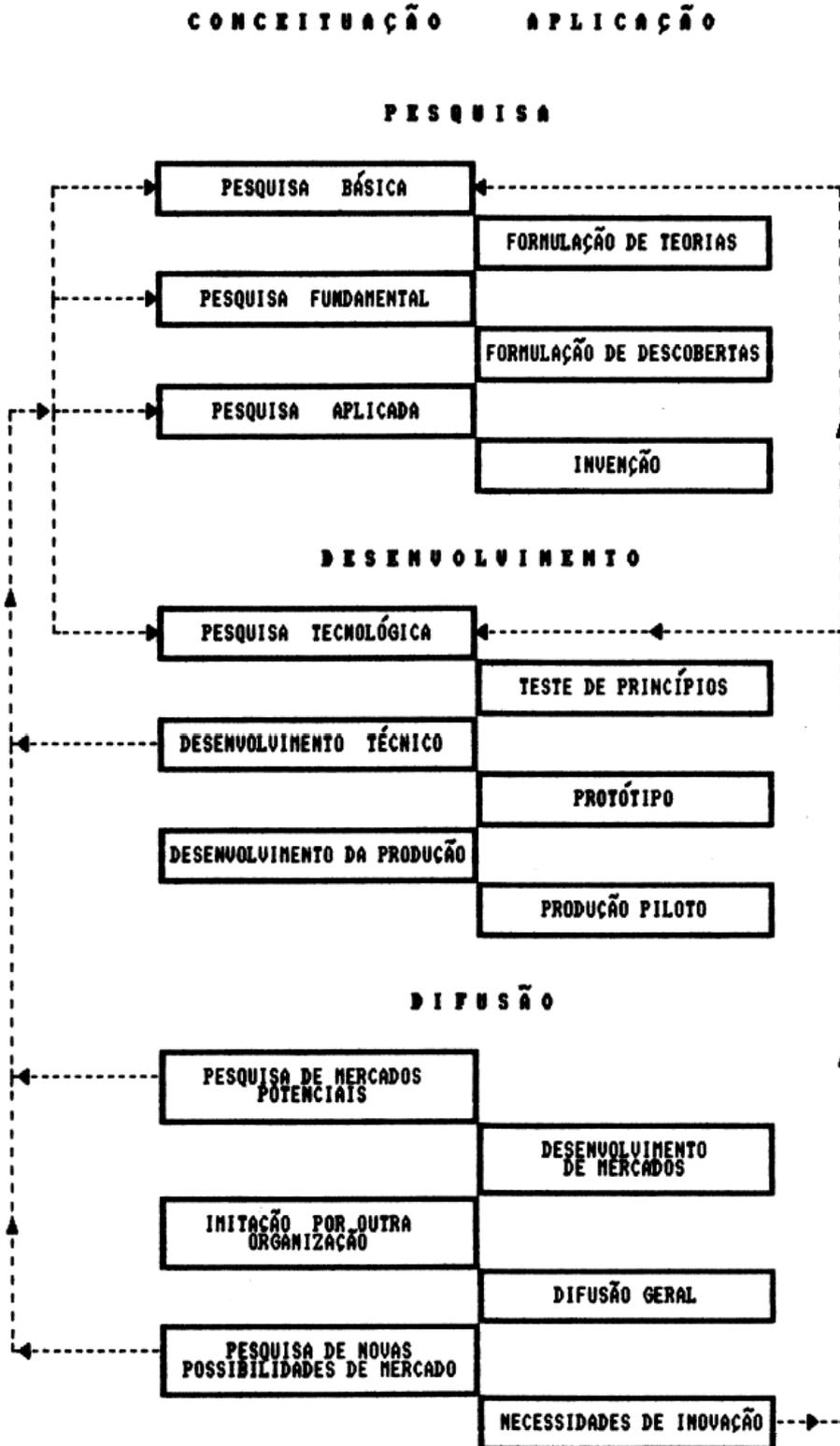


Figura 2.3 O Processo de P&D, segundo Hetman [Almeida, 1981

2.2.2 ENGENHARIA E PROJETO

"A scientist can discover a new star but he cannot make one. He would have to ask an engineer to do it for him"

Gordon L. Glegg

The Design of Design

[Beakley & Chilton, 1974]

O vocábulo engenharia é demasiadamente conhecido como profissão e como atividade desenvolvida por um grupo de pessoas denominadas engenheiros. No entanto, não é imediato no campo da engenharia civil, o relacionamento da atividade do engenheiro com as atividades de P&D.

Examinemos algumas concepções clássicas sobre a engenharia, como profissão, para compreendermos o alcance desta última relação. (Os termos em destaque gráfico foram por nos grifados.) Almeida [1981] transcreve a definição de engenharia do "Engineering Council for Professional Development" dos Estados Unidos: "Engenharia é a aplicação criativa de princípios científicos ao projeto e desenvolvimento de estruturas, máquinas, dispositivos ou processos de fabricação ou para a construção e ou operações dos mesmos ...".

Destacando também como objetivo maior da Engenharia como profissão o de desenvolver coisas úteis, Whinnery (citado por Fleury [1983]) coloca no seu livro "The World of Engineering" concepção semelhante: "Engenharia é a profissão na qual o conhecimento das ciências matemáticas e naturais, obtidas através de estudo, experiência e prática é aplicado com discernimento, para desenvolver formas de utilizar economicamente os materiais e forças da natureza em benefício da humanidade." [Fleury, 1983].

Em seu livro-texto, adotado nas escolas de Engenharia do Brasil - "An Introduction to Engineering and Engineering Design" (editado no Brasil com o título "Introdução à Engenharia", Ao Livro Técnico, 1970), Krick [1965] define: "Engenharia é a profissão voltada essencialmente para a aplicação de um conjunto de certos conhecimentos, habilitações e atitudes profissionais na criação de dispositivos, estruturas e processos a serem empregados na conversão de recursos em realizações destinadas a atender às necessidades humanas."

Krick enfatiza a atividade de criação ao afirmar no seu clássico texto, repetidamente, que: "O principal objetivo do engenheiro é criar dispositivos, estruturas ou processos tangíveis, de utilidade para o homem.", ou ainda: "Que não restem dúvidas - o engenheiro é um criador." e "O engenheiro é um

solucionador de problemas.".

Confrontando estes conceitos com os de desenvolvimento, transcritos em 2.2.1, vemos que há uma extensa concordância entre os objetivos e os meios da profissão do engenheiro com as atividades de P&D.

Almeida [1981], analisando e comparando os trabalhos de vários autores afirma: "A conclusão que nós tiramos é que Desenvolvimento e Engenharia se superpõem extensamente, no seu papel de criação de conhecimento tecnológico. A melhor diferenciação que pudemos observar é quanto à destinação dos resultados da atividade: quando imediatamente dirigido à produção é Engenharia. Porque, se considerarmos em termos mediatos, nem essa diferença parece existir.".

Quando a Engenharia se volta para a criação de tecnologia (ver conceito em 2.2.3.) ela passa a se ligar intrinsecamente às atividades de P&D. Por existir um tão elevado nível de interpenetração, recomenda-se que, para significar tecnologia, deve-se acrescentar à sigla P&D a letra E de Engenharia [Almeida, 1981].

Longo [1984] afirma que as atividades isoladas de P&D não garantem que a tecnologia desenvolvida seja transferida para o sistema produtivo. Para que isto ocorra é necessário que estas atividades englobem os serviços de engenharia tais como: o estudo de viabilidade; a engenharia de projeto e a engenharia de construção e montagem.

Assim, o engenheiro, enquanto criador de tecnologia, atua em P&D. Krick [1965] adota o termo - tecnologista, para designar o engenheiro que atua em P&D. Vargas [1985] sugere uma denominação para esta atividade - pesquisa tecnológica.

O engenheiro para criar tecnologia utiliza-se de um processo de criação específico. Em inglês, este processo é denominado "Engineering Design". Este termo não tem uma correspondência muito precisa em português. Uma tradução possível (adotado em inúmeros textos traduzidos) seria - Projeto de Engenharia. No entanto, no Brasil, pelo menos na Engenharia Civil, esse termo tem uma conotação já consolidada e que difere do significado em inglês de "Engineering Design".

Consultando-se diversos trabalhos sobre "Design" e "Engineering Design" constata-se que estes termos subentendem conceitos mais amplos que os de Projeto e de Projeto de Engenharia.

Reswick, no prefácio do livro "Introduction to Design -Fundamentals of Engineering Design" [Asimow, 1962] conceitua "Design": "É o objeto essencial da Engenharia. Começa com a identificação de uma necessidade e a definição de uma idéia que venha ao encontro desta necessidade. Prossegue com a definição do problema, continuando através de um programa de pesquisas e desenvolvimento até a construção e avaliação de um protótipo. Termina com a multiplicação e a distribuição efetivas de um produto ou sistema de modo que a necessidade original possa ser satisfeita." (grifo nosso) .

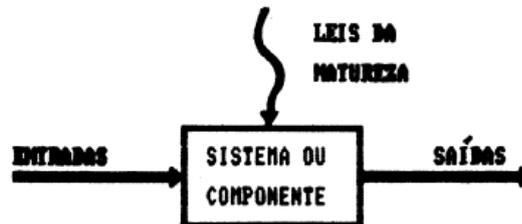
Segundo Hill [1970] a atividade de "Engineering Design" corresponde a um "processo contínuo por meio do qual informações científicas e tecnológicas são usadas para inovar sistemas dispositivos ou processos, que irão beneficiar a sociedade de alguma maneira." Bleakley & Chilton [1974] usam uma linguagem simbólica para definir "Engineering Design" como: - "Uma ponte entre os recursos disponíveis e as necessidades da humanidade através do desconhecido. ".

Para ilustrar a diferença fundamental entre o "Engineering Design" e outros processos técnico-científicos, Dixon [1966] criou uma representação esquemática reproduzida na Figura 2.4.

Em decorrência desta não concordância semântica e para evitar interpretações dúbias, utilizaremos

as palavras projeto e projeto de engenharia sublinhadas sempre que nos referirmos a "design" e a "engineering design".

Uma referência obrigatória quando se analisam as atividades da função Engenharia, é a obra de Morris Asimow, editada em 1962 nos Estados Unidos e em 1968 no Brasil, e que, pela primeira vez, estabeleceu de maneira sistemática todo um corpo de conceitos sobre o projeto de Engenharia. Neste livro [Asimow, 1962] procura caracterizar as atividades de pesquisa, desenvolvimento e projeto de engenharia através da análise dos seus particulares processos; "Pesquisa, Desenvolvimento e Projeto estão frequentemente tão misturados na linguagem atual da tecnologia que, às vezes, chega a ser difícil desembaraçá-los. Todos os três estão relacionados com resoluções de problemas... O procedimento operacional é semelhante, em princípio, para as três funções, embora possa haver geralmente grandes diferenças nos detalhes de métodos e nos instrumentos empregados... Em pesquisas o resultado da síntese é uma ou mais hipóteses alternativas; em projetos, é uma ou mais concepções alternativas de projetos... A pesquisa é dirigida para a obtenção de uma classe de respostas; o projeto, dirigido para uma resposta específica... A pesquisa fornece novas idéias técnicas para o projeto, não sendo limitadas ao mesmo... O desenvolvimento é intermediário, misturando os trabalhos experimentais de pesquisa com a singular vocação do projeto . . . " .



CONHECIDO	O QUE SE QUER	PROCESSO
ENTRADAS, LEIS DA NATUREZA, SISTEMA	SAÍDAS	ANÁLISE (DEDUÇÃO)
SAÍDAS, LEIS DA NATUREZA, SISTEMA	ENTRADAS	ANÁLISE INVERSA
ENTRADAS, SAÍDAS, SISTEMA	LEIS DA NATUREZA	CIÊNCIA (INDUÇÃO)
ENTRADAS, SAÍDAS, LEIS DA NATUREZA	SISTEMA OU COMPONENTE	"ENGINEERING DESIGN"

Figura 2.4 Representação Esquemática do Processo de "Design" [Dixon, 1966]

Podemos inferir da análise dos trabalhos citados que, se o engenheiro estiver atuando na geração de novas tecnologias, ele estará praticando ou pesquisa ou desenvolvimento ou projeto ou provavelmente as três atividades em conjunto.

Voltemos à afirmação inicial e procuremos entender porque no Brasil não é imediato, pelo menos no campo da Engenharia de Construção Civil, o relacionamento da atividade do engenheiro com as atividades de P&D. Além de inúmeras distorções existentes na própria atuação dos engenheiros civis e que se refletem no conceito geral que se faz sobre eles - grande parte destes profissionais exercem atividades que não lhe são próprias como por exemplo, de empreendedores imobiliários, ou as que são de competência de tecnólogos e técnicos de grau médio - outros fatores conjunturais inerentes àquele setor industrial, compõe o quebra-cabeças. Podemos citar alguns:

Um fator decorre de que as empresas de construção civil em sua quase totalidade adotam no país uma estratégia de atuação que, de acordo com a tipologia de Freeman (citada por Fleury [1983]), é classificada como estratégia tradicional, caracterizada pelo fato das empresas estarem completamente desinteressadas em mudanças de cunho tecnológico e do mercado não demandar que elas necessariamente ocorram. Assim o papel que a inovação tecnológica (ver conceituação em 2.2.3) representa para os objetivos das empresas é quase nulo. Isto implica em que as empresas não geram tecnologia e nem induzem o desenvolvimento das mesmas em instituições de P&D. Das dez funções típicas de uma empresa industrial, nas empresas de estratégia tradicional, somente a engenharia de produção é praticada [Fleury, 1983].

Outro fator é a quase completa inexistência de centros de P&D com atuação na área. Isto pode ser creditado a inúmeros fatores: natural decorrência do primeiro fator; reconhecida ausência de estímulos à atividade de P&D por parte das instituições governamentais; baixíssimo nível de investimentos em tecnologia no país; ausência de política institucional para o desenvolvimento do setor, etc.

Importante neste contexto é também a característica intrínseca à boa parte do setor: a de trabalhar com uma solução específica para um dado problema. Assim, ao invés de procurar solucionadores de problemas (ou criadores de soluções novas) o mercado direciona sua procura para os técnicos treinados em equacionar aquele problema (que já tem soluções conhecidas).

Outros fatores, igualmente importantes podem, no entanto, ser encarados como uma decorrência daqueles já citados. Por exemplo, a ausência de formação acadêmica do engenheiro, o desestímulo da sociedade para que o engenheiro atue em P&D (não valorização da atividade, campo de atuação limitado, falta de perspectivas profissionais, etc.).

2.2.3 - TECNOLOGIA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Apesar de que "o significado de tecnologia e sua importância no mundo são aceitos "a priori" pela grande maioria das pessoas de modo subjetivo" [Almeida, 1981], é essencial explicitarmos melhor o que se entende por tecnologia, pois este trabalho fundamentalmente trata de processos de criação de novas tecnologias.

Normalmente, o que se espera de uma definição é que ela delimite o campo semântico. No entanto, com o termo tecnologia ocorre o que Gama [1987] chama de "anarquia semântica" pois há na literatura um

emaranhamento dos conceitos de técnica, inovação, progresso técnico e ciência com o de tecnologia (Gama usa também o termo "cipoal semântico" para explicar este estado).

Rosenblueth no tratado de epistemologia de Mário Bunge [Rosenblueth, 1980] coloca que: "o primeiro problema levantado pela tecnologia é o de sua caracterização, porquanto não há consenso quanto à sua definição. Há uma desconcertante variedade de modos de entender esta palavra. O homem da rua confunde muitas vezes o receptor de televisão com a tecnologia que levou à sua produção. Habitualmente, entende-se por tecnologia a técnica que emprega conhecimento científico. Por exemplo, distingue-se a técnica da costureira da tecnologia da indústria da confecção."

Este último conceito encontra certa receptividade entre alguns autores. Outros consideram, de modo semelhante, tecnologia como ciência aplicada. Longo [1984] critica esta conotação afirmando que: "Na realidade esta definição pode não ser sempre verdadeira, embora, no mundo atual, a tecnologia dependa cada vez mais dos conhecimentos científicos. Como prova de que a definição é imperfeita, Jorge Sabato, usa como exemplo a invenção do "container" que, a rigor não envolveu nenhum conceito científico, mas que entretanto, é uma das tecnologias de maior sucesso no setor de transportes."

A maioria dos autores consultados parece concordar que tecnologia é um conjunto de conhecimentos. Examinemos alguns conceitos que utilizam este enfoque.

Mansfield (citado por Almeida, [1981]) define "Tecnologia é o acervo de conhecimentos da sociedade referentes às artes industriais". Longo [1984] entende que: "Tecnologia é o conjunto organizado de todos os conhecimentos - científicos, empíricos ou intuitivos, empregados na produção e comercialização de bens e serviços.". Gama [1987] critica este conceito alegando que ele não permite distinguir tecnologia da técnica, sendo esta por ele entendida como um conjunto de regras praticas para fazer coisas determinadas.

Rosenblueth [1980] procura explicitar melhor qual é o conjunto de conhecimentos que se entende por tecnologia, caracterizando os seus fins e seus meios. "Um corpo de conhecimentos é uma tecnologia se e somente se: a) é compatível com a ciência contemporânea e controlável pelo método científico, e b) é empregado para controlar, transformar ou criar coisas ou processos, naturais ou sociais". O autor com esta definição procura desvincular tecnologia de engenharia (segundo ele, a maioria dos dicionários não as distingue) e classifica os atuais ramos da tecnologia em tecnologias: materiais (que inclui a Engenharia), sociais, conceituais (Informática) e gerais (Teorias de Sistemas). Esta conceituação é adotada por Zagottis [1987] em seu texto didático sobre tecnologia.

A noção de que tecnologia é um conjunto de conhecimentos é a também adotada pelos lexicógrafos. "Tecnologia é um conjunto de conhecimentos, especialmente princípios científicos, que se aplicam a um determinado ramo de atividade" ou ainda " tecnologia é a ciência (também definida como um conjunto organizado de conhecimentos) que trata da técnica." [Ferreira, 1975].

Outros autores conceituam tecnologia como uma atividade (de caráter reflexivo ou aplicativo). Por exemplo, Vargas [1985] define "Tecnologia é o estudo dos materiais e processos utilizados pela técnica, empregando para isto teorias e conclusões das ciências." Gama [1987], após analisar inúmeros autores, adota conceito semelhante: "tecnologia é o estudo e o conhecimento científico das operações técnicas ou da técnica". Almeida [1981], transcreve as definições de Moreno e de Hawthorne: "Tecnologia é a aplicação de

conhecimentos científicos e empíricos a processos de produção de bens e serviços - Moreno", e "Tecnologia é a aplicação da ciência à solução de problemas bem definidos - Hawthorne."

Na realidade estes dois sentidos (conjunto de conhecimento e atividade reflexiva ou aplicativa) parecem guardar entre si uma relação de metonímia.

Almeida [1981] examinando as várias conotações possíveis de serem estabelecidas para o termo, sintetizou o problema no seguinte: "Podemos, portanto, adotar uma definição de tecnologia que se enquadre numa das grandes alternativas (ou as combine): a) Tecnologia é o conjunto dos conhecimentos empregados na produção de bens; b) Tecnologia é o conjunto das atividades que resultam na criação ou aplicação de conhecimentos empregados na produção de bens; c) Tecnologia é o conjunto de bens produzidos em decorrência (mas não só) de um conjunto de conhecimentos empregados na produção de bens. Nossa opção chama de Tecnologia somente a primeira alternativa. A segunda alternativa pode ser chamada por qualquer nome que signifique criar ou aplicar tecnologia; talvez não exista uma designação apropriada, mas alguns poderão entender como desenvolvimento ou desenvolvimento e engenharia, ou engenharia apenas, como melhor expressão singular que se aplique ao significado b). A terceira alternativa é, decididamente, bens e não tecnologia."

Iremos adotar uma definição que tem também a conotação da alternativa a) de Almeida. Ela foi construída, com o fim de se adequar ao contexto deste trabalho, a partir dos conceitos de Longo, particularizada para as tecnologias materiais de Rosenblueth e modificada para tentar evitar confusões semânticas com a técnica.

"TECNOLOGIA é um conjunto sistematizado de conhecimentos empregados na criação, produção e difusão de bens e serviços".

A partir da adoção deste conceito pode-se então construir uma definição para o termo - Tecnologia Construtiva. Optamos por um conceito-micro, relacionado com a idéia de que existem inúmeras tecnologias construtivas, cada uma delas referente a um particular modo de se construir. Ou seja, cada um destes modos de construir é constituído por um determinado conjunto de conhecimentos. O conceito-macro refere-se ao conjunto global das infinitas tecnologias construtivas. Tatum [1986] designou-o como - A Tecnologia da Construção Civil e conceitua-o como sendo:"o estado da arte sobre todos os métodos e processos construtivos e os equipamentos e materiais de construção". A definição que adotaremos é a seguinte:

"TECNOLOGIA CONSTRUTIVA é um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, pertinentes a um modo específico de se construir um edifício (ou uma sua parte) e empregados na criação, produção e difusão desse modo de construir."

Vê-se que limitamos o conceito ao edifício, a fim de adequá-lo ao objetivo deste trabalho. Porém ele pode ser, sem alteração, estendido a outros tipos de estruturas. Pode-se ainda observar que mesmo com todas estas restrições, o termo não é sinônimo de processo construtivo, tendo um significado muito mais amplo e rico que este (ver 2.1.3).

O processo de criação de tecnologia é conhecido como: O Processo de Inovação Tecnológica. E o seu resultado é uma mudança ou inovação tecnológica. Inovação não é invenção. A invenção é um processo de descobrir ou criar uma nova idéia, enquanto que inovação tecnológica tem sido definida como "um processo que compreende a criação, o desenvolvimento, o uso e a difusão de um novo produto ou processo" [Utterback, 1983]. Com este sentido, pode ser entendida como a operacionalização de uma nova tecnologia.

Há também um consenso sobre a diferença entre mudança e inovação tecnológica. A inovação refere-se à tecnologia sendo utilizada ou aplicada pioneiramente. Marquis [Almeida, 1981] acentua que "quando uma empresa produz um bem ou serviço ou usa um método ou insumo, que é novo para ela, esta produzindo uma mudança tecnológica. A primeira empresa a fazer certa mudança tecnológica é uma inovadora. Sua ação é a inovação.". Marquis caracteriza a inovação como um evento, como o resultado de uma ação inovadora. O professor Christopher Hill [1983], do M.I.T.(Massachusetts Institute of Technology), deixa claro porém que para uma mudança tecnológica ser considerada uma inovação "o produto, processo ou sistema têm de incorporar um novo método ou uma nova idéia."

São reconhecidos dois agentes motivadores da criação de novos produtos e processos: o avanço científico-tecnológico ("Technology Push") e as forças de mercado ("Market Pull") [Tatum, 1986]. Segundo Almeida [1981], estudos recentes mostram que o mercado é o principal agente motivador de inovações tecnológicas. Hill [1983] procura destacar a importância que estas têm hoje em dia e enfatiza que "a inovação tecnológica é o maior agente de crescimento e mudança na sociedade."

Outra característica importante que tem sido destacada pelos autores que debatem o processo de inovação é o da obrigatoriedade de que o processo atinja a fase de consumo. Isto significa que a nova tecnologia tem que ser efetivamente implantada no mercado para ser considerada inovação. Jansen [Almeida, 1981] é taxativo ao afirmar que: "sem comercialização autêntica e consumo final, inovação não passa de imaginação."

O processo de inovação tecnológica pode ser representado por uma sucessão de fases, como está mostrado esquematicamente na figura 2.2 (chamada por Silva Leme de- Espectro da Tecnologia). O Professor James Bright [McLoughlin, 1970] propõe oito estágios para o processo. O quadro 2.2 ilustra esta sua proposição. É interessante observar que ele se preocupa em colocar as atividades de P&D e de projeto no mesmo nível, como duas possíveis maneiras de conduzir o processo. Para comparação reproduzimos também no quadro 2.2 o Espectro da Tecnologia, de Silva Leme.

Tatum [1986] utiliza a classificação de Meyes e Marquis para dividir as inovações tecnológicas em três tipos:

- Sistemas complexos envolvendo muitos componentes (por exemplo, missões lunares, redes de comunicação, etc);

- decorrentes de mudanças radicais na tecnologia e que alteram todo o caráter de uma indústria (por exemplo, avião a jato, xerox, etc.) e
- inovação corriqueira ("nuts and bolts").

Utterback [1983] dá classificação semelhante e destaca o terceiro tipo como sendo “o mais importante tipo de inovação, por causa do seu rápido impacto econômico e competitivo” denominando-o - **inovação incremental**, assim definida: “Inovação incremental é um avanço da tecnologia existente que aperfeiçoa o desempenho do produto ou melhora o custo ou a qualidade passo a passo.”. O autor coloca ainda que "as inovações incrementais são estimuladas pela demanda (induzida pelas forças de mercado), por redução de custos e pelo aumento de qualidade dos produtos existentes."

Tendo como fundamento este conceito consensual sobre inovação tecnológica, iremos particularizá-lo para o campo da tecnologia de construção de edifícios, adotando a seguinte definição:

“Um novo produto, método processo ou sistema construtivo introduzido no mercado, constitui-se em uma INOVAÇÃO TECNOLÓGICA na construção de edifícios quando incorporar uma nova idéia e representar um sensível avanço na tecnologia existente em termos de: desempenho, qualidade ou custo do edifício, ou de uma sua parte.”

Quadro 2.2 Estágios do Processo de Inovação Tecnológica de Bright
Adaptado de McLoughlin [1970] e de Almeida [1981]

Está- gio nº	Atividades no Estágio		Espectro da Tecnologia
	Em P&D	Em <u>projeto</u>	
01	Sugestão científica, descoberta	Reconhecimento da necessidade	Pesquisa básica
02	Proposta de teoria	Concepção de <u>projeto</u>	Pesquisa aplicada
03	Verificação experimental da teoria	Estudo de viabilidade	
04	Demonstração em laboratório da aplicação		Desenvolvimento
05	Produção em escala ou teste de campo		Produção experimental
06	Início de produção e introdução no mercado		Projeto e produção em escala
07	Adoção corrente	—	Consumo
08	Proliferação	—	

A Engenharia de Construção Civil é um dos ramos da Engenharia Civil. É uma especialização que se caracteriza por ter como objeto o desenvolvimento e aplicação dos meios destinados a transformar recursos em estruturas físicas, tais como edifícios, estradas, pontes, barragens, portos, aeroportos, etc.

Esta operação de transformação é denominada construção, e a atividade que a ela se relaciona, Construção Civil. Os meios de transformação são os **métodos e processos construtivos** (ver 2.1). A aplicação dos meios relaciona-se com o **planejamento, execução e controle das operações construtivas** definidas pelos métodos e processos. O desenvolvimento dos meios está relacionado com a **criação e aperfeiçoamento** dos métodos e processos construtivos e dos materiais e componentes empregados na produção das estruturas, bem como da criação e aperfeiçoamento das técnicas de planejamento e controle das atividades produtivas.

A pesquisa de desenvolvimento tecnológico na Engenharia de Construção Civil é caracterizada por ser uma atividade investigadora, voltada para o desenvolvimento dos meios de produção de estruturas físicas. O seu objeto é a criação e aperfeiçoamento de novas tecnologias construtivas (ver 2.2.3), o seu escopo é o de produzir inovações tecnológicas (ver 2.2.3) na construção de estruturas físicas.

Portanto, a pesquisa de desenvolvimento tecnológico neste campo tem por objetivo a criação de novos produtos, métodos e processos e o aperfeiçoamento de produtos, métodos e processos existentes, geralmente através de inovações incrementais (ver 2.2.3).

A Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico na Engenharia de Construção Civil (PDTECC) compreende atividades de pesquisa aplicada e de desenvolvimento, anteriormente conceituadas (ver 2.2.1) e ainda atividades de engenharia (como atividade de planejamento, execução e controle de operações construtivas).

A pesquisa aplicada geralmente objetiva a criação e o aperfeiçoamento de métodos, processos, sistemas materiais e componentes e termina com a conclusão de um protótipo. A inclusão de atividades de engenharia, de caráter executivo, dentro da PDTECC se deve ao fato de que, normalmente, o protótipo de um processo ou de um sistema construtivo é a própria estrutura, em escala real. Mesmo que a PDTECC venha a produzir um único exemplar do protótipo, como por exemplo um edifício, ela não poderá construí-lo se prescindir das atividades de planejamento, execução e controle, próprios da engenharia de "canteiro". Além disto, a comprovação da viabilidade econômica de um novo método, processo ou sistema, exigência essencial para a complementação da PDTECC nesta área, só é possível com a construção do edifício em escala real e conseqüente avaliação do seu custo de produção. A inclusão das atividades executivas na PDTECC também se justifica pelo fato de que a exequibilidade de novas técnicas de planejamento e controle só podem ser comprovadas pela engenharia de "canteiro".

Do exposto, podemos concluir que uma dentre as principais atividades da Engenharia de Construção Civil é aquela denominada (ver.2.2.1) - PD&E - Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia, de: métodos e processos, materiais e componentes e técnicas de planejamento e controle (das operações construtivas) relacionados com a Construção Civil.

Não nos resta dúvida de que a Engenharia é uma atividade criativa. Uma atividade voltada para a solução de problemas e que visa diretamente a satisfação das necessidades humanas. Uma atividade intrinsecamente ligada à criação de tecnologia.

A Engenharia de Construção Civil, enquanto atividade envolvida na criação e aperfeiçoamento de tecnologias construtivas, dispõe da pesquisa de desenvolvimento tecnológico como instrumento de ação, como ferramenta de trabalho.

Iremos adotar uma definição para este específico tipo de pesquisa e procuraremos tornar evidente que a criação de novos e competentes métodos, processos e sistemas construtivos é improvável, senão impossível, sem a dedicação constante e profunda à atividade de PDTECC.

“PESQUISA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO na Engenharia de Construção Civil é uma atividade investigadora de caráter sistematizado, dirigida para a criação e aperfeiçoamento de métodos e processos e sistemas construtivos, materiais e componentes de construção e de técnicas de planejamento e controle das operações construtivas que representem efetivas inovações tecnológicas no setor.”

No entanto cabe ressaltar que a pesquisa é uma atividade complexa e difícil. É uma atividade que

deve ser cuidadosamente planejada, altamente organizada e efetivamente controlada para trazer resultados satisfatórios. É uma atividade que para ter uma razoável possibilidade de ser bem sucedida deve guiar-se por uma metodologia competentemente estruturada e empregar pessoal adequadamente capacitado.

Procuramos contestar neste item 2.2 a postura de determinados setores envolvidos com a construção de edifícios que encaram a pesquisa como uma atividade não própria do engenheiro civil. Acreditamos que, através de uma análise dos conceitos correntes de Pesquisa, Engenharia e Tecnologia, tenhamos mostrado que aquela postura carece de fundamento e que, ao contrário, há uma íntima ligação entre Engenharia e Pesquisa.

2.3 INDUSTRIALIZAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO

A criação de novos métodos, processos e sistemas construtivos e o aperfeiçoamento dos existentes, caracteriza a natural evolução dos modos de produção de edifícios.

Analisando-se a atividade de Construção Civil sob o enfoque econômico ela será sempre considerada como uma atividade industrial. Evoluir no sentido de aperfeiçoar-se como indústria é o caminho natural deste segmento. Ou seja, industrializar-se para a construção é sinônimo de evoluir.

O significado básico do termo industrialização é: "Ato ou efeito de industrializar-se." [Ferreira, 1975]. Conclui-se que o processo evolutivo, o desenvolvimento, o progresso da construção de edifícios possuem perfeita identidade com o termo industrialização. Colocando-se assim a questão, parece não haver muitas dúvidas sobre o significado deste termo. No entanto, não é isto que ocorre. Observa-se que não há um entendimento homogêneo entre o meio técnico sobre o conceito de Industrialização da Construção.

Para nós, o desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos é uma atividade integralmente incorporada ao Processo de Industrialização. Acreditamos assim, que para podermos formular e aplicar uma metodologia para o desenvolvimento dos modos de produção de edifícios, temos de compreender todas as facetas e estabelecer conceitos coerentes sobre aquele Processo e sobre a sua principal ferramenta - a Racionalização. Concordamos com o professor Cario Testa [1972], que afirma: "É da natureza da industrialização que somente quando todos os aspectos do processo são adequadamente operacionalizados é que o processo global se torna viável."

2.3.1 INDUSTRIALIZAÇÃO

Industrialização em seu sentido lexicográfico pode ser entendida como um processo voltado para o aperfeiçoamento do desempenho de uma atividade industrial. Porém, no segmento industrial da Construção Civil o termo adquire múltiplas conotações.

Os vários autores que têm estudado o assunto interpretam a industrialização de diversas maneiras. Alguns autores entendem-na como um processo que se caracteriza pela transferência da maioria das operações de construção do canteiro para instalações fixas (fábrica ou usina), associando assim a

industrialização com o processo produtivo próprio da indústria estacionária. Outros autores identificam-na com a estrutura organizacional pertinente aos demais ramos industriais. Alguns outros, sem a preocupação de estabelecerem conceitos genéricos, preferem associá-la com uma ou mais das muitas características inerentes à indústria estacionária: substituição de operações manuais por mecanizadas, repetibilidade das operações, fabricação em série; organização do trabalho operário, etc.

Os estudiosos que entendem a industrialização da construção como um processo que se desenvolve preponderantemente em fábricas acabam por identificá-la com a pré-fabricação [Trigo,1978]. Por exemplo, Orlandi [1979] estabelece a seguinte definição: “**Industrialização da construção** é um método de processamento industrial onde são pré-fabricados em usinas, ou eventualmente nos canteiros, componentes e elementos construtivos em condições de serem acoplados na execução das obras mediante operações de prevalente montagem.”. Trigo [1978], Dietz [Dietz & Cutler,1971] e Foster [1973] discordam de tal conceito, pelo fato dele apropriar uma idéia restritiva ao confundir pré-fabricação com industrialização ou porque ele é incoerente ao explicitar a necessidade da produção em fábrica.

Foster [1973] fundamenta sua argumentação com a adoção do conceito elaborado pela O.N.U. : “**Industrialização** é um processo organizacional caracterizado por: continuidade no fluxo de produção; padronização; integração dos diferentes estágios do processo global de produção; alto nível de organização do trabalho; mecanização em substituição ao trabalho manual sempre que possível; pesquisa e experimentação organizada integradas à produção.” De acordo com Foster, nenhuma destas características implica em que uma produção industrializada tenha de ser concomitante com uma produção em fábrica. Trigo [1978] destaca que a industrialização corresponde a uma noção muito mais vasta que a pré-fabricação, embora esta se constitua em uma manifestação típica daquela. Dietz [Dietz & Cutler,1971] faz ironia ao dizer que “Para uns (a industrialização) é meramente um subterfúgio para evitar o mau odor do termo “pré-fabricação.”.

A grande maioria dos autores que procuram estabelecer conceitos sobre o assunto caracterizam a industrialização como um processo essencialmente de organização da atividade produtiva através de diversos agentes. Examinemos algumas destas definições.

"Industrialização da construção é o emprego de forma racional e mecanizada de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas para conseguir uma maior produtividade." - Instituto Eduardo Torroja da Construção e do Cimento [Ordonez et alii,1974].

"Industrialização da construção é um processo que por meio de desenvolvimentos tecnológicos, conceitos e métodos organizacionais e investimentos de capital, visa incrementar a produtividade e elevar o nível de produção." - Carlo Testa [1972].

"Industrialização é uma ação organizacional, uma mentalidade. Significa transformar a empresa de construção de mentalidade artesanal em uma verdadeira indústria," - Ricardo Meregaglia [Ordonez et alii,1974].

Está implícita nestes conceitos a noção de que o processo de industrialização constitui-se em um modelo abstrato para o desenvolvimento racional da indústria da construção civil. As definições

posicionam que a evolução desta indústria deve ser implementada através de ações organizacionais e operativas, que objetivem aumentar progressivamente o nível de produtividade (relação entre a produção e a inversão de recursos) e o de produção. O desenvolvimento deve ocorrer, não só com a utilização de novos processos construtivos, novas técnicas e novos materiais, mas principalmente com o incremento progressivo no nível de organização da atividade de construção civil em todas as suas fases, do projeto ao uso do produto fabricado pela indústria. Foster [1973] coloca que: "Como um processo organizacional a industrialização pode ser aplicada a qualquer processo construtivo...".

Esta noção contraria o conceito que muitos técnicos, no Brasil, têm sobre a industrialização. Imagina-se que para industrializar ter-se-ia necessariamente que adotar novos e sofisticados processos de produção, verdadeiros sistemas construtivos, totalmente pré-fabricados, denominados "sistemas industrializados". Segundo esta concepção, somente com a utilização de tais processos ter-se-ia condições de se executar o salto tecnológico, evoluindo-se do atual estágio, essencialmente artesanal, para um outro que tenha um "status" industrial. Esta concepção equivocada do que seja industrialização tem conduzido, geralmente, à atitudes de imobilismo (porque a introdução de sistemas industrializados depende da garantia de continuidade de produção e esta depende de ações governamentais, que não se consubstanciam) ou, em total oposição, tem conduzido a atitudes apressadas e irrefletidas de se criar da noite para o dia novos "sistemas". Sistemas estes que, como em um passe de mágica, iriam retirar a construção civil de um estado caracterizado por uma caótica desorganização produtiva e elevá-la a uma posição consentânea com o atual desenvolvimento tecnológico dos outros ramos industriais. Cabe destacar que estamos aqui nos referindo à industrialização na construção de edificações habitacionais, que tem sido objeto de debate pelo menos nos últimos vinte anos no país.

Enquanto o conceito de industrialização não conta com um entendimento unânime, o de pré-fabricação é convergente. Principalmente porque a pré-fabricação é uma atividade produtiva bem definida, enquanto que aquela é um processo abstrato. A Associação Italiana de Pré-Fabricação define : "**Pré-fabricação** é uma fabricação industrial, fora do canteiro, de partes da construção, capazes de serem utilizadas mediante ações posteriores de montagem" [Ordonez et alii, 1974] . O Professor Lewicki estabelece uma definição um pouco diferente: "Por **Pré-fabricação** entende-se a produção de elementos de construção fora do seu lugar definitivo, tratando-se de elementos que na construção tradicional, se realizariam "in loco". Neste conceito o autor procurou excluir todos os componentes e elementos construtivos que são fabricados fora do canteiro mas que não são denominadas peças pré-fabricadas (janelas, peças sanitárias, telhas etc...). Ricardo Meregaglia, um dos pioneiros da pré-fabricação na Europa coloca que: "**Pré-fabricação** é só um meio importante, mas não decisivo para a industrialização da empresa de construção." (todas as definições foram transcritas do livro de Ordonez [Ordonez et alii, 1974]).

O professor Colin Davison estabeleceu um conjunto de axiomas, elaborados a partir da análise da experiência européia de industrialização intensiva da construção habitacional com o emprego de sistemas inovadores pré-fabricados, que serviu de subsídio para extensos debates nos Estados Unidos sobre a oportunidade de se promover a industrialização com base em processos de pré-fabricação pesada [Ordonez

et alii, 1974] :

- Quem se beneficia da industrialização? (deste tipo de industrialização) - A inovação sempre favorece ao promotor em primeiro lugar. Outros poderão beneficiar-se indiretamente;
- Sobre custos e preços - A industrialização, ainda que possa produzir economia em tempo, mão de obra, materiais e custos, dificilmente reduz preços;
- Sobre mudança tecnológica e organização - O inovador deve levar em conta que a tecnologia tradicional corresponde um padrão tradicional de organização. Uma nova tecnologia implica na mudança desta organização tradicional. Para que a industrialização tenha êxito é necessário uma organização harmônica com sua tecnologia e com as condições industriais;
- Sobre o gerenciamento - A industrialização é um processo. Para que tenha êxito exige-se necessariamente que o processo seja bem dirigido e coordenado.

Analisando estes conceitos desponta inicialmente a questão do beneficiário do processo de industrialização. Se bem conduzido, é evidente que o maior beneficiário é quem o promove. Principalmente em termos econômicos. O que é referendado também pelo segundo axioma, pois normalmente o preço do produto não se torna menor, mas sim o custo para produzi-lo. Porém o que mais se destaca na análise de Davison são os aspectos relacionados com a mudança na estrutura organizacional da atividade, afim de que a industrialização se realize e tenha êxito. Quanto a isto, Testa [1972] é enfático: " A essência da industrialização na construção de edifícios é a organização."

Considerando que o processo de industrialização constitui-se no próprio desenvolvimento da indústria de construção, o que pode induzi-lo? Warszawski [1977] , procura deixar claro que o motor natural deste processo é a tendência evolutiva existente na sociedade, a qual investe com o objetivo de se beneficiar dos resultados que podem daí advir. Segundo Warszawski, no caso da construção de edifícios, os benefícios seriam: economia do trabalho requerido na produção de uma unidade, incremento na produção, manutenção de um nível de qualidade especificado e redução do custo de produção. No entanto é óbvio que existam entraves que atrasam o desenvolvimento do processo.

Este processo evolutivo é observado em qualquer sociedade. No entanto, existem diferenças marcantes na velocidade com que evoluem as diversas sociedades e os diversos segmentos de uma mesma sociedade. Por diversas razões a construção civil tem uma velocidade (em todos os países) menor que as outras atividades industriais, mas ela evolui constantemente. Assim, como afirma Davison [1975] , não há sentido em se falar em construção não-industrializada. Este tipo de construção não existe (ou só existe em sociedades primitivas) pois as mais tradicionais formas de construção utilizam produtos industriais (tijolos, pregos, vidro, cimento, etc). O que existe são modos de se construir com diversos níveis de industrialização.

Observamos então que o caminho para a evolução, para a industrialização (ou como coloca Davison [1975] , para o aumento do nível de industrialização) passa necessariamente pelo desenvolvimento

dos modos de se construir em uso e criação de novos modos. Vale dizer, o desenvolvimento de: técnicas, métodos, processos e sistemas construtivos; de materiais e componentes e de técnicas de planejamento, controle e organização das operações construtivas.

Vê-se que estes desenvolvimentos coincidem com os objetivos da Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico na Engenharia de Construção Civil, definido no item 2.2.4. Ou seja, o caminho para a Industrialização deve ser trilhado em companhia da PDTECC.

Consideramos importante, para efeito deste trabalho, propor e adotar uma definição de industrialização que seja coerente com aquela concepção organizacional e evolutiva.

"INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva."

Acreditamos que os esforços no sentido de industrializar a construção civil devem ser conduzidos tendo por objetivo: Construir mais e melhores edificações pelo mesmo custo ou construir a mesma quantidade, com a mesma qualidade mas a um menor custo.

2.3.2 - RACIONALIZAÇÃO

A palavra racionalização não é um vocábulo de múltiplas interpretações. O seu significado é relativamente preciso, apesar de ser uma palavra de uso comum, talvez por ser suficientemente explícito: ação de tornar racional alguma coisa (um pensamento, um método de trabalho, um empreendimento qualquer).

Assim, racionalização da construção pode ser entendida como uma ação ou um conjunto de ações praticadas com o objetivo de tornar racional a atividade construtiva. E no fundo é justamente este o significado do termo. No entanto, a tentativa de obter-se um conceito simplificado esbarra na complexidade do conjunto de ações e no que se entende por "tornar racional".

Diferentes pessoas, utilizando a razão, encontram diferentes soluções para um mesmo problema. Qual a mais racional? Seria a que emprega uma maior quantidade de inteligência humana? Ou seria a mais eficiente para a solução do problema? Acreditamos que existe consenso em considerar que a mais eficiente é a mais racional. É a chamada solução ótima. Por conseguinte, a racionalização de uma atividade qualquer, que admite várias soluções, é um problema de otimização.

O que torna a racionalização da construção um processo complexo é que não é simples encontrar-se soluções ótimas para problemas com uma quantidade imensa de variáveis. As variáveis intervenientes

neste processo extrapolam o canteiro, como por exemplo, a ação normalizadora a nível governamental, ou mesmo dentro do canteiro, atingem uma dimensão difícil de ser equacionada, como a questão de qualificação da mão de obra operária.

Em decorrência, a racionalização da construção é concebida como um processo complexo, de fundamental importância para a atividade construtiva e com reflexos sociais e econômicos importantíssimos na sociedade como um todo.

Os objetivos da racionalização se confundem com os objetivos da industrialização (como conceituada em 2.3.1). Ambos são processos que pretendem aperfeiçoar a atividade construtiva buscando o desempenho ótimo. Acreditamos que a nível macro-econômico elas se confundem em inúmeros aspectos. No entanto, tratando o problema em uma escala local, a racionalização se constitui em uma ferramenta da industrialização, de uso essencial para a consecução dos objetivos que lhes são comuns. Ou seja, no esforço de industrializar a sua atividade construtiva os empreendedores irão empregar primordialmente as técnicas de racionalização. Esta racionalização "micro", iremos chamar de racionalização construtiva, e aquela "macro" de racionalização da construção.

A equação sugerida por Blachère, ex-diretor do CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment, Paris), e reproduzida por inúmeros autores que abordam o assunto [Bruna, 1976], estabelece uma relação direta entre industrialização e racionalização: $INDUSTRIALIZAÇÃO = RACIONALIZAÇÃO + MECANIZAÇÃO$. Se os empreendedores, no esforço de industrializar a sua atividade de construção, forem empregar inovações tecnológicas, é essencial que elas tenham sido desenvolvidas tendo por paradigma atingir-se a máxima racionalização. Por isso adotaremos como filosofia norteadora da metodologia proposta a obtenção da máxima racionalização (ver 4.1.1).

Examinemos alguns conceitos estabelecidos para a racionalização. No Primeiro Simpósio Latino Americano sobre Racionalização da Construção, ocorrido em Caracas em 1973 [Sarli, s./d.] foi proposta uma definição abrangente e recomendada a sua adoção:

"Racionalização da construção é o processo dinâmico que torna possível a otimização do uso dos recursos humanos, materiais, organizacionais, tecnológicos e financeiros, visando atingir objetivos fixados nos planos de desenvolvimento de cada país e de acordo com a realidade sócio-econômica própria."

O Centro de Estudos e Pesquisas para a Racionalização da Habitação (CETHAC), ao propor para o Banco Nacional da Habitação (BNH) diretrizes para a implantação de um Sistema de Racionalização da Construção Habitacional, procurou formular um conceito direcionador para o mesmo [BNH, 1978]:

"Racionalização da Construção é um processo dinâmico que se desenvolve e aperfeiçoa-se sistemicamente, em consonância com as características regionais e o marco de desenvolvimento do País, tendo por objetivo a otimização dos recursos materiais, humanos, organizacionais, tecnológicos e financeiros que intervêm na construção, em todas as suas fases".

Observa-se que ambos os conceitos (que são bastante semelhantes) possuem uma conotação macroeconômica. Se restringirmos estes conceitos a um empreendimento ou reduzirmos o alcance do processo a um nível local obteremos uma conotação microeconômica. Um exemplo do conceito de

racionalização construtiva é o estabelecido por Teixeira Trigo [Trigo, 1978] , atual diretor do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de Portugal:

"Racionalizar é aplicar, em matéria de organização, de planificação e de verificação, as técnicas adequadas à melhoria da qualidade e ao acréscimo da produtividade, fazendo o melhor uso dos meios humanos, dos materiais de construção e dos equipamentos e instalações."

É habitual a repetição de um chavão no meio especializado para definir sucintamente o que se entende por racionalização construtiva: "Racionalizar é eliminar desperdícios.". Este cliché, apesar de singelo, deixa explícita a razão de ser da racionalização: fazer o melhor uso dos recursos disponíveis.

Analisando todos estes conceitos, verificamos que eles convergem. Esta convergência manifesta-se na inequívoca formulação de um objetivo comum para o processo de racionalização das atividades de construção. O objetivo, claramente definido, é a otimização do uso dos recursos disponíveis em um dado instante e em um certo local.

No contexto deste trabalho, nos interessa definir **racionalização construtiva**. A racionalização da construção, como processo de abrangência global, envolve aspectos que não se coadunam com o que aqui se pretende. Para a compreensão da natureza e do alcance deste processo, pode ser consultado o trabalho do CETHAC [BNH, 1978]. Este organismo, criado há mais de vinte anos para equacionar e gerenciar a implementação de uma política estratégica para o setor (o que acabou não ocorrendo), propõe que a ação racionalizadora, para ser eficiente, deve ser implantada, de maneira integrada, em múltiplos setores. Esta abrangência é que torna o processo extremamente complexo. Por exemplo, deve-se atuar concomitantemente em campos tão díspares como: na formação de recursos humanos; nas indústrias de materiais de construção e de maquinário e equipamentos; na normalização e controle de qualidade; na legislação de uso do solo e atos normativos; nas pesquisas tecnológicas; nos processos e sistemas construtivos etc...

Assim iremos adotar o seguinte conceito:

"RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA é um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases."

2.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Ao nos propormos a formulação de uma metodologia para o desenvolvimento de processos construtivos, esbarramos inicialmente em questões conceituais essenciais: O que é metodologia? Como uma metodologia pode auxiliar a atividade de pesquisa de desenvolvimento tecnológico? Há realmente necessidade de se dispor de um corpo metodológico para se conduzir uma pesquisa neste campo? O valor

do emprego de uma certa metodologia pode ser quantificável, de modo a justificá-la?

Consideramos ser de fundamental importância para o equacionamento de uma metodologia apropriada ter, em princípio, estas questões suficientemente claras. Por conseguinte, iremos discuti-las.

O significado morfológico do termo metodologia é o estudo ou tratado dos métodos. Com este sentido a metodologia pode ser assim conceituada: “Disciplina cujo objetivo consiste em analisar as características dos vários métodos disponíveis, em avaliar suas capacidades, potencialidades, limitações ou distorções e em criticar os pressupostos ou as implicações de sua utilização.” [Thiollet, 1983].

Mas, a par de ser uma disciplina que estuda os métodos, a metodologia tem um outro significado. O qual corresponde a uma das acepções do Aurélio [Ferreira, 1975] - "Arte de dirigir o espírito na investigação da verdade". Que se traduz como a maneira de se conduzir uma pesquisa ou a maneira de abordar um problema de modo a solucioná-lo. É ainda a arte de tomar decisões no processo de criação.

Cabe esclarecer que não está no escopo deste trabalho fazermos uma análise sobre os possíveis métodos de pesquisa. Assim, ao discorrermos sobre uma determinada metodologia estaremos exclusivamente atribuindo-lhe a segunda conotação.

Metodologia não é método. Este pode ser definido como: "um procedimento regular, explícito e passível de ser repetido para conseguir-se alguma coisa." [Villoro, 1980]. Metodologia não é apenas uma seqüência de procedimentos ou um conjunto de regras, mas, um corpo doutrinário de preceitos de como conduzir uma investigação. A metodologia não diz exatamente como se pode criar algo, não é uma prescrição que irá garantir a obtenção de um produto. Mas estabelece fundamentos sobre a melhor maneira de encarar um determinado problema e de como fazer uso eficaz das técnicas disponíveis.

O objetivo de uma metodologia é o de estabelecer uma orientação efetiva ao pesquisador que dela se utilizar em um certo processo investigativo, possibilitando-lhe tomar decisões oportunas e selecionar as hipóteses, técnicas e dados mais adequados. E não simplesmente estabelecer um roteiro a ser seguido, como é próprio do método. O domínio da metodologia introduz a visão do conjunto.

Hegenberg [1976] transcreve o que Ackoff entende ser o objetivo principal da metodologia em uma investigação científica: “O objetivo da metodologia é o aperfeiçoamento dos procedimentos e critérios utilizados na pesquisa, visando alcançar os mais elevados padrões de controle na investigação científica.”.

Thiollet [1983] faz algumas considerações interessantes sobre a relação pesquisador - metodologia: “O pesquisador precisa de uma metodologia que o torne capaz de distinguir o que realmente interessa naquele caos aparente da realidade circundante.” e “Além da função da metodologia no direcionamento da investigação ela tem também um papel importante na formação do espírito científico e crítico dos pesquisadores”.

Por outro lado Hill [1970] prefere destacar a importância da adoção de uma metodologia: "O projeto de um produto, processo ou sistema, tem um grande número de objetivos que lhe são impostos incluindo custo, tempo, exequibilidade, desempenho, produção, estética e aprovação. Estes múltiplos objetivos requerem que o projeto siga uma metodologia para assegurar que algo realmente utilizável irá resultar e que tenha chance de sucesso no mercado.".

Villoro, no tratado de epistemologia de Bunge [Villoro, 1980], destaca que: "O homem inventou um mundo de procedimentos para fazer de tudo, desde naves espaciais até teorias sobre teorias. Alguns desses procedimentos são regulares e foram formulados explicitamente como outros tantos conjuntos de regras. Neste caso costumam ser chamados de métodos. Nem toda atividade racional, porém, foi regulamentada. Em particular ninguém encontrou e talvez nem possa encontrar métodos (ou conjunto de regras) para inventar coisas ou idéias. A criação original, ao contrário das tarefas rotineiras, não parece ser regulamentável. Em particular, não há métodos (regras) para inventar regras (métodos).".

Para criar-se uma inovação tecnológica não existe um conjunto de regras infalíveis. No entanto, é perfeitamente cabível a existência de uma metodologia direcionadora do processo de criação.

Com base nestes conceitos podemos formular uma definição de metodologia de pesquisa, a qual adotaremos neste trabalho:

“Uma METODOLOGIA DE PESQUISA é um conjunto de preceitos de como conduzir uma investigação em um determinado campo do conhecimento. Uma metodologia tem por objetivos: direcionar a pesquisa de modo a obterem-se produtos coerentes com os princípios gerais pré-estabelecidos e orientar o pesquisador no processo decisório e na seleção dos fatores que importam.”

Sem a adoção de uma metodologia apropriada o desenvolvimento de MPSCConst. apresenta uma probabilidade limitada de sucesso. Por ser uma atividade de superior complexidade, caracterizada por uma destacada multiplicidade de fatores intervenientes, a sua condução sem um disciplinamento metodológico adequado torná-la-á normalmente improdutiva, ineficaz, insatisfatória.

Atividades de geração de inovações tecnológicas simples podem ser conduzidas de modo empírico e mesmo assim terem sucesso. A probabilidade de que isto ocorra quando o produto a ser criado é complexo é muito baixa e o emprego de uma metodologia adequada faz-se imprescindível, nesta situação. Esta metodologia para ser apropriada devesse: estabelecer os paradigmas que irão direcionar o processo de desenvolvimento do produto, deixar explícita a filosofia na qual se fundamenta e sugerir uma estratégia de ataque do problema que servira de orientação geral para o encaminhamento do processo criativo.

Se não se dispuser de um disciplinamento metodológico adequado, muitos problemas poderão ocorrer. Os quais, certamente, contribuirão para dificultar o processo de criação de inovações tecnológicas complexas. Por exemplo, ao se equacionar os objetivos a serem atingidos, é provável que deixem de ser considerados alguns fatores importantes para a obtenção de soluções eficazes. Isto como decorrência de um possível desconhecimento da amplitude do problema, da ignorância da totalidade dos parâmetros condicionantes, em suma, da ausência de uma visão global. A adoção de uma metodologia tem o mérito de permitir um equacionamento coerente e completo do problema a ser enfrentado. Ainda, como exemplo, ao

planejar-se o processo de desenvolvimento, sem estabelecer-se previamente as etapas que deverão ser trilhadas e as atividades específicas que deverão ser executadas, poder-se-á facilmente enveredar por caminhos mal delineados, inconseqüentes, tortuosos e, assim, dispersar esforços e recursos. O emprego de uma metodologia que explicita a estratégia mais eficaz e produtiva para o direcionamento do processo, permite estabelecer previamente um planejamento coerente, linear e racional.

CAPITULO 3

DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS, PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Os objetivos claros e irrefutáveis da atividade de desenvolvimento dos modos de construir são os de incrementar a produtividade, otimizar o uso de recursos e elevar o nível de produção da construção civil. Na realidade, a atividade é, no plano técnico, a principal indutora da industrialização da construção civil, o que vale dizer, do progresso neste campo. Daí, a sua importância.

No entanto, para que aqueles objetivos possam ser atingidos é essencial que o desenvolvimento de MPSCConst. seja conduzido de forma coerente com as especificidades de uma atividade de inovação tecnológica. Esta condução deve ser feita a partir de uma plena compreensão e respeito às características intrínsecas de uma atividade voltada para a geração e implementação de idéias e em um ambiente propício à germinação, floração e crescimento das mesmas.

Assim, neste capítulo iremos abordar alguns aspectos relativos a este tema, no sentido de definir melhor os contornos do campo, no qual, a metodologia que propomos, se encaixa. Procuramos ampliar aqui, no item 3.1, a discussão iniciada no capítulo anterior sobre a produção de tecnologia limitando-a, porém, ao campo de MPSCConst. No item 3.2 discutimos a abordagem sistêmica do problema e a criação de novos processos e sistemas construtivos para edifícios.

Apesar da ligação íntima entre o desenvolvimento de MPSCConst. e a industrialização da construção de edifícios, não cabe neste trabalho uma análise sobre os mecanismos, a oportunidade, as vantagens e desvantagens, os entraves e todas as outras variáveis relacionadas com a implantação da industrialização no Brasil. Entretanto, entendemos ser oportuno, para uma definição melhor dos limites de emprego da metodologia, classificarmos os processos e sistemas construtivos segundo o grau de industrialização que apresentam (item 3.3).

3.1 PRODUÇÃO DE TECNOLOGIA

**"Building is the slowest of man's arts to change and
the last of the crafts."**

Buckminster Fuller [Ordonez et alii, 1974]

Criar inovações tecnológicas na construção de edifícios pode, para muitos, parecer bastante simples. Basta ter uma idéia original, materializá-la no papel (no que se denomina projeto) e aplicá-la na construção de edifícios. E pronto, mais uma solução "sensacional" para antigos problemas estará disponível. Evidentemente, para quem se dispuser a assumir os riscos.

Parece não ocorrer, para uma grande maioria das pessoas, que um novo modo de construir tem, necessariamente, de apropriar um elevado "quantum" de tecnologia, para realmente representar uma solução, ao invés de se constituir em apenas mais uma idéia mágica. Parece não ocorrer, mesmo aos

técnicos da área que, sem pesquisa de desenvolvimento tecnológico, o avanço é inconsistente. Apesar de que, estas mesmas pessoas compreendem que sem investimentos em pesquisa de desenvolvimento é totalmente improvável a evolução em outros campos, quer seja nas áreas industriais de ponta como a eletrônica, a química, a mecânica, quer seja nas áreas de grande inércia para absorver novas mudanças (do mesmo modo que a construção de edifícios), como a indústria têxtil e a agricultura.

Assim, é natural para alguns aceitar que basta criarem-se condições de mercado para, instantaneamente, brotarem do nada novas tecnologias construtivas aptas a apresentarem soluções adequadas para problemas que há muito tempo não as possuem.

É interessante observar que as pessoas que assim pensam consideram que empiricamente não é possível criar atualmente nenhuma inovação nos diversos campos de conhecimento. Salvo na construção civil, na qual consideram que a partir da experiência prática de uns tantos iluminados é possível da noite para o dia descobrirem-se novos produtos e processos.

Os técnicos que justificam a "filosofia" do empirismo como ferramenta de progresso (só no campo da construção) teimam em não entender que para se evoluir na construção civil o caminho passa necessariamente pelo desenvolvimento tecnológico, executado com base em princípios técnicos, à custa de investimentos significativos e segundo uma metodologia tecno-científica (não-empírica) adequada. Como em qualquer outra atividade atual.

Neste item iremos discutir o modelo de desenvolvimento que consideramos mais favorável para permitir o surgimento das condições adequadas para a utilização com sucesso da metodologia proposta.

3.1.1 A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

De acordo com Longo [1984] , "A produção e comercialização de bens e serviços, não exigem somente o emprego de capital, mão de obra e matéria prima, como considerado tradicionalmente. Antes de mais nada necessita-se de tecnologia, que deve ser considerada a parte, como o quarto fator de produção.". A tecnologia é considerada um bem econômico, um bem com alto valor de mercado, devido principalmente aos altos custos para sua produção e a valorização que possui em face da grande demanda.

A construção de edifícios dispõe de tecnologias já sedimentadas, desenvolvidas ao longo do tempo e de forma quase sempre empírica. Estas tecnologias variam de um local para outro, e por serem o resultado de tradições construtivas regionalizadas, recebem a denominação genérica de tecnologia tradicional e são restritas a um dado local.

Entretanto, estas tecnologias caracterizam-se por terem condições de produção amplamente insatisfatórias para uma vasta gama de aplicações. Condições de produção que se traduzem normalmente por uma baixa produtividade (de todos os recursos envolvidos), baixo nível de produção e exigência de um grande volume de mão de obra especializada.

Assim, existe, de forma latente ou gritantemente aflorada , a necessidade de tecnologias alternativas que apresentem condições de produção mais adequadas que as da tecnologia em uso.

Tecnologias que, incorporando um maior cabedal de conhecimentos técnico-científicos, em substituição aos empíricos, possibilitem o incremento do nível de produção e da produtividade (dimi-

nuindo, portanto, o tempo em que os recursos permanecem indisponíveis) e a redução da dependência de mão de obra especializada. Ou seja, tecnologias que promovam uma otimização dos recursos existentes naquela sociedade e naquele momento. E, por conseqüência, reduzam o custo, os prazos e (ou) melhorem o desempenho do produto. Ou no dizer de Sullivan [1980] "...aumentem o desempenho por unidade de recurso investido seja ele energia, tempo ou material, ou sua tradução em uma unidade monetária equivalente...".

Na construção de edifícios a evolução tecnológica passa pela criação ou aperfeiçoamento de: materiais e componentes, procedimentos operacionais e procedimentos organizacionais (planejamento, administração e controle das operações construtivas).

Um degrau é escalado no íngreme caminho da evolução tecnológica quando passa a ser efetivamente empregado um MPSCConst. que incorpore ganhos sensíveis em termos de condições de produção, decorrentes da criação ou do aperfeiçoamento dos fatores citados. Este MPSCConst. é então considerado como uma inovação tecnológica (ver 2.2.3) e caracteriza-se por ser uma inovação incremental.

A atividade levada a efeito para a obtenção desta inovação tecnológica foi por nós denominada - Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico na Engenharia de Construção Civil (PDTECC, ver 2.2.4). No caso particular em que a atividade se volta para a criação e o aperfeiçoamento de MPSCConst. é denominada Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico de MPSCConst. ou simplesmente Desenvolvimento de MPSCConst.

Faz parte do processo de geração de tecnologia a incorporação de tecnologias desenvolvidas externamente. No entanto, esta é uma prática que só pode ser aceita, quando se referir a uma tecnologia construtiva, se esta passar por uma adaptação integral aos condicionantes locais. O que significa, ser aperfeiçoada através de uma pesquisa de desenvolvimento tecnológico específica, na sociedade que a utilizará.

Diferentes autores não recomendam a simples transferência de tecnologia neste campo, por diversas razões. Safdie, no prefácio do livro de Sullivan [1980] - "Industrialization in the Building Industry", afirma: "Não há soluções universais ou padronizadas. As tecnologias construtivas não são transferíveis de lugar para lugar, do mesmo modo que não o são as características ambientais. Os sistemas têm de ser adaptados a uma particular cultura e a economia local". Majzub [1986], justifica o desenvolvimento regionalizado após uma análise da experiência européia: "Uma das mais importantes razões do sucesso dos sistemas europeus pré-fabricados é que eles são resultados de uma evolução endógena dos processos construtivos até então existentes localmente (não são produtos importados ou produzidos com técnicas importadas)." (grifo nosso). O Professor Herrera, citado por Lucini [1985] , defende esta geração endógena de tecnologias, justamente porque ela tem o mérito de criar os paradigmas próprios para o desenvolvimento tecnológico local e estabelecer um marco de referência particular.

Argumentação semelhante é empregada por Fleury [1987], que destaca a importância que a geração interna possui, devida à aprendizagem tecnológica que ela traz e que resulta na capacitação tecnológica da indústria local (capacidade de criar inovações). O Banco Nacional da Habitação [BNH, 1978] afirmava, já em 1978, antes portanto das experiências em larga escala feitas com o emprego de processos construtivos importados [Picarelli, 1981], em Itaquera-SP, que: "A adoção de tecnologias

importadas, sem adequação às nossas condições, tem causado retrocesso, principalmente pelas repercussões de seus fracassos no desenvolvimento de tecnologias apropriadas.". Paul Singer [Singer, 1987] analisa o problema sob o enfoque econômico e conclui que: "...a importação de inovações tecnológicas pelos países não-desenvolvidos seria irracional pois, essas inovações foram geradas numa situação econômica completamente diferente e obedecem a uma racionalidade que não se aplica àqueles países ...".

Estas colocações corroboram a afirmação anterior sobre a incorporação de tecnologias externas, que pode até ser feita, mas somente após passar por um estágio de adaptação integral que a coloque na rota da evolução tecnológica local. O que na realidade, significa que ela deve ser submetida a todo o processo de desenvolvimento de MPSCnst. para que passe, a partir de então, a representar uma inovação tecnológica verdadeiramente válida para a sociedade onde ela irá ser implantada.

Como visto em 2.3., evoluir, para a construção de edifícios, confunde-se com o conceito da industrialização da atividade de construção civil. No entanto, o desenvolvimento de MPSCnst. de elevados graus de industrialização não garante que haja um incremento no estágio de industrialização de uma dada sociedade. Para que isto ocorra é necessário o desenvolvimento de todo o setor produtivo da construção de edificações, requer que todo o processo da construção seja tornado mais eficiente e isto normalmente implica em mudanças estruturais profundas. Cutler [Cutler & Cutler, 1974] reconhece este fato ao afirmar que: "O problema essencial da industrialização (que dificulta a sua implantação) é que a organização, as atitudes e a estrutura da indústria de construção de edifícios é não-técnica.". Acreditamos que este conceito é também válido para o Brasil, hoje. A nível micro, entendemos que a grande maioria das empresas construtoras precisa estruturar-se diferentemente, para poder evoluir no caminho da industrialização (ver 3.1.2) quando da adoção de novos e aperfeiçoados MPSCnst. Deve ser lembrado que a essência da industrialização é a organização, não apenas do meio de produção empregado (MPSCnst.) mas também do organismo produtor.

Apesar de não ser o objetivo do trabalho discutir a industrialização, como foi colocado anteriormente, somos levados a lembrar que uma pesquisa de desenvolvimento tecnológico em MPSCnst. para ser bem sucedida, necessita que o MPSCnst. seja efetivamente implantado e, para que isto ocorra, o setor industrial de construção de edifícios devesse participar do processo de desenvolvimento (ver 4.2.2). Existe então uma ligação muito forte entre a estrutura organizacional das indústrias do setor e o desenvolvimento de MPSCnst. E este é um fator que não deve ser esquecido ao se trabalhar na criação de inovações tecnológicas neste campo. Deste modo, deve-se analisar e compreender o desenvolvimento de MPSCnst. apenas como mais um passo na senda da evolução tecnológica da construção civil.

3.1.2 O SETOR DE DESENVOLVIMENTO DE MPSCNST.

Da análise da experiência pregressa com a introdução no país, nos últimos 20 anos, de processos construtivos inovadores na construção habitacional popular podemos extrair lições importantes.

Estes processos, empregados quer em caráter experimental, quer na produção em escala de edifícios habitacionais, de Narandiba a Itaquera, se caracterizaram, com raras exceções, por um aspecto comum: Ou foram "inventados" da noite para o dia ou foram importados de outros países, sofrendo apenas

pequenas adaptações para uso local (ou nem mesmo isto). E os resultados são facilmente observáveis: inadequado desempenho, principalmente em termos de habitabilidade, normalmente inferior ao apresentado pelos processos tradicionais; degradação da qualidade em relação ao processo tradicional o que é paradoxal pois, os processos industrializados favorecem a implantação de controle de qualidade; soluções de baixo nível de racionalidade construtiva; incapacidade de atendimento do trinômio custo-prazo-qualidade, de modo compatível com os objetivos previamente estabelecidos e que justificavam o emprego de novos processos em substituição aos existentes. Em uma única palavra - insucesso.

A par das inúmeras razões que são lembradas para explicar este insucesso, destacamos aquela citada característica comum a tais processos: eles não tiveram por origem um processo de desenvolvimento tecnológico apropriado. As razões que explicam o porquê deste fato ter-se consolidado como regra geral têm um espectro muito variado. Este inicia-se pela inexistência de um senso sobre a necessidade de se promoverem pesquisas de desenvolvimento tecnológico no campo dos processos construtivos. Passa por fatores tais como: existência de facilidades para a compra de tecnologia estrangeira, escassez de recursos humanos habilitados e ausência de ambientes propícios para a implementação de pesquisas. E atinge situações insatisfatórias ditadas pelo mercado, como a demanda intempestiva ou descontínua, como nos exemplos do projeto Modelar, da COHAB-SP [Construção-SP, 1986] e de Narandiba [Construção-SP, 1978].

É com surpresa que constatamos que até hoje não temos, no Brasil, sistemas construtivos para determinados tipos de edifícios, de elevado grau de reprodutibilidade e com condicionantes bem definidos e uniformes, como escolas, creches, postos de saúde, etc. como é comum em outros países (os sistemas mais bem sucedidos em todo mundo estão voltados para a construção destes tipos de edifícios [Testa, 1972]). As exceções, como o processo dos "Brizolões" demonstram fortemente pelos resultados que apresentam (no exemplo, custos excessivos devido, entre outras razões, ao baixo nível de racionalização construtiva), a precariedade da pesquisa de desenvolvimento tecnológico praticada no país, no campo de MPSCConst. para edifícios comunitários.

Estas colocações são aqui feitas porque traduzem uma evidência clara de uma realidade notória: o reconhecimento de que praticamente inexistente um setor atuante de desenvolvimento tecnológico de MPSCConst. no Brasil. Um exame aprofundado desta problemática foge ao contexto deste trabalho. Contudo, acreditamos ser importante apresentarmos um esboço do que entendemos por Setor de Desenvolvimento Tecnológico de MPSCConst (SDTS), a fim de, circunstanciar o ambiente de pesquisa que consideramos mais apropriado para que a metodologia que propomos possa ser efetivamente implementada.

Em uma primeira análise poderíamos definir o setor como constituído pelos seguintes organismos: Departamentos (internos) de Pesquisa Tecnológica em empresas dos segmentos industriais relacionados com a construção civil (fabricantes de materiais de construção civil, construtoras, fabricantes de sistemas pré-fabricados, etc); Departamentos de Pesquisa dos órgãos contratantes da construção de edifícios (basicamente instituições governamentais); Institutos de Pesquisa (geralmente instituições governamentais e multidisciplinares); Universidades e entidades a elas vinculadas (Fundações de Pesquisa) e as Empresas de Serviços de Engenharia (Engenharia Consultiva).

A formação do SDTS como um aglomerado dos organismos relacionados, cada um trabalhando independentemente, não tem, a nosso ver, características adequadas para promover uma evolução significativa em termos de MPSCConst., utilizando, como meio, a produção de reais inovações tecnológicas. Na realidade a situação atual é exatamente esta - não tem havido evolução expressiva, apesar da existência de todos estes organismos e de bem ou mal eles estarem desenvolvendo pesquisas no campo. Alguns aspectos, que justificam por que o setor assim estruturado, não tem apresentado a eficácia desejada, se destacam.

Inicialmente, deve-se considerar que: "A tecnologia como tal só existe dentro dos processos de produção." (Ernesto Sabato, citado por Lucini [1985]). Ou como coloca Fleury [1987]: "O cerne do processo tecnológico é a empresa industrial, pois é neste contexto que a tecnologia passa do plano abstrato para o concreto. ... Outros tipos de instituições são coadjuvantes no processo tecnológico...". Assim, é fundamental que o segmento industrial, formado pelas construtoras, que irá empregar o MPSCConst. faça efetivamente parte do SDTS.

Entretanto, inúmeros fatores ligados à realidade brasileira atual na área de construção de edifícios fazem com que apenas um específico e reduzido grupo de empresas participem do processo. Dois dos mais importantes fatores, normalmente decisivos e excludentes, são: o nível do investimento necessário que dependendo do objeto a ser desenvolvido (por exemplo um sistema construtivo) é incompatível com o faturamento da empresa e a estrutura organizacional requerida que, pela sua especificidade, não se enquadra dentro do modelo empresarial atualmente praticado pelas construtoras. Dentre as empresas que atuam no SDTS, e o fazem através de um Departamento de Desenvolvimento interno estão as que se dedicam a comercializar MPSCConst., como por exemplo, as que vendem (e constroem) sistemas pré-fabricados para edifícios industriais (Consid, Munte, Cinasa, etc).

As indústrias produtoras de materiais e componentes para a construção civil estão normalmente em desarmonia com a construção de edifícios. Elas orientam-se por critérios próprios [Bruna, 1976] e operam de forma não cooperada com os demais organismos do setor.

Os Institutos de Pesquisas, os Departamentos de Pesquisa de órgãos contratantes e as Universidades, que normalmente possuem a infra-estrutura adequada para a condução de pesquisas de desenvolvimento, ao trabalharem isoladamente, não integrados ao sistema produtivo e não tendo compromissos com a comercialização, não se constituem em ambientes ideais para o desenvolvimento de MPSCConst. Isto, por estarem dissociados da produção e da comercialização o que é naturalmente incompatível com a produção de tecnologia neste campo [Longo, 1984], e com a própria conceituação de inovação tecnológica (ver item 2.3).

As empresas de serviço de engenharia, no caso da construção de edifícios, têm tido historicamente uma participação pouco representativa em termos de desenvolvimento na área, o que não surpreende pois, como constatou Gama (citado por Fleury [1984]), em uma análise encomendada pela Secretaria de Tecnologia Industrial sobre o comportamento tecnológico destas empresas, elas possuem pouca relevância no processo de desenvolvimento tecnológico nacional.

Verificamos então que: a) os organismos do setor ligados diretamente com a produção, com raras exceções, não estão capacitados a desenvolver tecnologia (principalmente por deficiência organizacional) e b) todos os outros organismos não estão (também com poucas exceções) associados ao sistema produtivo e

por consequência incapacitados de completar o ciclo de desenvolvimento de MPSCConst. (ver 4.2.2).

Entendemos que para ter a eficácia desejada, o SDTS deveria ser composto por organismos que, através de um trabalho cooperativo, estabelecessem a totalidade das condições necessárias para, de início, acertar o passo e, posteriormente, acelerar a evolução tecnológica no campo de MPSCConst.

De acordo com esta concepção, consideramos que uma estrutura adequada para o SDTS seria composta por três núcleos:

- Departamentos internos de desenvolvimento tecnológico em empresas dos segmentos industriais relacionados com a construção civil;
- Centros de P,D&E (ver 2.2.2), mantidos por consórcios de empresas construtoras e organismos governamentais e atuando em cooperação com o sistema produtivo;
- Convênios cooperativos entre Universidades (e ou Institutos de Pesquisa governamentais) e o sistema produtivo.

Os dois últimos, que se distinguem pelo caráter cooperativo, adquirem, por isto mesmo, condições propícias para a condução do desenvolvimento tecnológico no setor. O núcleo de Centros de P,D&E, inédito no segmento da indústria de construção, corresponde ao que Rattner [1987] designa por "Centros de P&D consorciados" e Longo [1984] classifica como "fábricas de tecnologia". Fleury [1987] identifica-os como Centros Tecnológicos e relaciona em seu trabalho os já existentes em outros setores industriais.

O convênio cooperativo Universidade (e ou Institutos de Pesquisa) - sistema produtivo, apesar de não ser inédito (por exemplo o processo construtivo desenvolvido através da metodologia proposta, ver capítulo 5, é resultado de um convênio deste tipo), é um segmento ainda pouco explorado, por estar sendo agora "descoberto" pela indústria da construção civil. Entretanto ele se apresenta como um dos mais promissores, principalmente, porque as Universidades e os Institutos de Pesquisa detêm um nível superior de competência tecnológica e porque estas instituições têm uma maior oportunidade de aglutinar o fator essencial para se promover o desenvolvimento de MPSCConst. - o material humano adequadamente capacitado.

3.2 O CAMINHO PARA O DESENVOLVIMENTO

"The theory still current among architects, advocating that every architect should evolve his own system, looks grotesque against the background of an organization needed for the development and the operation of a building system, and in view of the heavy financial outlay involved."

**Thomas Schmid & Carlo Testa
[Schmid & Testa, 1969]**

Sem um considerável incremento no nível de produtividade da indústria de construção de edifícios

não é viável imaginar-se uma solução para os grandes problemas habitacionais do país. E este incremento só pode ser obtido através de um considerável esforço de desenvolvimento tecnológico. Estas afirmações, de um documento da Organização das Nações Unidas, de 1966, citado pelo Professor Paulo Bruna [Bruna, 1976], vêm ao encontro do que acreditamos e defendemos. Neste esforço há a necessidade de se trilhar um caminho que passa pelo desenvolvimento e implantação, por opção do mercado, de novos e aperfeiçoados MPSCConst.

Este particular caminho, em nossa opinião, deve se estruturar em uma metodologia adequada e que tenha a específica finalidade de orientar a criação e o aperfeiçoamento dos processos de produção de edifícios. Uma metodologia com estas características deve se fundamentar em uma abordagem sistêmica do problema-objeto, o desenvolvimento do MPSCConst.. Para o correto entendimento do significado desta maneira de abordar um problema é necessário discutir a sua conceituação, o que faremos no item 3.2.1.

O caminho para o desenvolvimento adentra por um amplo contexto. Diversos aspectos relativos a este contexto e abordados asistematicamente nos itens anteriores precisam ser enfocados conjuntamente para melhor explicitá-lo e assim facilitar a compreensão do posicionamento nele, da metodologia proposta. No item 3.2.2 procuramos esclarecê-lo, através da resposta a algumas indagações basilares.

3.2.1 A ABORDAGEM SISTÊMICA

Sistema, como visto em 2.1.4, é um termo com múltiplos significados. Além de ser um conjunto de partes inter-relacionadas tem também o sentido, conforme a definição do Instituto de Pesquisas Espaciais [INPE, 1972] de: "Sistema é um conjunto de procedimentos, doutrinas, idéias ou princípios, logicamente ordenados e coesos, com intenção de descrever, explicar ou dirigir o funcionamento do todo." .

A abordagem sistêmica ou enfoque sistêmico (ou enfoque de sistema - "system approach") é um conceito relacionado com este significado, no qual a visão de conjunto sobrepuja a visão analítica das partes. Podemos defini-la por:

“ABORDAGEM SISTÊMICA é o modo de focar e conduzir a resolução de um problema com a visão do conjunto (visão holística).”

Walker [1984] afirma que: " A abordagem de sistema é essencialmente uma forma de raciocinar a respeito de processos complexos, de modo que as inter-relações entre as partes e suas influências sobre a efetividade de todo o processo possam ser melhor compreendidas, analisadas e desenvolvidas." .

Na abordagem sistêmica o objetivo básico é a otimização do todo, ficando a otimização das partes condicionada ao rendimento ótimo do todo. Orlandi [1986] resumiu as principais características que um enfoque sistêmico deve apresentar, ao ser empregada na resolução de problemas:

- Disciplinamento do bom senso e da intuição através de um processo lógico e de uma análise formal e metodológica do problema;
- Estudo do problema como um todo, com a preocupação de análise do interfaceamento das partes componentes;

- Reunião de uma equipe inter-disciplinar que se expresse com o emprego de uma linguagem comum entre os diversos especialistas;
- Subordinação a um processo iterativo de reavaliação contínua dos objetivos a cada etapa do trabalho;
- Inter-relacionamento do sistema com o seu meio ambiente (que é uma condicionante essencial nos sistemas abertos).

O enfoque sistêmico implica no ataque de um problema com o mais alto nível de percepção dos fatores intervenientes. Esta maneira de encarar um problema é estudada em um ramo da ciência relativamente novo (estruturado por Von Bertalanffy em seu livro "Teoria Geral de Sistemas", em 1969, de acordo com Walker [1984]). Na indústria da construção o emprego deste enfoque é bastante recente, mais que em qualquer outro setor, de acordo com Sebestyên [1980].

A abordagem sistêmica pode ser empregada na resolução de qualquer tipo de problema. Problemas simples, afeitos a sistemas com um pequeno número de componentes, podem ser resolvidos com enfoques não sistêmicos. Porém, para a resolução de problemas complexos que se constituem em sistemas com um número muito grande de critérios condicionantes e de restrições ou com uma ampla gama de variáveis ou ainda em um sistema com um extenso espectro de variação nas entradas ("inputs") ou nas saídas ("outputs"), o emprego da abordagem sistêmica passa a ser essencial para atingir-se a solução ótima (meta de qualquer problema, ver 4.1.1). Sem a visão do conjunto balizando o processo solucionador, dificilmente será encontrada a melhor solução para o problema, ou mesmo uma solução com graus aceitáveis de eficiência e confiabilidade. O'Connor [O'Connor, Rusch & Schulz, 1987] sintetiza a discussão em: "Os problemas de Engenharia são frequentemente acessados em partes, mas as soluções necessitam ser holísticas."

O desenvolvimento de MPSCnst. é sempre um problema com um nível elevado de complexidade. Menos complexo, se o objeto do desenvolvimento for um método construtivo e de extrema complexidade se for um sistema construtivo (ver 2.1). Além da natureza intrinsecamente complexa de um MPSCnst., ele, em uso, deverá ser parte integrante de um sistema de grandes proporções e de intrincadas relações - o processo da construção civil (ver 4.1.2.1.1). Assim, além da percepção e consideração das inúmeras inter-relações entre seus componentes internos, para a resolução do problema deverão ser consideradas, de maneira integrada, uma considerável quantidade de variáveis externas.

De acordo com Warszawski [1977]: "O desenvolvimento de um processo de produção (de edifícios) deve ser feito em vista de considerações de ordem tecnológicas, gerenciais, econômicas, arquitetônicas, etc". Para que estas citadas considerações, mais as de natureza político-sociais, mercadológicas, empresariais, etc., sejam adequadamente creditadas é fundamental que o problema seja enfocado com uma visão de conjunto, sob pena de, em não sendo assim, atingir-se uma solução limitada, irreal, inconsistente, insatisfatória.

Para se operacionalizar o enfoque sistêmico no desenvolvimento de MPSCnst. há que se utilizar

de um ferramental adequado. Este ferramental é a metodologia específica destinada a conduzir a pesquisa de desenvolvimento. Uma metodologia que seja concebida tendo por objetivo induzir uma visão do conjunto, pode ser entendida como uma metodologia sistêmica.

Para que uma metodologia tenha este caráter ela deve se fundamentar em diretrizes que incorporem a visão holística e propor uma estratégia para o ataque do problema que conduza a sua resolução de modo a possibilitar a efetiva consecução de uma solução globalmente otimizada.

A metodologia proposta, que tem por filosofia a máxima racionalização construtiva (ver 4.1.1), adota por diretriz indutora da visão de conjunto o conceito da construtibilidade (ver 4.1.2.1). A estratégia metodológica foi também formulada tendo por princípio básico introduzir eficazmente a abordagem sistêmica na condução da pesquisa de desenvolvimento que dela se utilizar (ver 4.2).

3.2.2 O CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento de MPSCConst. insere-se em um contexto específico, o qual precisa ser visualizado no seu todo, de forma a situar claramente, no mesmo, onde se encaixa a metodologia proposta. Acreditamos que respondendo às indagações: O que desenvolver? Como, onde, com quem e para que desenvolver MPSCConst.?, possamos delimitar tal contexto e nele alocar a proposta metodológica. De uma forma ou de outra estas questões já foram discutidas nas páginas anteriores, porém, nem sempre com a preocupação de relacioná-las ao objetivo central do trabalho - a metodologia de pesquisa de desenvolvimento tecnológico de MPSCConst.. Neste item procuraremos sistematizar as colocações feitas relacionando-as ao objetivo citado.

3.2.2.1 O QUE DESENVOLVER ?

O objeto do desenvolvimento de um MPSCConst. é o projeto do "hardware" do mesmo. Este engloba a definição completa: dos materiais, componentes e elementos empregados e de suas inter-relações; de todas as operações construtivas a serem executadas (descrição do conjunto das técnicas construtivas) e do planejamento e controle das operações construtivas recomendados para a correta utilização do MPSCConst. A contra-parte do "hardware", o "software", que abrange todos os projetos para a execução de um particular edifício que empregue o MPSCConst. como meio de produção, não é objeto da pesquisa de desenvolvimento de MPSCConst., apesar de ser um estágio desta, na etapa de projeto dos edifícios protótipos (ver 4.2.2) .

Os objetivos de uma pesquisa de desenvolvimento na área são (ver 2.2.1): criar novos métodos ou processos ou sistemas construtivos e aperfeiçoar os métodos ou processos ou sistemas construtivos existentes. Geralmente, a criação de MPSCConst. inovadores compreende uma atividade de maior amplitude do que o aperfeiçoamento. Para esta atividade de criação, a necessidade do emprego de uma metodologia que a oriente é mais evidente, em decorrência do reconhecimento do seu maior grau de complexidade.

O conceito de método construtivo adotado neste trabalho (ver 2.1.2) permite-nos supor que o desenvolvimento de um particular método apresenta níveis muito variáveis de complexidade. Por exemplo, a gama de fatores condicionantes, critérios de seleção, técnicas construtivas, etc. de um método construtivo para cobertura de edifícios com finalidades esportivas apresenta uma amplitude muito diferenciada em relação a de um método de impermeabilização de alicerces de edifícios habitacionais de um único pavimento. Entre as pesquisas de desenvolvimento para a criação do primeiro e para o aperfeiçoamento de um método de impermeabilização em uso há uma diferença muito sensível em termos de complexidade. E por isto, também neste caso, é evidenciado que existe uma gradação na demanda por uma metodologia de pesquisa, ajustada a graus de complexidade diversos.

Entretanto, ao nos voltarmos para a criação de processos e sistemas construtivos de edifícios e constatarmos quão complexo é o quadro de variáveis de entrada e saída, e quão extensa é a quantidade de componentes e técnicas, compreendemos que existe uma necessidade incontestável de uma metodologia de pesquisa. De modo a que se tenha uma eficaz orientação para o equacionamento do problema e para a busca da solução ótima.

O desenvolvimento de sistemas construtivos é reconhecidamente um problema com o mais alto grau de complexidade. Algumas colocações de autores que analisaram este problema ilustram o grau de dificuldade. Ordonez [Ordonez et alli, 1974] afirma que: "Encarar seriamente o desenvolvimento de um novo sistema é uma tarefa que muito poucas vezes foi empreendida...". O Secretario Geral do CIB, Sebestyén [1980] enfatiza que "muito esforço (dinheiro, tempo e trabalho) é necessário para se ter na mão um sistema construtivo completo." Cutler [Cutler & Cutler, 1974], Kriukov [1977] e o Building Information Institution, da Finlândia [BII, 1972], ao descreverem o desenvolvimento de completos sistemas construtivos mencionam o envolvimento de dezenas de profissionais com condição básica para a consecução do objetivo (ver 3.2.2.3).

É absolutamente inimaginável trabalhar-se no desenvolvimento de sistemas construtivos sem um planejamento fundado em uma metodologia previamente formulada. O mesmo acontece com a criação de novos processos construtivos.

Estas constatações fizeram com que estruturássemos uma metodologia com uma amplitude tal que a tornasse adequada não só para a criação de novos sistemas construtivos, mas também para o aperfeiçoamento de novos métodos construtivos simples. Evidentemente, como está estruturada ela é indicada para a criação de complexos processos e sistemas. Para o seu emprego no aperfeiçoamento de métodos ou processos e na criação de métodos de baixa complexidade ela pode ter suas sequências de sub-etapas (ver 4.2.2) simplificadas. Isto não representará, nestes casos, um prejuízo, se a sua doutrina for seguida e a sua estratégia global respeitada.

3.2.2.2 COMO DESENVOLVER UM MPSCnst. ?

A resposta a esta indagação é dada pela própria metodologia, cujo principal objetivo é o de orientar a condução de uma pesquisa de desenvolvimento tecnológico neste campo. Orientando sobre o quê, a que momento e como fazer para conduzir o processo com eficácia e eficientemente. Como foi comentado

(2.4), a metodologia não é uma prescrição que ira garantir a obtenção de um produto, mas a sua utilização permite a organização racional do processo, sem improvisações, e auxilia na tomada de decisões (por exemplo sobre o caminho a seguir, na seleção das técnicas adequadas, na análise de dados, etc).

A construção de um edifício é dispendiosa e demanda muito tempo. Erros que ocorram durante a fase de projeto ou produção do edifício são difíceis de corrigir ou pelo menos envolvem altos custos. Contudo, erros que ocorram na concepção do meio de produção são multiplicados por quantos edifícios empregarem o MPSCConst. tornando a sua correção extremamente difícil e cara, podendo vir a inviabilizar a sua comercialização.

Este fato só vem a enfatizar a necessidade vital do emprego de uma metodologia apropriada, que possibilite a correção dos erros durante a fase de concepção, através de mecanismos previstos na sua estratégia, de modo a proporcionar a obtenção de MPSCConst. de elevados níveis de confiabilidade.

Desenvolver significa criar e aperfeiçoar. Aperfeiçoar um MPSCConst. implica no rearranjo da sistemática de trabalho, na alteração de técnicas construtivas, no emprego de novos materiais e componentes, no incremento da eficiência dos equipamentos, em suma na reorganização do MPSCConst. de modo a torná-lo mais racional (com o sentido dado na definição de racionalização construtiva, ver 2.3.2) e, conseqüentemente elevar o seu grau de industrialização.

Está implícita na atividade de desenvolver, a ação de adaptar. A absorção de tecnologias externas, desenvolvidas para uma realidade diversa da existente no local de emprego do MPSCConst., exige uma eficiente adaptação. E esta, também, deve ser feita sob orientação de uma metodologia adequada. Encaramos esta ação de adaptar como um tipo de aperfeiçoamento, e como tal, é perfeitamente coerente com a metodologia proposta.

Desenvolver significa, ainda, elevar o nível de qualidade de um produto. Significa, portanto, aperfeiçoar o desempenho global do produto e incrementar a confiabilidade na manutenção de um padrão pré-estabelecido. Uma metodologia que se propõe a orientar a condução de uma pesquisa de desenvolvimento deve estar estruturada de modo a tornar factível a elevação do nível de qualidade.

3.2.2.3 ONDE E COM QUEM DESENVOLVER MPSCConst. ?

Ao configurar o setor de desenvolvimento de MPSCConst.(ver 3.1.2) procuramos esboçar onde desenvolver MPSCConst..

Mas, qual o porte que deve ter uma instituição para se dedicar a atividade de desenvolver MPSCConst.? Sem dúvida a resposta ê: - depende. Esta dependência esta relacionada com a complexidade do produto a ser desenvolvido. De uma empresa construtora de porte médio a grandes centros de P,D&E. há uma natural equivalência entre a dimensão do cenário para a resolução de um problema e a dimensão deste.

A criação de novos sistemas construtivos pela sua complexidade só é normalmente possível de ser realizada em grandes corporações ou centros de P, D&E. Apenas a manutenção destes sistemas no mercado já exige a participação de empresas de grande porte. Sebestyén [1980] afirma que: "Somente organizações fortes, que têm os meios necessários e participação no mercado são capazes de desenvolver sistemas

construtivos." Como exemplo do porte que estas organizações precisam ter, são citados os casos do desenvolvimento do sistema construtivo PLS 80 - na Finlândia que envolveu, só na fase de concepção (ver 4.2.2.1), de 1971 a 1972, 47 profissionais em caráter permanente [BII, 1972] e do Sistema Habitacional "Ecológico" nos EUA, que empregou na fase de concepção 23 profissionais em dedicação integral e mais 15 consultores [Cutler & Cutler, 1974]. Em contrapartida, o aperfeiçoamento de métodos e processos construtivos e a criação de métodos, podem ser feitos dentro de estruturas organizacionais relativamente simples, coerentes com a dimensão do problema.

Entretanto, em todas as situações possíveis uma PDTECC no campo de MPSCConst. deve ser realizada por profissionais especializados. É fundamental que assim seja pois, para se organizar os conhecimentos sob a forma de tecnologia, exige-se uma capacitação profissional própria de um trabalho altamente especializado, e que de acordo com Longo [1984] é traduzida por: "Criatividade, conhecimento, domínio do método científico e adequada mistura de talento, intuição e experiência."

Defendemos a posição de que a atuação profissional do engenheiro é perfeitamente compatível com a de criador de tecnologia (ver 2.2.2) e nesta situação ele estará atuando, com a função de pesquisador, em um dos múltiplos campos em que ele pode exercer a sua profissão, a P&D. Procuramos também, conceituar e definir as fronteiras de um dos campos de atuação dos engenheiros nesta área, a PDTECC, (ver 2.2.4), justamente o campo onde deve ser conduzido o desenvolvimento de MPSCConst.

Assim, à indagação - com quem desenvolver MPSCConst?, podemos responder - entre outros, com o engenheiro civil especializado. Na realidade, apenas uma formação profissional restrita à graduação em engenharia não capacita o profissional para o citado trabalho, de alta especialização - o de criador de tecnologia. Este profissional tem de ser formado, para que adquira pelo menos três características daquelas citadas por Longo [1984] : "conhecimento, domínio do método científico e experiência no campo.". E a sua formação deve se dar principalmente, na nossa opinião, nos centros universitários que desenvolvem PDTECC.

Evidentemente, não é só com o engenheiro civil especializado que se desenvolve MPSCConst, principalmente na criação de processos e sistemas, nos quais muitos outros especialistas são necessários. Kriukov [1977] coloca que: "A complexidade do trabalho de criação de sistemas construtivos requer o esforço conjunto de especialistas relacionados com a industrialização da construção, tais como: arquitetos, engenheiros estruturais, tecnologistas, engenheiros mecânicos, engenheiros especializados em instalações hidráulicas e outros.". Nos trabalhos de Cutler [Cutler & Cutler, 1974] e do Building Information Institution [BII, 1972] são também citados economistas, sociólogos, e diversos engenheiros especializados em: solos, acústica, sistemas, eletricidade, planejamento urbano, etc. No entanto, pela especificidade do objeto do desenvolvimento tecnológico, a condução do processo deve ser confiada a profissionais que, além de adequadamente capacitados, encarem sistemicamente o problema e que tenham também, uma visão global da indústria da construção civil. No Brasil, um dos profissionais que mais se aproxima deste perfil é o engenheiro (de construção) civil especializado. De qualquer forma, como afirmam os professores suíços Thomas Schmid e Carlo Testa [Schmid & Testa, 1969] "Desenvolver sistemas é naturalmente compatível com um trabalho de equipe."

3.2.2.4 PARA QUE DESENVOLVER MPSCConst. ?

Ao fazer evoluir os meios de produção de edifícios estaremos participando de um processo de metamorfose da atividade de construção civil, denominado industrialização (ver 2.3.1). Esta metamorfose deve ser conduzida, para se efetivar, pela sistemática e contínua ação racionalizadora das tecnologias construtivas empregadas pela atividade. Como já foi mencionado, a implementação isolada de um MPSCConst. evoluído não torna a atividade como um todo mais industrializada, apesar de poder torná-la discretamente mais eficiente e produtiva e poder representar a escalada de um degrau com significância para o processo.

A resposta à indagação - Para que desenvolver MPSCConst.? está na necessidade de promover-se a incrementação da produtividade, da eficiência da indústria de construção de edifícios. Esta indústria é grande consumidora de recursos materiais, humanos, energéticos e financeiros. Recursos que, quando mal utilizados, representam, pela importância econômica do setor, um prejuízo incomensurável, altamente significativo para toda a sociedade. A má utilização dos recursos é evidenciada pela constatação dos enormes desperdícios hoje existentes e pode ser quantificada pelo nível de produtividade deste segmento industrial.

Para incrementar-se esta produtividade, necessariamente, teremos que desenvolver os meios de produção, em utilização, de modo a otimizar a apropriação dos recursos disponíveis. E este desenvolvimento tem de ser um processo racional, eficaz, planejado, organizado e bem dirigido. Em passado recente tivemos exemplos (por exemplo, Itaquera, analisado por Picarelli [1981]), claramente ilustrativos de que a utilização de novos MPSCConst. de modo desordenado, sem fazer parte de um esforço organizado, sem ser o resultado de PDTECC realizadas no país, não faz evoluir, não se fixa, não cria condições para um incremento da produtividade de todo o setor.

Como criar condições para que a evolução do setor seja sistemática e contínua? É um problema macro-econômico, cuja análise transcende os objetivos deste trabalho. No entanto, uma contribuição certamente advirá para o equacionamento deste problema, ao se fazer uma opção pelo disciplinamento metodológico da atividade de desenvolvimento dos meios de produção.

A indagação original é também parcialmente respondida pelo fato de que há necessidade de se romper o ciclo vicioso - não se pratica o desenvolvimento racional de MPSCConst. porque não há capacitação tecnológica no país e esta não existe porque não se pratica o desenvolvimento (e portanto, inexistem no mercado profissionais capacitados, postura empresarial, investimentos, centros de P,D&E, etc). Assim, deve-se desenvolver no país os meios de produção de edifícios (mesmo que em um primeiro estágio a eficiência destes meios deixe a desejar), para que possa ser quebrado o ciclo citado e com isto induzir um processo evolutivo contínuo através da aprendizagem tecnológica.

E é neste contexto que a metodologia se encaixa. Ela, além de se constituir em uma orientação para o desenvolvimento de MPSCConst. pode vir a representar um novo instrumento de mudança na postura do setor, que não investe em desenvolvimento tecnológico também (entre inúmeros outros fatores) porque desconhece como fazê-lo. Além disto a prática da metodologia representa um meio de formação de recursos humanos e pode propiciar para o setor uma alavanca para o aprendizado tecnológico. Pois como

afirma energicamente Longo [1984]: "A problemática da criação, da geração de tecnologia, que começa na formação de cérebros inconformados, contestadores e se estende até a metodologia de pesquisa é coisa que só se compreende no pleno exercício criador. Quem não exercitou, quem não viveu o problema, jamais entenderá !".

3.3 GRAUS DE INDUSTRIALIZAÇÃO

**"Speculating on whether the industrialization of building will or will not take place is futile: it is an inevitable process."
Moshe Safdie [Sullivan,1980]**

A industrialização pode ser encarada genericamente como uma atitude natural, de um dado segmento industrial, de caminhar na direção da maior eficiência e desempenho da sua atividade-fim, com um menor investimento de recursos. Ou seja, de progredir. E por isto é um processo inevitável.

É usual na linguagem técnica da construção civil falar-se em construção industrializada como contra-partida da construção tradicional. No entanto, alguns autores, como Davison [1975] e Foster [1973], opõem-se a esta classificação. A justificativa que alegam é a de que o emprego da denominação industrializada pressupõe que a construção tradicional seja não-industrializada, o que não consideram verdadeiro, em virtude desta incorporar também produtos industriais, ocorrendo apenas que os processos tradicionais de construção apresentam níveis inferiores de industrialização, se comparados a outros processos. Assim, estes autores evitam classificar a atividade de construção (quando isto é necessário dividem-na em tradicional e não-tradicional) e optam por classificar os processos construtivos de acordo com seu grau de industrialização.

Acreditamos que esta postura de classificar os processos construtivos ao invés da atividade construtiva seja mais adequada, pois o inverso só serve para consolidar o estigma de atrasada (no senso comum, o inverso de industrializada) imputada à construção tradicional, o que não é sempre verdade, nem conveniente.

Neste item, iremos definir, classificar e sistematizar o estudo dos processos construtivos racionalizados e industrializados, objetos do desenvolvimento tecnológico na área. Especial destaque é dada à conceituação dos Processos Construtivos de Alvenaria Estrutural (PCAE), em vista da importância que apresentam para este trabalho (ver capítulo 5). Com a inclusão deste estudo procuraremos estabelecer uma terminologia uniforme e fornecer um panorama sintético e ordenado do universo de tipos de processos existentes.

3.3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Diversas proposições têm sido feitas no sentido de se estabelecer um coeficiente numérico para o grau de industrialização dos diferentes processos e sistemas construtivos. O objetivo seria criar uma

classificação, segundo o nível de industrialização dos mesmos, de caráter quantitativo, parametrizando os diversos níveis através de índices de industrialização. Entretanto, parece não existir ainda um consenso quanto à adoção de tal índice. De acordo com o pesquisador espanhol Salas Serrano [Serrano, 1980], todos os índices até o momento propostos "...estão longe de uma objetividade absoluta."

Pode-se traduzir o grau de industrialização de diferentes maneiras: relação percentual entre o volume da obra pré-fabricado e o volume total, relação percentual entre a quantidade de mão de obra empregada em fábrica (ou em canteiro) e a mão de obra total, índices de produtividade da mão de obra (numero de horas trabalhadas por m² construído), etc. Salas Serrano [Serrano, 1980], afirma que: "quase todos os índices propostos surgiram em um momento específico da industrialização, que corresponde ao do auge da pré-fabricação à base de grandes painéis... e como conseqüência demonstram um interesse especial em quantificar o tempo transcorrido em obra em relação ao transcorrido em fábrica."

A O.N.U propõe um índice relativo à incidência do custo da mão de obra no custo global da construção [Trigo, 1978]. De acordo com aquela Organização, quando tal índice ultrapassa 40% existe um baixo nível de industrialização. Os que consideram ser este um índice não significativo alegam que desequilíbrios conjunturais entre o custo de materiais, equipamentos e energia de um lado e a mão de obra do outro podem alterar totalmente a classificação.

Além da falta de objetividade, os índices de industrialização, geralmente, atendem apenas a critérios de produtividade. Não levam em conta, por exemplo, as relações entre custo-desempenho, custo-benefício, a qualidade obtida, o volume e a natureza dos investimentos, a qualificação da mão de obra, etc.

Em vista de todos estes senões, que impedem o emprego dos índices para, por exemplo, tirar conclusões sobre a adaptabilidade dos processos a um determinado contexto ou como critério seletivo, a classificação dos processos e sistemas construtivos segundo o nível de industrialização é feita apenas qualitativamente.

Os processos construtivos de edifícios são habitualmente classificados quanto ao seu grau de industrialização em :tradicional; racionalizado e industrializado. É comum também subdividir-se os processos tradicionais em categorias com níveis diferentes de industrialização. Por exemplo: tradicional e convencional (pós-tradicional) [Foster, 1973] ; artesanal e evolucionado [Ordonez et alii, 1974]; primitivo, artesanal e racionalizado [Trigo, 1978].

Normalmente os processos com elevado nível de pré-fabricação são considerados como industrializados. Os processos de médio nível de industrialização são classificados por diversos autores diferentemente: por uns como tradicionais racionalizados, por outros como racionalizados e ainda como semi-industrializados.

Genericamente, as características de cada um dos grupos principais, poderiam ser descritas da seguinte maneira:

- **TRADICIONAIS** - Processos baseados na produção artesanal, com uso intensivo de mão de obra, baixa mecanização (produção essencialmente manual), com elevados desperdícios de mão de obra, material e tempo, dispersão e subjetividade nas decisões, descontinuidade e fragmentação da obra [Taralli,1984].

- **RACIONALIZADOS** - "Processos nos quais as técnicas organizacionais utilizadas nas indústrias manufatureiras são empregadas na construção sem que disto resultem mudanças radicais nos métodos de produção em uso" [Foster,1973]. Processos que incorporam princípios de planejamento e controle tendo como objetivo: eliminar desperdícios de mão de obra e materiais; aumentar a produtividade; planejar o fluxo de produção e centralizar e programar as decisões [Taralli, 1984].
- **INDUSTRIALIZADOS** - Processos baseados no uso intensivo de componentes e elementos produzidos em instalações fixas e acoplados no canteiro. Utilizam preponderantemente as técnicas industriais de produção, transporte e montagem. A integração do todo submete-se aos princípios organizacionais da indústria estacionária.

O objetivo fundamental da pesquisa de desenvolvimento tecnológico, no campo de métodos, processos e sistemas, aplicado a edificações, é o de criar e aperfeiçoar formas de se construir que: sejam racionalizadas, no sentido de otimizar o uso dos recursos existentes; representem uma evolução das formas tradicionais de se construir; avancem no sentido de aumentar o grau de industrialização da construção de edifícios. Portanto, somente os processos acima classificados em racionalizados e industrializados enquadram-se no escopo deste trabalho, e somente eles serão doravante considerados.

Além da classificação segundo o nível de industrialização, várias outras classificações são feitas para os processos não-tradicionais. As principais são: pelo conceito estrutural no qual eles são baseados; pela natureza dos materiais empregados; pela maneira como os materiais e componentes são combinados; pelo conjunto de métodos empregados, e por uma combinação de alguns dos anteriores com o nível de industrialização ou entre si.

As classificações mais usuais enquadram-se no último tipo, apesar desta parecer a menos lógica. Provavelmente isto se deve ao fato de que cada autor estabelece uma classificação adequada aos objetivos do seu trabalho, que normalmente se refere à industrialização da construção, daí porque combinar critérios. Examinemos algumas destas classificações:

Os professores do Massachusetts Institute of Technology (MIT), Albert Dietz e Laurence Cutler estabeleceram no livro "Industrialized Building Systems Housing" [Dietz & Cutler, 1971] , uma classificação que se tornou clássica nos Estados Unidos, sendo citada por diversos outros autores. Como as seguintes, é também uma classificação do tipo combinada:

A) Unidades monolíticas ("Boxes")

a.1 - Unidades leves (tipo "Mobile-Home")

a.2 - Unidades pesadas ou de componentes volumétricos

B) Sistemas totais (ou de painéis);

b.1 - De produção aberta;

b.2 - De produção fechada;

- C) Sistemas estruturais (ou de estrutura reticulada);
- D) Técnicas especiais de construção;
 - d.1 - "Lift Slab" (ou sistemas "lifting");
 - d.2 - Formas deslizantes;
 - d.3 - Formas túneis e
- E) De componentes

Ordenez [Ordenez et alii, 1974] dá destaque à dicotomia pré-fabricados e outros. É o único autor, dentre os consultados, que separa em categorias diferentes os processos pré-fabricados e os pré-moldados (moldados no canteiro de obras), diferenciação esta que é comumente feita no Brasil. A classificação a seguir foi simplificada e exclui o "prefabismo", processo teórico criado pelos autores como o processo ideal.

- A) Processos racionalizados;
 - a.1 - formas túneis;
 - a.2 - "lift slab";
 - a.3 - formas deslizantes;
- B) Processos pré-moldados;
- C) Processos "Construção" industrializada;
 - c.1 - pré-fabricação;
 - c.1.1 - aberta;
 - c.1.2 - fechada e
 - c.2 - componentes industriais (p.e. "mobile-home")

Uma classificação substancialmente diferente foi estabelecida por Foster [1973]. Este autor subdivide a construção não-tradicional em três conjuntos distintos de processos, (associando um conjunto de processos a um tipo de construção):

- A) Construção racionalizada;
- B) Construção por sistemas (sistemas de produção fechada) e
- C) Construção por componentes (sistemas de produção aberta)

E por último, examinemos a classificação das "formas não-tradicionais de se construir", do professor e arquiteto suíço Carlo Testa [1972]. Coerentemente com a sua definição (ver 2.3.1) de industrialização (para o autor, contra-partida da construção tradicional), Testa ordena os processos construtivos em quatro classes:

- A) Pré-fabricação;
- B) Sistemas modulares;
- C) Construção racionalizada e

D) Construção "in loco" com equipamentos automáticos.

Nestas classificações algumas particularidades devem ser comentadas: Os dois primeiros autores citados excluem os processos de alvenaria estrutural do rol dos racionalizados e industrializados (incluindo somente os processos de peças maciças de concreto moldadas no local). Foster e Testa, no entanto, estabelecem conceitos sobre industrialização (ver 2.3.1), que permitem incluí-los em suas classificações, na categoria de construção racionalizada. Segundo estes autores a evolução do processo tradicional para um outro estágio chamado de industrialização, é caracterizada por uma mudança na estrutura organizacional da atividade construtiva, com a finalidade de incrementar a produtividade e o nível de produção e o desempenho da própria atividade. Os processos construtivos de alvenaria estrutural foram desenvolvidos com estes mesmos objetivos, e por isto se adequam perfeitamente à classificação daqueles autores.

Um outro aspecto que deve ser destacado é a divisão dos processos de pré-fabricação em abertos e fechados (segundo Ordonez). Os processos abertos recebem outras denominações, como: sistemas modulares (Testa) ou processos de componentes (Dietz & Cutler e Foster). As características essenciais destes processos, que os diferenciam dos "fechados", são destacados pela maioria dos autores: a produção de componentes para o edifício não está limitada a um único fabricante e os componentes de diferentes fabricantes são intercambiáveis entre si. Testa [1972], no entanto, afirma que mais relevante do que isto é a mudança na concepção do projeto de um edifício, quando se passa de uma para outra forma de construção. Na pré-fabricação (fechado) inicia-se com o projeto do produto acabado (um edifício), que é então quebrado em partes significativas. As partes são produzidas em uma fábrica e finalmente montadas em uma seqüência ordenada. As construções modulares (aberto) têm uma concepção de projeto oposta. Primeiro projeta-se um conjunto de componentes inter-relacionados dimensional e funcionalmente e estabelecem-se regras de como estes componentes podem ser conectados entre si. Com estes componentes, então, projeta-se um edifício (um bom exemplo de uma construção modular é o brinquedo "Lego"). Estas características diferenciadas em termos do projeto do edifício é que, segundo Testa, justificam a classificação dos processos de pré-fabricação em categorias diferentes. Esta caracterização dos processos de componentes pode sugerir que estes guardam alguma relação com a construção tradicional de edifícios, como hoje ela é praticada. Afinal, a indústria artesanal também se caracteriza por ser uma atividade de montagem, em canteiro, de componentes produzidos por diversos fabricantes, os quais integram o segmento denominado - Indústria de Materiais e Componentes de Construção Civil. Com certeza não existe qualquer relação. Fundamentalmente porque, as indústrias de materiais e componentes não estão subordinadas à ação organizacional que define a Industrialização. Verifica-se que estas indústrias limitam-se a ciclos produtivos em suas unidades, sem a preocupação de oferecer um produto que seja coordenado em relação a outros semi-acabados [Bruna,1976]. Cada empresa direciona sua produção, segundo critérios próprios, para a fabricação de produtos finais e não para a fabricação de componentes intermediários do produto final, que é o edifício. Falta integração. Não existe um organismo direcionador do processo, que o planeje e o controle.

A classificação dos processos construtivos pelo seu grau de industrialização que adotaremos é a seguinte:

- A) RACIONALIZADOS
 - a.1 - de alvenaria estrutural;
 - a.2 - de paredes maciças moldadas no local (com formas metálicas);
- B) INDUSTRIALIZADOS
 - b.1 - pré-fabricados (de produção "fechada");
 - b.1.1 - de estrutura laminar;
 - b.1.2 - de estrutura reticular;
 - b.1.3 - volumétricos;
 - b.2 - modulares (de componentes, de produção "aberta") e
 - b.3 - monolíticos leves (p.ex. "mobile-home")

A subdivisão dos tipos A) e B) não é exaustiva, apenas abrange as categorias de processos mais comuns. Na seqüência a.1 -> b.3 os processos construtivos têm geralmente um grau crescente de industrialização. No entanto, a simples inclusão de um processo em uma dada categoria, (p.Ex. pré-fabricado de estrutura laminar) não transforma em um processo de alto nível de industrialização. Os componentes podem ser inteiramente racionalizados no seu projeto e na produção industrial, mas, se as operações de montagem no canteiro não forem adequadamente planejadas e organizadas, o processo poderá ter um baixo nível de industrialização [Foster, 1973].

Tem-se dito que a implementação dos processos modulares na construção habitacional (denominados por alguns autores, como Bruna [1976] e Orlandi [1979], de processos de industrialização de ciclo aberto) representam a meta a ser atingida em mercados como o brasileiro, com necessidades de milhões de habitações por ano. Alega-se que os processos tradicionais e os racionalizados não possuem produtividade e nível de produção compatíveis com as necessidades sociais de moradias. E que os processos pré-fabricados (de ciclo fechado) além de serem "limitados do ponto de vista inventivo e mal orientados do ponto de vista cultural, porque procuram a solução do problema exclusivamente no âmbito tecnológico de suas próprias experiências ... têm também a limitação intrínseca de ... não ser realista dentro de um sistema econômico liberal imaginar a construção de 100.000 habitações idênticas, nem mesmo 10.000." [Bruna, 1976]. Contra estes processos alega-se ainda que para serem economicamente viáveis eles necessitam de demanda contínua, por um longo período de tempo e em grande escala o que, invariavelmente, obriga a existência de uma política de estímulo e de subvenção por parte do poder público, o que nem sempre é desejável, nem normalmente factível.

No entanto, a implementação dos processos modulares não é possível simplesmente a partir do desejo de alguns de viabilizá-los tecnicamente. Como um meio de processamento industrial* organizado, os processos modulares exigem como pré-requisito para a sua implantação, a existência e o cumprimento de uma ampla normalização que estabeleça critérios de coordenação modular e parâmetros de padronização e tipificação dos componentes. Isto porque: para que seja possível coordenar os componentes e obter um produto coerente é preciso que haja um acordo dimensional prévio (coordenação modular) sobre o que vai ser produzido; para que os componentes produzidos cumpram as exigências de desempenho requeridas é preciso que obedeçam a certas características (padronização) e para que não haja uma diversidade extensa,

prejudicial e anti-econômica é preciso que se produzam somente os tipos de componentes mais adequados e compatíveis com a padronização previamente estabelecida (tipificação). De acordo com Bruna [1976], as características básicas de um processo modular é que suas peças sejam substituíveis, intercambiáveis, combináveis e permutáveis. E para que ele seja realmente "aberto" é essencial que haja no meio onde ele será implantado uma efetiva política normalizadora em termos de coordenação modular, padronização e tipificação dos componentes.

Para que possamos atingir um estágio de industrialização avançado (que adote estes processos modulares como modelo) é fundamental que, além da realização de Pesquisas de Desenvolvimento Tecnológico na área de processos e sistemas construtivos (objeto deste trabalho), sejam também realizadas pesquisas que visem a criação, implantação e consolidação de normas de coordenação modular e de padronização e tipificação de peças. E evidentemente todo este esforço deve ser conduzido de maneira integrada por um organismo que dirija o processo. Sem que isto se dê, é utópico pensar que a industrialização de ciclo aberto (sinônimo aqui de estágio mais avançado de industrialização) possa se transformar em realidade.

3.3.2 PROCESSOS CONSTRUTIVOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Alguns conceitos sobre a alvenaria estrutural precisam ser colocados neste trabalho para se ter um entendimento genérico, porém uniforme, sobre os processos construtivos de alvenaria estrutural. Isto por dois motivos: primeiro porque a aplicação prática da metodologia de pesquisa proposta (ver Capítulo 5) voltou-se para o desenvolvimento de um daqueles processos e é importante para a compreensão do mesmo alguma base conceitual sobre eles (mesmo que superficial); segundo, porque a ausência de uniformidade terminológica tem gerado muita confusão no tratamento da alvenaria estrutural e, para clareza deste texto, esta confusão precisa ser evitada.

A alvenaria pode ser empregada com função estrutural, ou não. No primeiro caso ela tem a responsabilidade de prover a estrutura suporte da construção da qual faz parte. É assim em uma ponte em arco de alvenaria, em uma chaminé, em um muro de arrimo ou em um edifício. Enquanto obra de engenharia, a alvenaria com a função de estrutura suporte deve ser dimensionada segundo métodos de cálculo precisos, fundados em bases técnico-científicas e com confiabilidade determinável.

Assim exclui-se da definição da alvenaria com finalidades estruturais, designada por alvenaria estrutural, "... aquelas obras em alvenaria que, mesmo tendo a função de estrutura, não são dimensionadas de acordo com métodos tecnicamente aceitáveis." [Sabbatini, 1984]. O objetivo da exclusão é caracterizar perfeitamente a alvenaria estrutural como uma obra de engenharia e evitar confusão com outras obras nas quais o seu uso como estrutura é empírico, notadamente irresponsável, e com um nível de segurança estrutural desconhecido.

O uso da alvenaria como estrutura de edifícios apresentou um renascimento nos últimos 40 anos. Baseados em extensos estudos experimentais nas décadas de 50 e 60, criaram-se na Europa e Estados Unidos inúmeros métodos construtivos direcionados preponderantemente para a execução de estruturas de edifícios de média e grande altura [Sabbatini, 1984]. Alguns destes métodos foram estudados mais

aprofundadamente, evoluíram a partir de uma visão de conjunto, e se constituíram em processos construtivos organizacionalmente muito bem definidos.

Conceituamos estes processos assim:

"PROCESSOS CONSTRUTIVOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL (PCAE) são específicos modos de se construir edifícios que se caracterizam por: empregar como exclusiva estrutura suporte paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras (de qualquer espécie); serem dimensionados segundo métodos de cálculo racionais e de confiabilidade determinável; ter um superior nível de organização da produção de modo a induzir projetos e construção racionais."

Estes processos construtivos são classificados como racionalizados (ver 3.3.1) em função do seu grau de industrialização. Os processos racionalizados são processo que, sem promover uma mudança radical nos métodos de produção tradicionais, incorporam técnicas organizacionais de planejamento e controle, objetivando racionalizar a produção (otimizar o uso dos recursos). Fundamentalmente estes processos se diferenciam dos tradicionais pelo seu nível organizacional, traduzido por uma centralização e planejamento das decisões. As decisões não são tomadas pelo operário, que é simplesmente o executor, mas sim em níveis gerenciais que dominam todo o processo e podem identificar as interferências de uma decisão isolada no conjunto. Deve ficar claro que os PCAE para se consistirem realmente em processos (em acordo com o conceito exposto) e não em um conjunto de métodos, têm de incorporar as citadas técnicas organizacionais.

Os PCAE podem ser classificados segundo o tipo de componente de alvenaria empregado ou de acordo com o tipo de alvenaria estrutural. Na primeira classificação, os processos são, por exemplo, divididos em: PCAE de blocos cerâmicos; PCAE de blocos de concreto; PCAE de blocos sílico-calcários, etc. Na classificação segundo o tipo de alvenaria eles são divididos em PCAE (subentende a alvenaria simples, não armada); PCAE armada e PCAE protendida [Sabbatini, 1987].

No Brasil são pouco numerosos os PCAE. Na realidade alguns são quase-processos, com um deficiente nível organizacional da produção. Estes quase-processos podem ser identificados facilmente pois, os fabricantes dos blocos que se lhes adequam não assumem a responsabilidade pelo processo construtivo, mas, tão somente pelos componentes de alvenaria que produzem.

Os PCAE em utilização são: PCAE de blocos vazados de concreto (armada e parcialmente armada); PCAE de blocos sílico calcários (não armada - "portante", parcialmente armada e armada); PCAE de blocos cerâmicos (não armada - "portante" e parcialmente armada); PCAE de blocos de concreto celular (não armada). Com exceção dos primeiros, os demais empregam componentes de alvenaria de um único fabricante (ou dois, no caso da PCAE "portante" de blocos cerâmicos).

CAPITULO 4

METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS, PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Metodologia não é simplesmente uma receita, que explique o que (como) fazer para obter-se uma determinada coisa. No item 2.4 conceituamos o que entendemos por metodologia de pesquisa que, em resumo, significa - um conjunto de preceitos que estabelece uma orientação para o direcionamento e condução de uma dada investigação.

Esta orientação deve se dar em dois níveis: de doutrina e de estratégia. Os quais fornecem, respectivamente, os princípios que fundamentam o processo decisório e um modelo para a operacionalização da pesquisa - o plano de ação. Uma metodologia deve ser encarada tão somente como uma ajuda ao processo de pesquisa e não o processo em si. Os seus princípios doutrinários devem auxiliar e condicionar a tomada de decisões durante o processo e os seus preceitos estratégicos devem ajudar no estabelecimento de um planejamento racional para o mesmo.

A metodologia aqui proposta é uma metodologia para a pesquisa de desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos (MPSCConst.) voltada para a criação de inovações tecnológicas neste campo. Ou seja, ela tem uma finalidade bastante específica e como tal deve ser compreendida. Neste capítulo damos forma à doutrina e à estratégia que a caracterizam.

4.1 DOCTRINA DA METODOLOGIA

Uma metodologia destinada a orientar o processo de produção de novas tecnologias deve estar embasada em um conjunto de preceitos norteadores. Os quais, por sua vez, devem estar fundamentados em um contexto local e temporal, nos seus aspectos técnicos, sócio-econômicos, culturais, legais, etc. A este conjunto de preceitos denominamos - **DOCTRINA DA METODOLOGIA**.

Para direcionar-se o desenvolvimento de novas maneiras de construir edifícios, ou suas partes, devem ser adotadas diretrizes que, a par de guardarem total coerência com o objeto-alvo, reflitam um modelo voltado para a obtenção da melhor solução para o problema. Estas, que denominamos - diretrizes balizadoras, devem se constituir nos paradigmas do processo de desenvolvimento, de modo a embasar a tomada de decisões pelos pesquisadores na seleção e escolha dos caminhos a trilhar.

A concepção destas diretrizes, deve originar-se de um número reduzido de princípios que, no seu todo, se constituem na filosofia na qual se alicerça uma dada metodologia. Estes princípios, de características axiomáticas, devem justificar constantemente os procedimentos adotados no direcionamento da pesquisa de desenvolvimento levada a efeito.

Com base nestes conceitos pode-se concluir que uma certa metodologia, para se consolidar e para poder ser empregada com sucesso deve deixar transparecer a filosofia que lhe serve de fundamento e possuir um conjunto de preceitos básicos direcionadores e orientadores na condução da pesquisa de desenvolvimento.

Assim, entendemos que a formulação de uma metodologia adquire consistência com a

estruturação de sua doutrina. Ou seja, com o estabelecimento dos seus princípios axiomáticos e das suas diretrizes paradigmáticas.

No item 4.1.1 estabelecemos a filosofia que rege a metodologia proposta, baseada nos princípios de máxima racionalização e de otimização de recursos, no item 4.1.2 fixamos as diretrizes da mesma: desempenho e construtibilidade.

4.1.1 FILOSOFIA

O vocábulo Filosofia possui várias acepções. Estamos empregando o termo para designar o que o "Webster's Dictionary" [Webster, 1983] sucintamente consigna como "princípios gerais ou leis de um campo do conhecimento ou atividade" e o dicionário do Aurélio [Ferreira, 1975] como "conjunto de estudos ou de considerações que tendem a reunir uma ordem determinada de conhecimentos em um número reduzido de princípios que lhe servem de fundamento e lhe restringem o alcance".

Uma dada metodologia de pesquisa deve se fundamentar em alguns poucos princípios que a justifique enquanto ferramenta de desenvolvimento tecnológico. Destes princípios devem originar-se as diretrizes básicas, as estratégias e os procedimentos que a tornarão operacional. Ao conjunto destes princípios embaçadores é que denominamos **FILOSOFIA DA METODOLOGIA**.

Na metodologia proposta os princípios que alicerçam podem ser resumidos em: buscar a máxima racionalização construtiva para o MPSCConst. a ser desenvolvido partindo de um nível de qualidade pré-fixado e, por conseqüência, promover a otimização dos recursos disponíveis.

Entendemos que o desenvolvimento tecnológico no campo dos meios de produção de edifícios deve seguir um caminho - o do incremento no nível de industrialização (como definida em 2.3.1) e que a evolução neste campo deve ser feita pela escalada contínua de patamares evolutivos, nos quais coexistam inúmeros MPSCConst. O alceamento a patamares superiores é promovido pela criação de novos MPSCConst. e pelo aperfeiçoamento dos já existentes. No entanto, o que justifica o aparecimento de cada um dos novos e evoluídos modos de construção é que tenham intrinsecamente um grau superior de racionalização. E não que se situem em um nível superior de industrialização.

Entendemos ainda, que o desenvolvimento se dá pelo aparecimento e consolidação continuada de MPSCConst., de "per si" evoluídos, mas adequados à realidade sócio-econômica da região e coerentes com o ritmo do progresso da sociedade local. E não pelo aparecimento "fora do tempo" de formas de construir que, apesar de possuírem um elevado nível de industrialização, não se adequam às exigências de momento do corpo social.

Estas colocações são feitas no sentido de justificar a filosofia adotada na metodologia proposta. Acreditamos que o desenvolvimento de um MPSCConst. deve ser feito no sentido de obter um meio de produção que, independentemente de qual seja a sua concepção básica, incorpore uma superior racionalização construtiva. Contudo, não acreditamos que um novo MPSCConst. deva, por princípio, adotar uma concepção básica que o situe em patamares elevados em termos de nível de industrialização. Se assim crêssemos a filosofia da metodologia deveria ser diferente e, em conseqüência, suas diretrizes e estratégias.

Portanto, a metodologia proposta é adequada para o desenvolvimento de processos ou sistemas com qualquer grau de industrialização (ver 3.3) e objetiva proporcionar a obtenção de meios de produção que, na sua categoria, se situem dentre os de maior grau de racionalização construtiva.

A filosofia de uma determinada metodologia não é a sua ferramenta de operacionalização. Dela espera-se que, tão somente, venha a fundamentar a atividade que irá aplicar a metodologia, justificando de modo racional os objetivos e os meios e as técnicas empregados por esta mesma metodologia. Assim, a máxima racionalização construtiva, como filosofia, é uma abstração. Para que seja possível atingi-la deverão ser utilizadas ferramentas que a tornem uma realidade. Estas ferramentas são as diretrizes, as estratégias e as táticas operacionais.

A conceituação sobre racionalização construtiva já foi feita em 2.3.2. De acordo com a definição que adotamos, a racionalização construtiva constitui-se em um conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos disponíveis. A filosofia da metodologia proposta consiste em maximizá-la ou em sua última instância atingir o ótimo a que se refere aquele conceito.

Acreditamos que cada novo método, processo ou sistema construtivo para ter validade social ou, para representar uma inovação tecnológica válida para a sociedade que a irá adotar (e não apenas para quem a comercializa), deve necessariamente otimizar o uso dos recursos disponíveis localmente. Principalmente em sociedades nas quais eles são escassos ou circunstancialmente mal distribuídos. Por isto a máxima racionalização construtiva deve ser a filosofia norteadora das metodologias de desenvolvimento neste campo.

No entanto, este axioma irrefutável deve estar parametrizado por um pré-fixado nível de qualidade. Ou seja, a máxima racionalização construtiva deve ser buscada tendo limites bem caracterizados, fornecidos pela prévia definição do grau de qualidade que se deseja obter. Na realidade este conceito de nível de qualidade está implícito no conceito do ótimo (menor custo para um desempenho pré-determinado, ver adiante). Conclui-se que, para conduzir operacionalmente o processo de desenvolvimento do MPSCConst. e atingir com sucesso este binômio racionalização-qualidade deve-se empregar (como já foi anteriormente destacado): diretrizes adequadas, que balizarão todo o processo, e uma estratégia voltada para a consecução daquele objetivo. As quais deverão estar baseadas na filosofia preconizada.

O processo de desenvolvimento inicia-se com a concepção embrionária do MPSCConst. e caminha no sentido de materializar um edifício (ou uma sua parte) que o empreguem na sua construção. Até ser atingido o estágio final de comercialização do MPSCConst., inúmeras atividades deverão ser executadas, por diversos participantes e muitas etapas deverão ser percorridas (em consonância com a metodologia utilizada). Os vários participantes do processo devem adotar uma mesma linha de ação, para que os esforços convirjam, e ter um objetivo comum, que fundamente continuamente suas decisões e norteie o rumo a ser seguido. Este objetivo comum, esta linha de ação é a busca da máxima racionalização construtiva.

Entretanto, a máxima racionalização construtiva é colocada aqui como uma meta a ser buscada e só é possível dela se aproximar após um estágio final de otimização de todo o processo de desenvolvimento feito a partir de uma visão global do mesmo. Vê-se que ela é uma meta difícil de ser obtida, não só por este aspecto, mas também, devido à natural complexidade de um MPSCConst.

Assim, é normal adotar-se como premissa de trabalho a racionalização construtiva das partes nas quais se divide o processo. A visão sistêmica empregada induz o caminhamento do particular para o geral (porém com a visão do conjunto), por sucessivos estágios de crescente complexidade. Desde os primeiros estágios, que tratam dos componentes mais simples do sistema, deve-se procurar a racionalização construtiva dos seus objetos.

Avançando para estágios mais complexos, a ação racionalizadora cresce em abrangência e, a partir da análise conjunta das partes, atuando em ciclos iterativos sucessivos (cada alteração realimenta estágios precedentes que por iteração modifica estágios que o sucedem), promove a racionalização de partes maiores. Deste modo, avança-se até o estágio final, no qual será buscada a racionalização construtiva do todo, o que dará consistência ao conceito de otimização global. Ou seja, para atingir-se a máxima racionalização do MPSCConst. caminha-se geralmente pela racionalização das partes otimizando-as no seu devido tempo.

São inúmeros os exemplos de táticas de racionalização parcial, que irão contribuir para a racionalização construtiva do MPSCConst.. Apenas para ilustrar esta formulação conceitual podemos citar: modulação dimensional e coordenação modular dos componentes e elementos; redução na variabilidade dos tipos de peças e na flexibilidade de uso; precisão dimensional e tolerâncias de fabricação; acessibilidade e simplicidade das junções; transportabilidade das peças; minimização dos acoplamentos; resistência à manipulação dos componentes e elementos; minimização de adaptações dimensionais e acabamentos no canteiro; maximização da produtividade da mão de obra (com alteração nas técnicas construtivas: emprego de ferramentas especiais; técnicas mecanizadas; repetitibilidade etc); facilidade organizacional da produção (minimização das operações de montagem; concentração de decisões; precisão no fluxo operacional, etc); adaptabilidade construtiva a condições climatológicas adversas, etc.

O conceito de racionalização construtiva - premissa axiomática da metodologia, remete o seu entendimento para a compreensão do que seja otimização dos recursos disponíveis. Apesar do conceito geral de otimização ser de domínio difundido e facilmente compreensível, ele admite particularizações, com a finalidade de restringir-lhe o significado. Como ocorre no presente caso, quando ao termo se acrescenta - dos recursos disponíveis. Deste modo procuraremos comentar alguns aspectos relacionados a este conceito para melhor esclarecê-lo.

Ótimo quer dizer o melhor, em relação a um determinado critério. Quando se tem um único critério geralmente temos uma solução que admite o valor ótimo. "Chama-se otimização o processo pelo qual procura-se determinar a solução ótima" [Krick, 1965] . Asimow [1962] interpreta o conceito do seguinte modo: "Pode-se supor que dentre todas as combinações viáveis de valores paramétricos haja uma que seja superior as outras - a combinação ótima, e o processo para conseguí-la é chamado de otimização".

Na maioria dos problemas de Engenharia (como o desenvolvimento de MPSCConst.) o processo de otimização é extremamente complexo, devido aos inúmeros critérios contraditórios e conflitivos que neles coexistem. No entanto, "em essência, resolver um problema consiste em procurar a solução ótima entre todas aquelas que satisfaçam os condicionantes." [Krick, 1965]. Ou ainda, "propriamente interpretando, pode-se dizer que todos os problemas de projeto de Engenharia são problemas de otimização." [Gibson, 1968]. Ou seja, a meta em qualquer problema é a solução ótima. No entanto, "embora seja quase sempre um objetivo, raramente é uma realização, pois muitos problemas do mundo real são por demais complexos para que se possa chegar a uma solução ótima em um prazo razoável, já que muitas vezes o tempo necessário para alcançá-la seria maior que a própria duração do problema." [Krick, 1965].

A contradição existente entre o conhecimento de qual deva ser a solução para um dado problema e a admissão prévia da impossibilidade prática de obtê-la é resolvida pela divisão do problema, com a consideração de soluções sub-ótimas e pela proposição de um único critério para simplificação do processo de otimização global. A solução sub-ótima (inferior à melhor) não considera o sistema como um todo

[Asimow, 1962] . Ela, ao considerar parcialmente os critérios, aceita soluções ótimas (ótimo conciliatório) parcialmente válidas. Embora, como afirma Cross [1986], "não há garantia que soluções sub-ótimas irão combinar em uma solução global ótima", a consideração destas soluções em alguns problemas complexos é a única saída prática. A técnica de sub-otimização é não sistêmica.

A proposição de um critério único para o problema é a outra maneira de resolver a contradição citada. Geralmente os critérios adotados são ou a minimização dos custos (ou um fator a ela associada) ou a maximização do desempenho (global ou de alguma característica) e, por conseqüência, a solução deverá introduzir um condicionante complementar que normalmente é o outro parâmetro não considerado como critério. Esta escolha de critérios é corroborada por diversos autores. Dixon [1966] afirma que "obter o melhor desempenho possível ou o menor custo possível é parte integrante de todos os projetos de Engenharia . (...) O critério é frequentemente custo, mas pode ser uma medida de desempenho ou uma combinação entre eles.". Markus, [Markus et alii, 1972] sustenta que "a solução ótima corresponde ao mínimo custo para atingir-se certo objetivo". Hill [1970] exemplifica, afirmando que: "um projeto ótimo existe quando se alcança, por exemplo - a melhor aparência com o menor custo; o mais potente com o menor peso; a melhor qualidade com o menor consumo de material.". No mesmo texto, Hill generaliza o conceito entendendo-o como sendo este o significado prático de otimização: " o processo de atingir o melhor projeto de Engenharia, maximizando o desempenho ao mesmo tempo que minimiza custo tem sido, em anos recentes, denominado otimização...".

Com a adoção de um único critério e identificando-se as diversas restrições, pode-se empregar métodos numéricos de otimização como a programação linear. No entanto, quando o critério é custo (ou desempenho global) o emprego de métodos numéricos é dificultado devido aos efeitos recíprocos entre critérios e restrições. A técnica de iterações sucessivas, própria da abordagem sistêmica, permite resolver o impasse surgido desta reciprocidade.

Retornando ao conceito de racionalização construtiva, no significado de otimização dos recursos disponíveis, esta então implícito que o objetivo é obter o menor custo possível para um nível de desempenho pré-determinado. O ideal seria a formulação para o máximo desempenho possível. Entretanto, isto implicaria em tornar menos factível atingir-se, em um prazo razoável, o objetivo de máxima racionalização construtiva no desenvolvimento de MPSCnst.. Face à complexidade que isto traria ao processo, com a enorme expansão das variáveis condicionantes.

Contudo, a longo prazo a meta de incrementar o nível de desempenho é viável, pois o processo de racionalização construtiva é dinâmico e se adequadamente conduzido desenvolve-se e aperfeiçoa-se constantemente. Na estratégia metodológica (ver 4.2.2.1.2) este fator é considerado e existe uma etapa específica de aperfeiçoamento da tecnologia, na qual o processo de racionalização construtiva tem continuidade.

4.1.2 DIRETRIZES

Como foi destacado em 2.4, o objetivo de uma metodologia em um dado processo investigativo é o de proporcionar uma orientação efetiva ao usuário, de modo a permitir-lhe selecionar as hipóteses, as técnicas e os dados mais adequados e adotar as decisões mais acertadas.

Esta orientação deve provir de duas fontes: de diretrizes gerais e de uma estratégia específica. As

primeiras têm a função de direcionar o encaminhamento da investigação, para que o resultado tenha maiores possibilidades de atender aos pressupostos implícitos na filosofia da metodologia adotada. A estratégia específica possui a função de fixar quais os passos que deverão ser cumpridos, para que o resultado atenda às especificações iniciais. Esta estratégia específica, estabelecida para cada desenvolvimento em particular, baseia-se em uma estratégia de caráter geral, que também faz parte da metodologia empregada (ver 4.2).

Em um processo investigativo de desenvolvimento tecnológico no campo dos métodos, processos e sistemas construtivos, que tem por objetivo criar novas maneiras de se construir edificações ou aperfeiçoar as existentes, as diretrizes metodológicas devem induzir a obtenção de produtos que representem uma inovação tecnológica no campo da construção de edifícios.

Em outras palavras (ver conceituação em 2.3.3), permitir a obtenção de produtos que representem um sensível avanço na tecnologia existente em termos de: desempenho, qualidade ou custo do edifício (ou de uma sua parte).

Por outro lado, a investigação deve ser balizada por diretrizes que façam cumprir os princípios axiomáticos estabelecidos: a máxima racionalização e a otimização das variáveis intervenientes.

As diretrizes preconizadas na metodologia que propomos e que visam atender às metas descritas são duas: a abordagem segundo os enfoques da construtibilidade e do desempenho. Ou ainda, de uma forma simples: construtibilidade e desempenho.

4.1.2.1 CONSTRUTIBILIDADE

4.1.2.1.1 CONCEITUAÇÃO

A palavra construtibilidade é um neologismo criado em acordo com as regras morfológicas da língua portuguesa, pela aposição simultânea dos sufixos "vel" e "dade" ao termo construir. O primeiro sufixo é empregado na estruturação de adjetivos a partir de verbos e indica possibilidade (o que pode) ou capacidade (o que é capaz de) de sofrer uma ação. Portanto, construível significa "o que pode ser construído" ou "o que é possível de ser construído". O sufixo "dade" é um sufixo nominal qualitativo e indica uma qualidade ou uma habilidade (antes de receber este sufixo, os adjetivos terminados em vel retomam a forma latina bil (i)).

Decorre então, que o significado morfológico de construtibilidade é: "habilidade (de algo) em ser construível" ou "a qualidade do que é capaz de ser construído". A formação deste novo substantivo é idêntica a de outros termos corriqueiros tais como: disponibilidade, estabilidade, sensibilidade, produtibilidade, etc.

Na língua inglesa, no início da década de oitenta, foram criados semelhantemente dois neologismos com o mesmo significado morfológico: "constructability" (nos Estados Unidos [O'Connor, 128 1985] e "buildability" (na Inglaterra [Griffith, 1986]). Apesar de manterem coerência com seu sentido semântico, tais termos sub-entendem conceitos mais amplos, estabelecidos naqueles países por entidades ligadas à indústria da construção.

De acordo com O'Connor & Tucker [1986], o grupo de trabalho em construtibilidade do Construction Industry Institute (CII), sediado na Universidade do Texas, define construtibilidade como:

"...é a integração otimizada do conhecimento e da experiência construtiva com as fases de planejamento, engenharia, gerenciamento e operações de campo do projeto, visando o cumprimento de objetivos globais."

Griffith [1986] reproduz a definição da Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) da Inglaterra: "Construtibilidade é um estágio, no qual a etapa de concepção do edifício volta-se para simplificar e facilitar as operações construtivas, sujeitando-se a todas as exigências do edifício concluído."

Apesar das diferenças de enfoque, as definições deixam explícito que o conceito de construtibilidade fundamenta-se no seguinte fato: para que seja otimizado todo o processo da construção, há a necessidade de se considerar, na etapa de projeto, os fatores relacionados com as operações construtivas.

Os estudos sobre a importância e o impacto da aplicação do conceito de construtibilidade no processo da construção são muito recentes. Nos Estados Unidos as primeiras referências a estes estudos, que encontramos nos trabalhos analisados, situam-se no ano de 1983. São relatórios internos de pesquisa (não publicados) da Universidade do Texas, local onde foi criado, naquele mesmo ano, o grupo de trabalho sobre Construtibilidade do CII [O'Connor, Rush & Schulz, 1987]. O primeiro trabalho publicado que encontramos é de dezembro de 1985 [O'Connor, 1985]. Na Inglaterra, Griffith [1986] faz referência a uma publicação da CKRIA de 1983 como primeiro trabalho publicado, o qual resultou de um programa de pesquisa iniciado em 1979.

Apesar da recentidade dos estudos, pela análise dos trabalhos publicados concluímos que desenvolvem-se, no presente momento nos países citados, intensos esforços de pesquisa, no sentido de consolidar o conceito. Com a finalidade de se criar um ferramental utilizável pelos diferentes segmentos que atuam na construção civil. Diversos pesquisadores estão se dedicando a: discernir sobre as vantagens e desvantagens do seu emprego; delimitar o campo de aplicação deste novo conceito e a estruturar metodologias para que seja possível o seu uso de forma prática. Dos trabalhos publicados podemos extrair diversas reflexões sobre o conceito de construtibilidade, feitas com o objetivo de caracterizá-lo.

O'Connor & Tucker [1986], pesquisadores da Universidade do Texas, colocam que tal conceito constitui-se em um instrumento adequado para fazer com que o projeto desenvolva-se de modo a permitir uma utilização ótima dos recursos durante a etapa de construção. Em outro trabalho, O'Connor, Rush & Schultz [1987] concluem que a aplicação do conceito de construtibilidade, propiciando a difusão dos conhecimentos e da experiência de construção nas atividades que a precedem, resultará em operações de canteiro muito mais eficientes, com um alto nível de racionalização. O Professor Griffith [1986], da Universidade de Edinburg, afirma que este é um conceito que permeia por todo o processo da construção, interagindo igualmente, tanto com os procedimentos construtivos na obra, como nas etapas de projeto. Tatum [1987], de Stanford, reflete que o conceito, do modo como ele está estabelecido pelo CII, só vem enfatizar a importância que os fatores de produção ("construction input") possuem, servindo como dados para todas as fases do projeto. Griffith [1986] considera ainda que, em termos práticos, o enfoque da construtibilidade é um instrumento útil para simplificar a complexidade técnica e gerencial da construção.

Nesta fase de consolidação de uma nova tecnologia para elaboração de projetos, os pesquisadores têm procurado detectar quais as situações em que a implementação do enfoque da construtibilidade traz maiores e mais evidentes benefícios. O estimador destes benefícios é genericamente denominado por -

aperfeiçoamento na construtibilidade ("constructability improvement") ou aumento na construtibilidade ("constructability enhance"). Ou seja, o melhoramento na qualidade de algo ser construível.

Desta forma, o emprego de uma metodologia de projeto que incorpore o conceito de construtibilidade, constitui-se em uma ação voltada para o aperfeiçoamento da habilidade que o objeto do projeto tem em ser construído. E neste contexto, é entendida como uma ação totalmente direcionada para a racionalização da construção.

O trabalho de O'Connor, Rush & Schultz [1987] traz inúmeros exemplos de como, aplicando os conceitos de construtibilidade, é possível racionalizar a construção. Neste trabalho os autores listam os conceitos, discutem-nos e apresentam os benefícios de sua aplicação. Como exemplo podemos citar - Conceito: a construtibilidade é aumentada quando os programas das atividades de projeto e de administração de projeto são direcionados para as necessidades construtivas. Benefícios; a duração do projeto é reduzida; menores atrasos são experimentados em campo; as atividades de engenharia e administração são efetivamente priorizadas; o trabalho em campo é mais efetivo e há um aumento na percepção dos verdadeiros objetivos de projetos pessoais.

No trabalho "Industrial Project Constructability Improvement", O'Connor & Tucker [1986] classificam os aperfeiçoamentos de construtibilidade em seis grupos, pela sua tipologia. Depois discutem um estudo de caso identificando neste, 335 possíveis ideias para aperfeiçoamentos de construtibilidade, categorizando-os segundo sua classificação. Neste trabalho, os autores fazem uma significativa comparação entre o enfoque da construtibilidade e outros dois métodos empregados no aumento de produtividade na construção: a análise de valor em engenharia e o de incremento de produtividade. Concluem que a construtibilidade apresenta a vantagem de, enquanto os outros métodos apenas detectam falhas na produtividade dos procedimentos de trabalho empregados e agem no sentido de otimizá-los, a construtibilidade pode mudar os próprios procedimentos ou alterar a tecnologia construtiva, por dominar todo o processo.

Tatum [1987] elaborou um extenso trabalho, analisando os benefícios produzidos pelo aperfeiçoamento da construtibilidade, quando implementam-se os conceitos desta metodologia na fase de planejamento. O autor descreve pormenorizadamente os múltiplos benefícios que se pode obter ao focar a etapa de planejamento com a ótica do aperfeiçoamento da construtibilidade. Ele afirma, ainda, que a aplicação deste enfoque possibilita uma mudança, para melhor, nas posturas do projetista, do construtor e do empreendedor. O projetista vê-se obrigado a: interfacear-se mais receptivamente com a construção; comunicar as intenções do projeto; olhar seriamente as informações e recursos da construção, os cronogramas e as especificidades da obra; produzir um projeto construível e de custo otimizado e a providenciar suporte técnico para o construtor e o gerenciador do empreendimento. O construtor vê-se obrigado a: executar um planejamento sério, que seja uma base de dados confiável para o projeto e fomente a construção; envolver-se cedo com a construção e empregar pessoal selecionado e bem qualificado e manter um interfaceamento ativo e profissional com o projeto.

Tatum [1987] ainda coloca que, a consideração do conceito de construtibilidade pode evitar três tipos genéricos de problema: "Primeiro, o projeto preparado sem os fatores de produção irá requerer uma

etapa de construção de maior amplitude que a mínima necessária para atender os objetivos do projeto (...); segundo, a não consideração dos fatores de produção na etapa de projeto poder aumentar as dificuldades construtivas (...) e terceiro, a omissão de envolver a construção nas fases iniciais do projeto aumenta o risco de problemas devido a uma inadequada coordenação projeto-construção ou a um insuficiente planejamento da construção.”.

Analisando o atual estado da arte do conceito de construtibilidade, vemos que ainda trilham-se os primeiros e mal definidos caminhos de uma metodologia voltada para a condução de todo o processo da construção. Metodologia esta que, a nosso ver, apresenta um enorme potencial de desenvolvimento.

Dois aspectos destacam-se como altamente positivos e justificam esta expectativa em torno do potencial da construtibilidade como alavanca da racionalização construtiva. Primeiro a preconização (conforme exposto) da total integração do projeto e da construção, de modo a consolidar um efetivo canal de informação de duplo sentido, priorizar as necessidades construtivas e racionalizar as decisões de projeto. Em resumo, obrigando a projetar a solução que considera realmente todos os parâmetros que importam. O outro aspecto diz respeito à inevitabilidade de que todos os intervenientes adotem uma visão global do processo da construção. Uma visão que, balizada pela necessidade de racionalização, promova a somatória de esforços e o trabalho conjunto dos planejadores, projetistas, construtores, gerenciadores, proprietários, vendedores, etc, em torno de um objetivo comum.

Conforme foi visto, já existe uma incipiente conceituação sobre a construtibilidade, principalmente nos Estados Unidos. No entanto, para que possamos caracterizá-la como uma diretriz balizadora da metodologia proposta, consideramos que ela, como está estabelecida nos trabalhos consultados, é inadequada. Por conseguinte, iremos formular a seguir uma conceituação própria, que adotaremos. Esta fundamenta-se em três ideias e diz respeito a edifícios: a construtibilidade; o aperfeiçoamento da construtibilidade e a metodologia da construtibilidade.

A conotação que estamos estabelecendo para a construtibilidade tem origem no significado semântico deste termo:

"CONSTRUTIBILIDADE (DE UM EDIFÍCIO, DE UM ELEMENTO) é a propriedade inerente ao projeto de um edifício, ou de uma sua parte, que exprime a aptidão que este edifício (ou sua parte) tem de ser construído."

Um edifício tem um grau superior de construtibilidade se, o seu projeto descer a um nível tal de detalhamento construtivo que, demonstre perfeitamente como ele deverá ser construído. Por outro lado, um edifício apresenta um grau inferior de construtibilidade quando, a simplicidade do seu projeto, traduzida pela precariedade de informações, obriga a que a quase totalidade das decisões sobre como construí-lo tenha de ser adotada pelos construtores, por aqueles que irão atuar diretamente na execução da obra.

"CONSTRUTIBILIDADE (DE UM MÉTODO, PROCESSO OU SISTEMA CONSTRUTIVO) - é a propriedade que caracteriza um certo MPSConst. e que exprime a aptidão que este tem em ser executado."

Um dado processo construtivo possui um nível superior de construtibilidade quando tem totalmente definido o modo como deverá ser executado. Isto implica na impossibilidade dos executantes definirem, com o transcorrer da obra, procedimentos construtivos não previstos. Em contra-partida, um método construtivo apresenta um nível inferior de construtibilidade quando o operário que irá executá-lo for o responsável pela definição de como proceder para levá-lo a termo.

A consideração destas definições leva-nos a inferir que, um dos objetivos essenciais de quem atua na área de projetos, planejamento e desenvolvimento de materiais e processos é o de incrementar a construtibilidade. Isto como decorrência da obrigação implícita nestas atividades de promover sempre o uso racional dos recursos na construção. E, sem dúvida alguma, incrementar a construtibilidade é uma postura voltada para a racionalização construtiva. A ação desenvolvida no sentido de incrementar o grau de construtibilidade e ao seu efeito, denominamos por aperfeiçoamento da construtibilidade. Portanto:

"APERFEIÇOAMENTO DA CONSTRUTIBILIDADE é uma ação efetuada com o objetivo de incrementar a construtibilidade de um edifício, ou sua parte, ou de um método , processo ou sistema construtivo. O seu efeito tem também a mesma denominação e pode ser empregado como um estimador do incremento conseguido, quando associado a um outro parâmetro (por exemplo, aumento na produtividade da mão de obra, redução de custos, redução no volume de entulho retirado, etc.)."

O processo da construção de edifícios, entendido como "o processo que engloba todos os estágios desde a concepção até a satisfação plena dos requisitos estabelecidos para o edifício" [Cutler & Cutler, 1974] pode ser conduzido segundo diversas concepções. Por exemplo: ser concluído no menor prazo possível (não importando o custo); ser direcionado para produzir um edifício com o melhor desempenho em termos de segurança estrutural a um custo pré-determinado; produzir um edifício símbolo de poder, "status" ou riqueza, a qualquer custo, etc. No entanto, normalmente a concepção determinante é produzir um edifício a um custo e a um prazo pré-determinados e que atenda da melhor forma possível às exigências pré-estabelecidas.

Dentro desta concepção, as maneiras de como conduzir efetivamente o processo são inúmeras. O conceito de construtibilidade, de acordo com a conceituação americana e inglesa, preconiza um modo que parece-nos inovador, na atual conjuntura da construção civil no Brasil. Parte-se do princípio de que, para uma utilização ótima dos recursos na etapa da construção (o que levará a uma minoração dos custos e do prazo) é necessário que todas as outras etapas do processo voltem-se para o aperfeiçoamento da construtibilidade. A esse modo de como conduzir o processo da construção denominamos -Metodologia da Construtibilidade, assim definida:

A METODOLOGIA DA CONSTRUTIBILIDADE compreende uma maneira de conduzir o processo da construção que prioriza em todas as suas

etapas (incorporação, planejamento, projeto, construção, etc.) o aperfeiçoamento da construtibilidade.

Os princípios que regem a metodologia da construtibilidade são: a) para se promover uma efetiva racionalização construtiva (sinônimo de otimização dos recursos disponíveis na etapa da construção), é essencial que esta promoção seja desenvolvida nas etapas que antecedem as operações de canteiro, principalmente nas etapas de projeto e planejamento; b) o aumento do grau de racionalização construtiva é diretamente proporcional ao aperfeiçoamento da construtibilidade.

4.1.2.1.2 CONSTRUTIBILIDADE COMO DIRETRIZ

Uma diretriz normativa em uma metodologia tem a função de induzir o pesquisador, que dela faça uso, a tomar as decisões mais apropriadas ao selecionar os caminhos a trilhar e a optar pelas soluções mais convenientes.

A construtibilidade como diretriz de uma metodologia para o desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos (MPSCConst.) preenche, a nosso ver, adequadamente aquela função.

Ao trabalhar na criação ou no aperfeiçoamento de um MPSCConst. o pesquisador devera atuar, dentre outras, nas fases de projeto, de organização da produção e da construção do protótipo.

Como foi destacado anteriormente, a nova maneira criada para a construção de edifícios (ou de suas partes), só irá se justificar se representar uma real evolução tecnológica, se caminhar no sentido de aumentar o nível de industrialização, se adotar integralmente os preceitos de racionalização construtiva.

Ao empregar o conceito de construtibilidade como diretriz, o pesquisador devera obrigatoriamente, ao atuar em qualquer uma das fases da pesquisa de desenvolvimento, enfocar o problema com uma visão global. Não terá como desconsiderar que qualquer intervenção sua na fase de projeto do MPSCConst., irá ter uma importância significativa na construtibilidade do mesmo. Por exemplo, ao desenvolver um detalhe funcional, ele estará concomitantemente preocupado com a exequibilidade daquele detalhe, e não apenas que o mesmo atenda excelentemente à função a que está destinado. O conceito de construtibilidade funcionará como um agente de integração dos trabalhos desenvolvidos em todas as fases, permitindo a obtenção de um produto de alto nível de coerência.

Além disto, ao utilizar como diretriz o conceito de construtibilidade, o pesquisador estará constantemente trabalhando no sentido de atingir a máxima racionalização construtiva. Não importa em qual estágio da pesquisa ele esteja atuando, a preocupação em obter sempre as maneiras mais simples, fáceis e racionais (e por consequência mais económicas) de se construir, naturalmente, encaminha-lo-á em direção à solução de maior nível de racionalização construtiva.

Ao tomar decisões ao longo do processo de desenvolvimento do MPSCConst., o pesquisador terá nas mãos um ferramental adequado para optar pela solução mais conveniente. Partindo do pressuposto de que deva selecionar uma dentre várias soluções de desempenho funcional equivalente (decorrência do emprego da outra diretriz metodológica), a opção a ser escolhida é a que permitirá o maior grau de construtibilidade.

A preocupação constante em obter sempre a máxima construtibilidade trará para o ambiente de pesquisa uma preocupação contínua em criar soluções que sejam práticas. O sentimento de que as soluções

devam ser exequíveis, bem como devam ser executadas de forma rápida e económica, permeando o ambiente de pesquisa fará com que os pesquisadores assumam efetivamente uma postura absolutamente coerente com o objetivo da pesquisa de desenvolvimento no campo de MPSCConst. - criar ou aperfeiçoar modos de se fazer coisas.

Assim, parece-nos que a adoção do conceito de construtibilidade como diretriz de uma metodologia para o desenvolvimento de MPSCConst. é essencial. É uma das chaves indispensáveis para a solução ótima do problema. Apesar de ter sido ainda pouco estudado, devido a sua formulação recentíssima, acreditamos que o seu emprego poderá ser feito sem nenhuma dificuldade. Isto em decorrência da singeleza de sua proposição principal: - Integrar projeto e construção dentro de uma visão holística, adotar prioritariamente em todas as etapas os dados provenientes das operações construtivas e considerar que a solução ótima é a de maior construtibilidade.

4.1.2.2 DESEMPENHO

4.1.2.2.1 CONCEITUAÇÃO

O conceito de desempenho tem sido empregado desde a década de 60 como um eficiente e valioso instrumental para a criação de inovações tecnológicas na construção de edifícios.

Desempenho é definido pelo Conseil International du Batiment [CIB, 1975] como: "comportamento de um produto em utilização." De acordo com o CIB esta palavra foi introduzida no vocabulário técnico para caracterizar o fato de que um produto deve apresentar determinadas propriedades que o habilitem a cumprir suas funções, quando submetido a certas ações. Para o CIB [1975], o desempenho de um produto pode ser entendido como o resultado do equilíbrio dinâmico que se estabelece entre o produto e o meio.

O Centre Scientifique et Technique de la Construction [CSTC, 1979] concebe o desempenho como uma propriedade inerente a um dado produto, definindo-o assim: " Desempenho é a propriedade que caracteriza quantitativamente o comportamento de um produto em utilização.". Segundo o CSTC, "O desempenho de um edifício manifesta-se assim como um conjunto de propriedades que definem a sua aptidão em preencher corretamente suas diversas funções. Estas constituem a resposta técnica às exigências do usuário."

No glossário publicado pela "Industrialization Fórum" é adotada a definição de Eberhard [IF, 1972]: " O Conceito de Desempenho é um arranjo sistematizado, no qual é possível expressar os atributos desejáveis de um material, componente ou sistema, de modo a preencher as exigências do usuário, sem que se considere os específicos meios a serem empregados na consecução dos resultados. " .

Entende-se que o Conceito de Desempenho, aplicado ao processo da construção de edifícios, constitui-se em um enfoque metodológico que intervém em todo o processo e que se caracteriza por considerar o edifício como um produto que deve satisfazer a determinadas exigências. O conceito estrutura-se em uma hierarquia, que se inicia com a definição das necessidades do usuário (pessoas, animal ou objeto para o qual o edifício destina-se [ISO, 1981]) e de todos aqueles que possam vir a ser afetados pelo projeto,

planejamento, execução e construção do edifício (vizinhança, proprietários, instituições públicas, etc). A partir destas necessidades são estabelecidas as exigências do usuário - " conjunto de necessidades a serem satisfeitas pelo edifício, a fim de que este cumpra a sua função." [Souza, 1983]. Estas exigências estão relacionadas com a finalidade para a qual o edifício é projetado e para cada tipo específico de edifício (indústria, escola, habitação, terminal ferroviário, etc.) é formulado um conjunto de necessidades a serem satisfeitas.

Com base nas exigências do usuário, são definidos os requisitos de desempenho, que expressam qualitativamente os atributos que o edifício deve possuir, a fim de que possa satisfazer àquelas exigências.

Os requisitos de desempenho só poderão ser implementados se puderem ser objetivamente determinados. A determinação objetiva requer geralmente que um dado requisito seja expresso em termos de quantidades mensuráveis. Os requisitos quantificados são denominados Critérios de Desempenho [CIB, 1975].

Os requisitos e os critérios de desempenho de um edifício, associados a uma forma de avaliação bem definida, constituem as especificações de desempenho do mesmo. Entende-se que estas sejam os agentes intermediários entre as necessidades do usuário e a solução física. O CIB define-as como:" As especificações de desempenho são uma expressão das funções exigidas de um objeto, que correspondem a um uso claramente determinado." [IF, 1972].

Uma particularidade interessante dos requisitos e critérios de desempenho é a sua natureza não-prescritiva. Em decorrência, a utilização do conceito de desempenho apresenta uma característica favorável para a evolução do processo da construção de edifícios, por não induzir uma solução tecnológica particular e pré-concebida. Ou seja, não limita o espectro de soluções técnicas para um dado problema. Por conseguinte, o seu uso encoraja e estimula o desenvolvimento de inovações tecnológicas. Propicia também, a comparação de diferentes soluções, segundo critérios objetivos, de modo a tornar possível a otimização no processo de escolha de uma solução, de forma racional e tecnicamente aceitável.

Souza [1983] relaciona os campos de aplicação mais favoráveis para o emprego do conceito de desempenho. Apesar de o autor restringir os campos de aplicação à habitação, podemos generalizá-los, estendendo-os para a construção de qualquer tipo de edifício. São os seguintes:

- Desenvolvimento de produtos - O conceito fornece uma orientação racional para o desenvolvimento de produtos na área de componentes e elementos da construção, devido à caracterização, de forma precisa, dos requisitos e critérios de desempenho que eles devem atender, resultando em produtos econômicos e de qualidade;
- Elaboração de projetos - Em face do estabelecimento de especificações de desempenho precisas para o produto (edifício ou suas partes) objeto do projeto, o projetista trabalhará, tendo por parâmetros, especificações racionais e adequadas para a obtenção de um produto final que atenda às expectativas do usuário, em termos de qualidade e economia;
- Avaliação de desempenho - O conceito permite avaliar novos produtos e processos, caracterizando de forma precisa os requisitos a que eles devem atender e quais os métodos a serem utilizados na avaliação dos mesmos. Isto, por propiciar uma base objetiva e

racional para a avaliação do desempenho provável de inovações tecnológicas introduzidas no mercado; Normalização - O emprego do conceito de desempenho nas atividades de normalização permite a elaboração de normas de desempenho, as quais estabelecem as condições qualitativas e quantitativas que um produto deve atender, de acordo com a sua utilização. Tais normas não se restringem à natureza do produto, que é uma característica das normas prescritivas e, pelo seu caráter, estimulam a evolução tecnológica dos produtos existentes no mercado;

- Controle de Qualidade - Com a utilização do conceito de desempenho, é possível a implantação de um sistema de controle de qualidade baseado em certificados de homologação técnica e voltado para a caracterização do desempenho de inovações tecnológicas. A fim de avaliar-se a qualidade potencial destas, antes da sua disseminação no mercado. Quanto aos produtos existentes no mercado, o emprego das normas de desempenho, acima citadas, permite a execução de controles de qualidade estruturados em propriedades que reflitam o comportamento em utilização do produto, o que parece ser mais coerente e, em muitos casos, mais conveniente que o controle por propriedades não relacionadas com aquele comportamento.

A estes campos de aplicação, acrescentaríamos ainda o desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos, pelas mesmas razões que justificam o emprego do conceito de desempenho no desenvolvimento de produtos (ver 4.1.2.2.2).

Vários trabalhos apresentados no primeiro Simpósio Internacional sobre o Conceito de Desempenho em Edifícios, realizado em 1972 na Philadelphia, analisam o emprego das especificações de desempenho em substituição às especificações prescritivas como parâmetros de projeto. Hattis [1972] destaca as vantagens desta mudança de enfoque relacionando as principais: a) encorajamento de economias nos custos pelo aumento do espectro de soluções possíveis e pela ampliação das bases de competição; b) promoção de inovações tecnológicas; c) oportunidade para um maior controle de qualidade e d) oportunidade de assegurar uma melhor adaptação entre os intentos do usuário e as características do projeto. Parsons [1972], no entanto, coloca que a utilização do conceito de desempenho impõe uma total reformulação e reorganização da arte e da técnica de projeto, e aí reside o maior empecilho na disseminação do seu uso.

O conceito de desempenho possui um enfoque sistêmico. Aplica-se tanto ao edifício como a suas partes funcionais (elementos e componentes). Pode-se assim falar, por exemplo, em especificações de desempenho de um piso ou de uma janela. Villet [1972] afirma que: "De fato, em termos práticos, o conceito de desempenho só é aplicável a pequenas escalas de referência.". Isto se deve a que, as especificações de desempenho são mais facilmente formuladas, em termos inequívocos, quando se referirem a um nível menos complexo que o edifício. Além disto, Harrison, citado por Villet [1972], afirma que, devido à complexidade do enfoque do desempenho, a ênfase é geralmente dada na análise individualizada das especificações de desempenho. Por exemplo, são considerados distintamente as

propriedades de isolamento térmico de uma vedação e o nível de ventilação (capacidade de troca de ar) de uma janela aplicada na mesma, pois a consideração da interdependência e das interferências mútuas entre estes dois requisitos é extremamente complexa e para o seu equacionamento são necessários ainda muitos estudos.

De acordo com Souza [1983] o uso da expressão inglesa "performance requirements" data de 1930, mas somente a partir do início dos anos 60 é que o conceito passou a ser estruturado. Nos Congressos do CIB de 1962, 1965 e 1968 vários trabalhos foram apresentados sobre a aplicação do conceito ao edifício. Contudo, só na década de 70 é que o emprego do conceito de desempenho se consolidou, sendo marcos importantes: a realização do primeiro Simpósio Internacional em 1972; a criação da comissão de trabalho W-60 - "The Performance Concept in Building", no CIB em 1970 e os trabalhos intensos e amplamente difundidos, realizados pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB na França, pelo National Bureau of Standards - NBS, no caso da operação Breakthrough nos EUA, e por outros organismos europeus, no início da década.

No Brasil a introdução, difusão e ampla utilização do conceito deve-se ao Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, que o empregou no desenvolvimento da normalização de componentes e elementos para a construção habitacional e no estabelecimento de diretrizes para a avaliação do desempenho de edifícios habitacionais construídos com processos e sistemas inovadores. Para um aprofundamento no tema devem ser consultados os trabalhos de Souza [1983] e os relatórios técnicos n° 16.227 [IPT, 1981] e nQ 19.816 [IPT, 1984].

Villet [1972] , afirma que: "O conceito de desempenho foi criado e desenvolvido pela indústria e por seus grandes clientes, tendo em vista superar as ineficiências causadas por preconceitos de projeto, para permitir ou encorajar inovações e para prover melhores condições de competição entre diferentes produtos destinados a uma mesma função."

E parece-nos ser esta a concepção mais apropriada sobre a importância do conceito de desempenho para a construção de edifícios. Ele se constitui, sem a menor dúvida, em um instrumento valioso para promover-se a evolução tecnológica neste campo, e consideramos que existe hoje um consenso sobre o seu papel catalizador desta evolução.

4.1.2.2.2 DESEMPENHO COMO DIRETRIZ

No desenvolvimento de um MPSConst., que tem por objetivo a otimização dos recursos a serem empregados, deve-se previamente estabelecer o nível de qualidade que o produto final devesse apresentar, para só então, buscar-se estabelecer o equilíbrio ao longo do processo, que resulte na solução ótima associada a tal nível de qualidade.

Mas, qual nível de qualidade? Como estabelecê-lo? Como saber, com o transcorrer do processo de desenvolvimento se está sendo trilhado o caminho adequado para se atingi-lo? Como evitar que do esforço de pesquisa resulte um produto inaceitável em termos de qualidade? Ou seja, como detectar com eficiência os desvios que levam a soluções problemáticas, deficientes, inadequadas? Como tomar decisões durante o processo que sejam coerentes com o resultado esperado?

A adoção do conceito de desempenho como diretriz balizadora permite que estas questões sejam corretamente equacionadas. Assim, a introdução das especificações de desempenho, como condicionantes essenciais na etapa da formulação técnica do problema (ver item 4.2.2.2), estabelece previamente os parâmetros necessários para a definição da qualidade a ser atingida. Com o emprego do conceito de desempenho ao longo do processo este é guiado com coerência e objetividade. O balizamento por este instrumento de análise, faz com que os pesquisadores, diante de qualquer decisão, se questionem primeiramente qual das opções atendem às especificações de desempenho. Só após a seleção, é que as aprovadas são analisadas à luz do conceito de construtibilidade.

Todos os participantes do processo de desenvolvimento devem estar conscientes sobre o conceito de padrão de qualidade. Normalmente não se deseja a qualidade máxima mas sim uma qualidade padrão que, se não for atingida propiciará um produto deficiente ou se for suplantada poderá levar a um produto anti-econômico para sua classe. A falta de uma medida objetiva estabelece dificuldades conceituais graves. O conceito de desempenho, como diretriz, constituiu-se em uma ferramenta individual de análise essencialmente objetiva. O seu uso exaustivo induz à escolha continuada, pelos pesquisadores envolvidos, das variáveis que conduzem à qualidade especificada. Cada participante do processo, antes de adotar decisões, deve perguntar-se se o efeito de sua ação não provocará um desempenho deficiente ou superabundante. Só assim é possível manter-se na trilha que conduz à solução.

No patamar em que se situam os processos de produção de um edifício ou de um seu elemento funcional, que se caracterizam por sua complexidade, um pequeno problema em uma sua parte reflete no todo e interfere com inúmeras outras partes. No entanto, o desenvolvimento de um MPSCConst. é feito por partes e é essencial que seja adotado sempre uma linguagem comum, um mesmo referencial, que deve permear por todo o processo, sem o qual as partes não irão se encaixar adequadamente. Este referencial é o conceito de desempenho associado ao conceito de construtibilidade. Estas duas diretrizes devem intervir em todo o desenvolvimento, dos estudos iniciais à construção e avaliação dos protótipos e das obras piloto, passando pela concepção do todo e de seus componentes. A dinâmica de trabalho, introduzida com a adoção dos conceitos, faz com que o pesquisador se ligue a um núcleo central de direcionamento do processo que o leva sempre a considerar o todo antes de analisar a especificidade do que ele esteja executando.

O emprego coerente do conceito possui também a vantagem de superar as naturais ineficiências causadas por preconceitos de projeto. A consideração das especificações de desempenho conduz à busca de soluções sem pré-julgamentos dos meios para atingi-las. Além de abrir o leque de opções que, normalmente, se restringe àquelas que, num esquema de especificações prescritivas, estejam fundadas na experiência do pesquisador. Ou seja, o conceito de desempenho é também o caminho obrigatório para a criação de reais inovações tecnológicas.

4.2 ESTRATÉGIA DA METODOLOGIA

O termo estratégia tem a conotação de: "Arte de aplicar os meios disponíveis com vista à consecução dos objetivos específicos." [Ferreira, 1975]. Vulgarmente, ao se empregar o termo em uma frase tal como - a estratégia para resolver um problema, este vocábulo assume o significado de "plano de

ataque do problema" (para que seja factível a sua resolução). Ao empregarmos aqui a palavra estratégia estamos consignando-lhe ambos os significados.

Assim, ESTRATÉGIA DE UMA METODOLOGIA DE PESQUISA, tem neste trabalho o sentido de - "Plano geral para a condução de uma pesquisa" ou ainda, - "plano geral para a abordagem de um problema (objeto da pesquisa), de modo a tornar exequível atingir-se uma solução que atenda a objetivos pré-determinados". Nesta acepção, estratégia guarda relação com o que comumente se entende por método - "caminho pelo qual se chega a um fim" [Ferreira, 1975].

A finalidade básica de uma estratégia metodológica é a de servir de modelo para o estabelecimento, para cada específica pesquisa de desenvolvimento tecnológico, de um planejamento abrangente e preciso, coerente e racional.

O planejamento prévio, além da sua função precípua de criar um roteiro para a condução dos trabalhos, tem também a função de impor a adoção de uma visão global (ver 3.2.1) no trato do problema. Visão esta, que adquire uma fundamental importância quando o objeto do desenvolvimento apresenta superior complexidade.

A aplicação de uma estratégia adequada deve: proporcionar o preciso equacionamento do problema e de suas soluções; direcionar, segura e coerentemente o processo até a sua consecução; induzir a obtenção das melhores soluções. Em síntese, deve operacionalizar a condução otimizada de todo o processo.

Portanto, em uma proposta metodológica, a estratégia para a condução de uma pesquisa possui uma essencialidade tal qual a doutrina. E, como esta, a estratégia, no nível de proposta, tem também um caráter geral pois, a este nível não é possível abrangerem-se as especificidades de cada particular desenvolvimento.

4.2.1 FUNDAMENTOS

"The method is primarily a means of resolving a conflict that exists between logical analysis and creative thought."

J. Christopher Jones [Broadbent, 1973]

Anteriormente definimos que a criação e o aperfeiçoamento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos (MPSCConst.) é uma atividade inserida na pesquisa de desenvolvimento tecnológico na Engenharia de Construção Civil (PDTECC, definida em 2.3.4).

Concluimos ainda que: a PDTECC valida-se quando der origem a uma efetiva inovação tecnológica no setor (ver 2.3.4 e 3.1.1); uma inovação tecnológica é resultado de um processo de criação de tecnologia (ver 2.3.3) e enquanto criador de tecnologia o engenheiro (que estará atuando em PD&E e, em particular, na PDTECC) utiliza-se de um processo de criação específico, denominado projeto de engenharia ("engineering design", ver 2.3.2).

A conceituação de projeto de engenharia, feita por Gibson [1968] reforça estas conclusões: "Projeto de Engenharia e pesquisa de desenvolvimento podem ser conjuntamente consideradas como o projeto no seu sentido amplo, no qual sintetizamos ou desenvolvemos uma solução para um problema e

supervisionamos a transposição da mesma para a realidade."

Tanto a criação de inovações tecnológicas, como a atividade de projeto de engenharia, para serem bem sucedidas, não prescindem de estratégias para a condução do processo criativo. Em consequência, serão nas estratégias destas atividades que iremos fundamentar a que estamos propondo, principalmente na de projeto (que é menos genérica que a de criação de inovações tecnológicas).

A seguir analisamos as estratégias em dois níveis. No item 4.2.1.1 abordamos a sequência de eventos e atividades implícitas no nível macro - o processo como um todo. No item 4.2.1.2 é analisada a sequência de decisão, relacionada com as estratégias adotadas individualmente, a nível micro.

4.2.1.1 SEQUÊNCIA DE EVENTOS E ATIVIDADES

A criação de uma inovação tecnológica ou de um projeto de engenharia desdobra-se em uma sequência de eventos encadeados cronologicamente, quase sempre com estágios iterativos, os quais podemos agrupar em etapas e fases de características distintas.

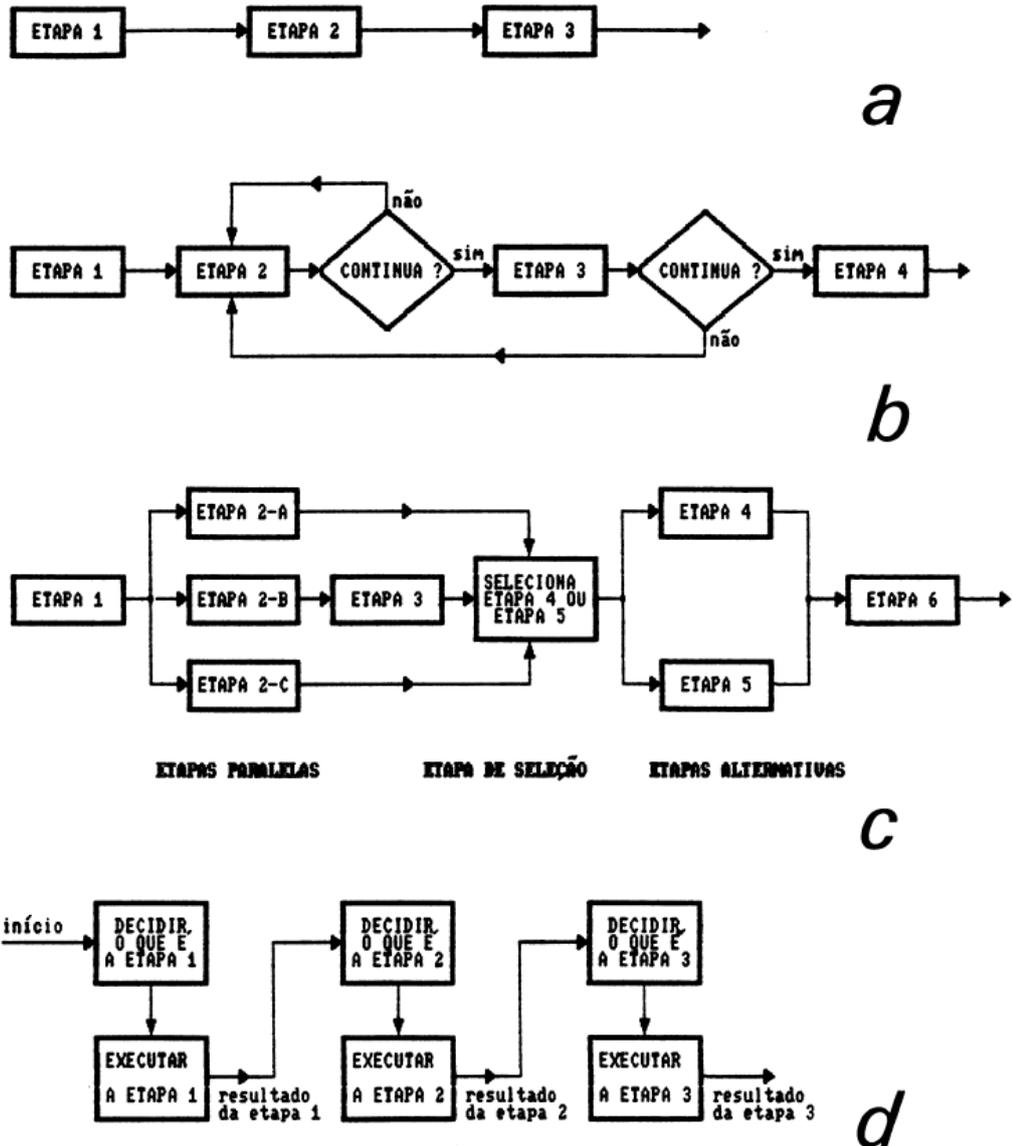


FIGURA 4.1 Estratégias de Projeto, segundo Jones [1970]:

a) linear; b) cíclica; c) ramificada; d) adaptativa

A estruturação ordenada destas etapas que, no seu todo caracterizam uma específica metodologia, produz um modelo operacional para a resolução de problemas semelhantes. Este modelo tem sido diversamente denominado, no caso do projeto de engenharia, por diferentes autores. Asimow [1962] e Markus [Markus et alii, 1972] denominam-no de morfologia do projeto (por ser relativo à estrutura e à forma de um corpo organizado). Broadbent [1973] e Hill [1970], de processo do projeto. Christopher Jones, no seu clássico trabalho "Design Methods" [Jones, 1970], designa os diversos tipos de modelo por estratégias de projeto.

No trabalho citado, Jones [1970] classifica os diversos tipos de estratégia segundo o modo de encadeamento das etapas. Na figura 4.1 estão representadas esquematicamente os quatro principais tipos. Os três primeiros: linear; cíclica e ramificada, são também classificados como estratégias pré-planejadas nas quais a sequência é rigidamente fixada. No quarto tipo - estratégia adaptativa, só a primeira ação de

projeto é decidida antes do início. A escolha das etapas seguintes é função do resultado das etapas precedentes. Apesar de ela representar o anti-método, de acordo com Jones [1970] muitos profissionais preferem esta estratégia por "permitir o emprego da habilidade humana (ou animal) de agir corretamente por intuição."

Morris Asimow, professor da Universidade da Califórnia, foi quem estabeleceu precursoramente, segundo Broadbent [1973], um modelo para o disciplinamento operacional de um projeto de engenharia. Este modelo, descrito pela primeira vez no livro "Introduction to Design - Fundamentals of Engineering Design" [Asimow, 1962] e repetidamente transcrito por outros autores, continua atual e válido no entender dos que o citam.

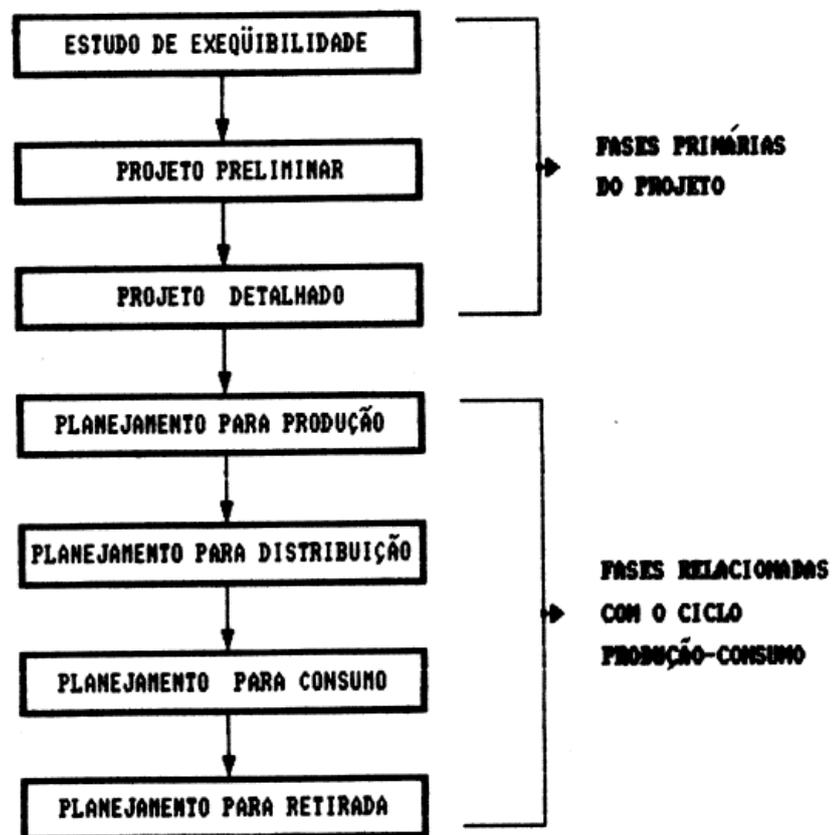


Figura 4.2 Morfologia de um Projeto, segundo Asimow [1962]

O modelo de Asimow compreende sete fases. Na Figura 4.2 a estratégia (linear) da metodologia está esquematicamente representada. As três primeiras fases formam o conjunto primordial e são denominadas por Asimow de fases primárias. As quatro outras constituem uma segunda parte e são relativas ao ciclo produção-consumo (não são analisados em profundidade pelo autor).

Na estratégia de Asimow [1962], a fase inicial, de estudo de exequibilidade, tem por objetivo investigar se existe uma necessidade potencial, se podem ser encontradas possíveis soluções e se o problema pode ser formulado tecnicamente. O resultado da fase deve ser um conjunto de soluções úteis. A

meta do projeto preliminar é determinar qual das alternativas possíveis apresenta melhor potencialidade de desenvolvimento e estabelecer uma concepção geral para o projeto. A finalidade da fase de projeto detalhado é a de obter uma descrição de engenharia de uma solução testada e aprovada.

Os passos principais das fases do modelo de Asimow [1962] são:

a) Estudo de Exequibilidade

- análise da necessidade e decisão sobre a validade de sua existência econômica;
- identificação e formulação técnica do problema;
- análise da exequibilidade física;
- análise da exequibilidade econômica e
- análise da exequibilidade financeira.

b) Projeto Preliminar

- seleção da melhor concepção experimental;
- formulação analítica;
- estabelecimento dos parâmetros de projeto;
- ajustamento dos parâmetros por análises diversas;
- otimização e estabelecimento da solução;
- previsão do desempenho do sistema;
- avaliação da concepção escolhida e
- simplificação da solução.

c) Projeto Detalhado

- desenvolvimento das concepções gerais;
- projeto geral dos sub-sistemas;
- projeto geral dos componentes;
- projeto detalhado das partes;
- projeto detalhado das montagens (acoplamentos das partes);
- construção de protótipos;
- programa de testes de protótipos;
- análise e previsão do desempenho e
- reprojeção.

Os passos de cada uma das fases, no modelo de Asimow, apresentam caráter iterativo. No entanto, para o autor, um projeto bem sucedido deve ser altamente convergente na fase do projeto detalhado,

exigindo apenas poucas iterações para alcançar-se uma solução final, como uma decorrência do sucesso das fases anteriores.

O modelo de Asimow, segundo Broadbent [1973] , surgiu como decorrência da procura de estratégias de ação, adequadas ao desenvolvimento de produtos e sistemas complexos, no período entre o final da Segunda Grande Guerra e o início da "era" espacial. E se fundamentou nos novos campos das ciências de engenharia, que se desenvolveram na mesma época, como a Engenharia de Sistemas e a Pesquisa Operacional.

A morfologia do projeto de Asimow é comparada por Jones [1970] com o "Plano de Trabalho" do Royal Institute of British Architects (RIBA). Jones conclui pela notável similaridade das fases entre a sequência de trabalho do projeto de engenharia e do projeto de arquitetura. A estratégia da metodologia proposta pelo RIBA divide o projeto em doze (12) etapas. As três primeiras: encetamento; exequibilidade e proposição de esboços equivalem, segundo Jones, à primeira fase de Asimow, que se caracteriza por ser uma fase de acúmulo de informações, de proposição de possíveis soluções dentro de uma visão de conjunto e de avaliação de viabilidade. As etapas seguintes são denominadas, pelo RIBA, de projeto esquemático e projeto detalhado e correspondem exatamente às do modelo de Asimow. As sete etapas restantes estão também relacionadas com o ciclo de produção e consumo descrito por Asimow, não obstante, a nomenclatura sensivelmente diversa.

Em apoio à constatação de Jones, Bruce Archer ao defender uma tese sobre as bases da ciência do projeto [Archer, 1970] afirma que: "Nenhum empenho é aqui feito para distinguir entre o projeto arquitetônico, urbano, de engenharia e industrial. Na verdade, é um elemento essencial na filosofia desta tese, que a natureza lógica do ato de projetar é largamente independente do caráter da coisa projetada."

A mesma divisão da estratégia em três fases, e com a mesma nomenclatura de Asimow, é adotada por Beakley em "Design Serving the Needs of Man" [Beakley, 1974] . O autor, porém, aprofunda a análise sobre a fase considerada mais crítica, a do estudo de exequibilidade. Ele destaca que as ideias e possibilidades geradas nesta fase devem ser examinadas para ver quais, de fato, podem ser construídas e em quais os benefícios potenciais excedem os custos.

Todas as alternativas de projeto devem ser checadas quanto à: aceitabilidade em satisfazer às especificações pré-estabelecidas; compatibilidade com os princípios conhecidos da ciência e da engenharia; compatibilidade com o meio; compatibilidade entre as características da opção e as demais partes do sistema, e comparação da opção com outras soluções conhecidas do problema. Beakley enfatiza ainda, a necessidade de que o processo atinja sempre a fase de completção de um modelo ou protótipo operacional, o qual deve ser exaustivamente avaliado.

O modelo proposto por Hill [1970] para o processo do projeto é muito semelhante ao processo de inovação tecnológica apresentado por McLoughlin [1970] (transcrito na Figura 2.2) pois, considera como uma fase do projeto as etapas de fabricação, distribuição e consumo. Na Figura 4.3 descreve-se diagramaticamente a sequência de etapas operacionais proposta pelo autor. Hill engloba suas doze etapas em cinco fases:

- fase de definição - etapas 1 e 2;
- fase de criação - etapas 3,4,5 e 6;
- fase de verificação - etapas 7 e 8;
- fase de apresentação - etapa 9;
- fase de comercialização - etapas 10,11 e 12.

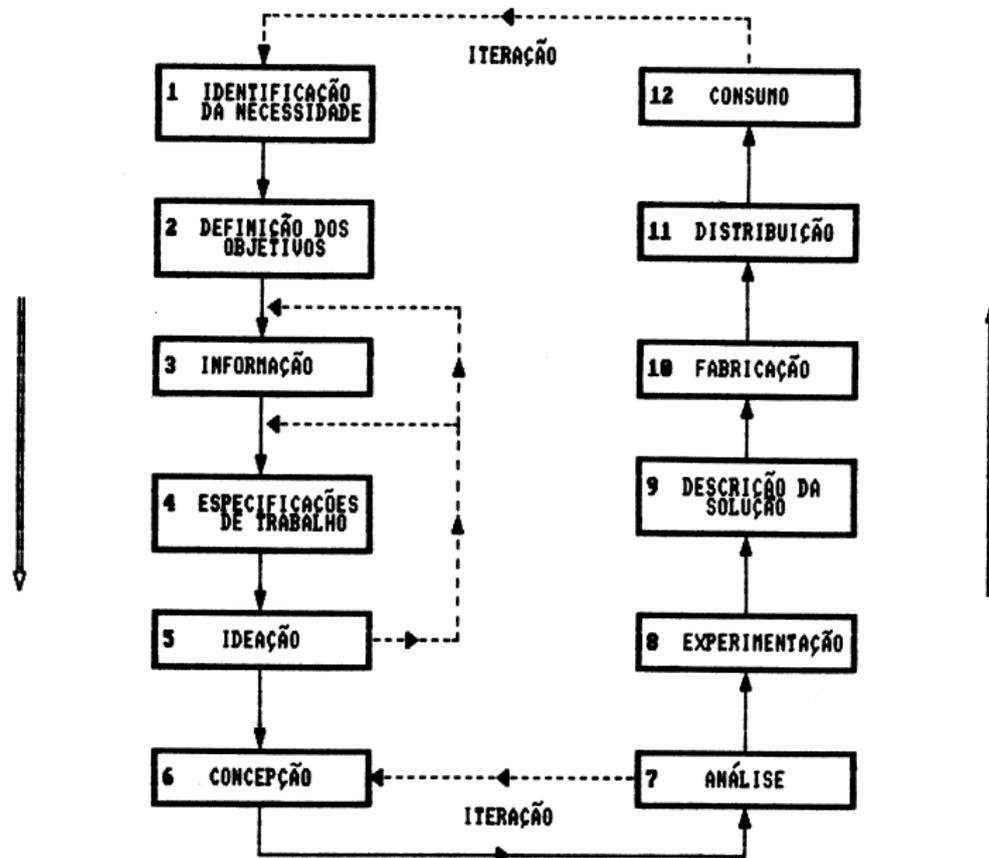


Figura 4.3 O Processo do Projeto, segundo Hill [1970]

As estratégias analisadas não limitam o alcance de sua utilização ao desenvolvimento de um particular produto ou processo, pois tem caráter geral. No entanto, ao realizar uma intensa e extensa pesquisa bibliográfica tínhamos por objetivo buscar modelos específicos para o desenvolvimento de MPSCnst.. Nesta procura encontramos uma única proposição, feita pelos editores da revista "Industrialization Fórum" [IF, 1970].

O modelo é abrangente e se propõe a ter validade para o desenvolvimento de sistemas construtivos os mais variados e, por isto tem um caráter genérico. Ao analisá-lo, verificamos que suas grandes etapas são bastante semelhantes às do modelo de Hill [1970] para o processo do projeto de engenharia ou de McLoughlin [1970] para o processo de inovação tecnológica. Na Figura 4.4 o modelo da IF é reproduzido com simplificações e adaptações.

Alguns aspectos merecem destaque na estratégia proposta pela IF. Um deles é a sistemática adotada de constantes avaliações permeando entre as etapas de ação. Outro aspecto é a abordagem restritiva considerada nas etapas de estudos prévios (2a 4) que, praticamente, só leva em conta as informações de mercado, com 4.4 Estratégia para o Desenvolvimento de Sistemas Construtivos, segundo a "Industrialization Fórum" [1970] . Fluxograma simplificado e adaptado pelo autor para a convenção estabelecida na Figura 4.8. destaque para as que se referem aos sistemas construtivos e à tipologia dos edifícios pré-existentes. Um terceiro ponto interessante é a exclusiva sugestão de racionalizar as rotinas de trabalho antes de cada iteração entre as etapas de avaliação (6) e de concepção (5).

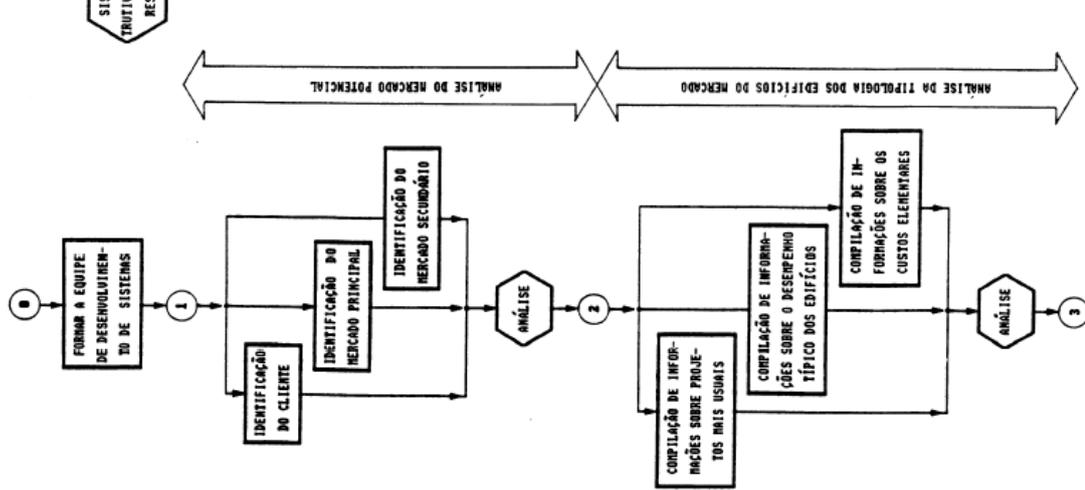


Figura 4.4 Estratégia para o Desenvolvimento de Sistemas Construtivos, segundo a "Industrialization Forum" [1970]. Fluxograma simplificado e adaptado pelo autor para a convenção estabelecida na Figura 4.8.

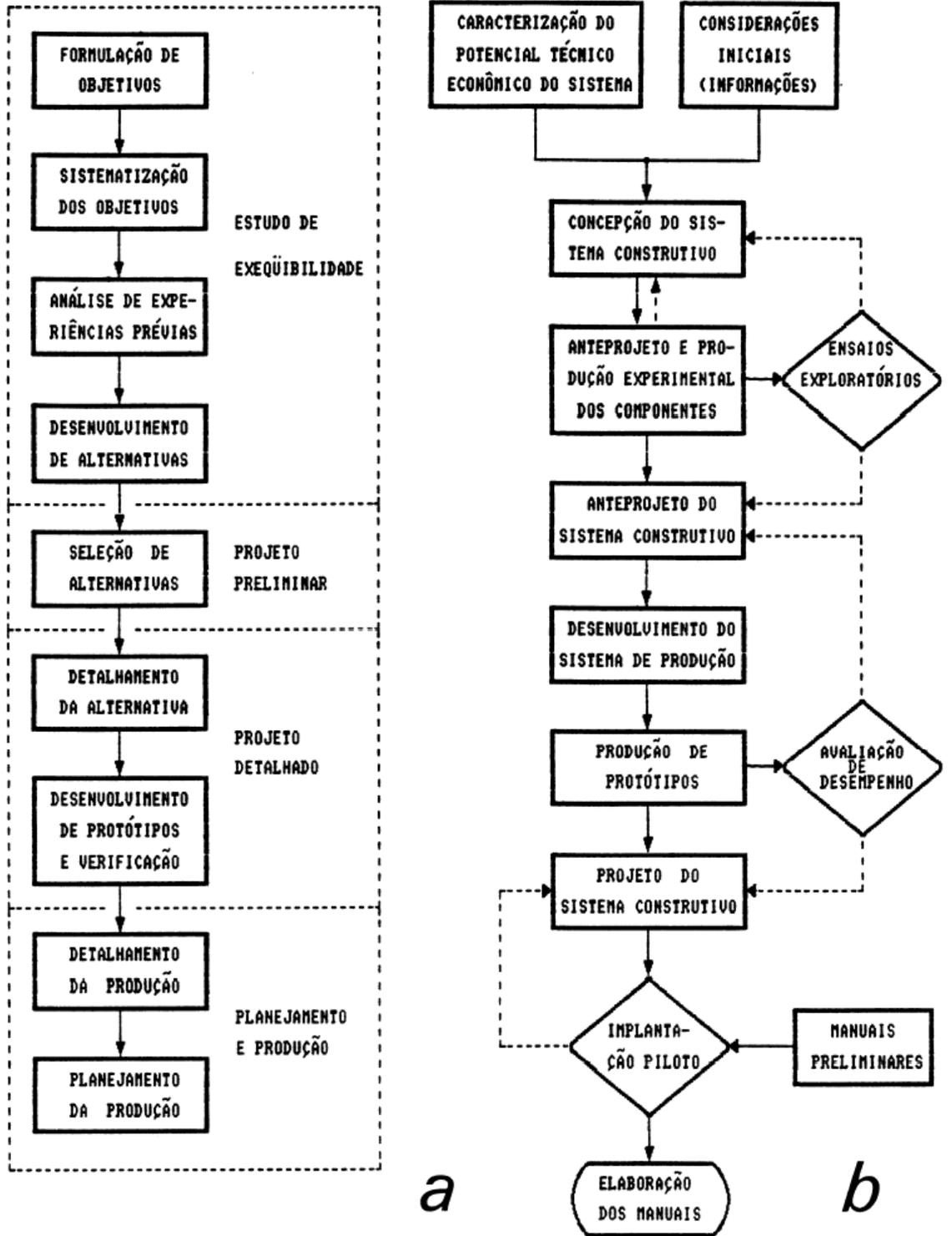


Figura 4.5 Estratégias de: a) Lucini [1985] e b) Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) [Mitidieri & Cavaleiro, 1985]

Encontramos, também, duas outras estratégias, empregadas por pesquisadores com objetivos específicos. Lucini [1985], formulou uma estratégia em um estudo de caso sobre o desenvolvimento de um sistema construtivo por uma empresa construtora. A estratégia, que Lucini denominou de "Estruturação do Processo de Concepção", foi por ele empregada como um auxílio para a análise "a posteriori" do processo de concepção. A outra estratégia se constitui em parte da metodologia utilizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT [Mitidieri & Cavalheiro, 1985], no desenvolvimento de um sistema construtivo de painéis cerâmicos. Na Figura 4.5 as duas estratégias estão representadas esquematicamente (na do IPT transcrevemos a simbologia original).

4.2.1.2 SEQUÊNCIA DE DECISÕES

Criar um novo produto ou processo ou aperfeiçoar os já existentes é uma ação complexa que, em síntese, é resolver um problema complexo. Ou seja, significa encontrar uma solução adequada para um problema previamente formulado. As estratégias para solucionar o problema como um todo são as analisadas no item anterior.

No entanto, operacionalmente podemos subdividir o problema macro em problemas discretos, tão simples que a sua resolução dar-se-á a nível do pesquisador. Assim, para resolvê-los, poderemos lançar mão de uma estratégia a nível de decisões pessoais.

Krick, em seu livro - "An Introduction to Engineering and Engineering Design" [1965], coloca claramente a questão, quando analisa a estratégia para a resolução de problemas adotada por um engenheiro envolvido na atividade de projeto. De acordo com o autor, o engenheiro, ao se defrontar com um complexo problema de projeto, deve iniciar sua resolução estruturando-o em sub-problemas bem definidos, que possam ser individualmente solucionados. Então, empregando o que ele denomina de processo solucionador geral, o engenheiro segue uma específica sequência de procedimentos que permiti-lo-a equacionar a solução ótima para o problema.

Na realidade ao representarmos esquematicamente o modelo de Asimow deveríamos fazê-lo como na Figura 4.6. É que, a par da estrutura vertical (Figura 4.2), denominada por Asimow [1962] de morfologia do projeto, o autor descreve uma estrutura horizontal -o processo para a resolução de problemas.

Devemos assim considerar duas diferentes sequências em uma estratégia metodológica para o desenvolvimento de produtos e processos. Uma, de caráter vertical, que corresponde a um modo de estruturar ordenadamente os problemas (ou um conjunto de problemas relacionados) a serem resolvidos. A outra sequência (horizontal), normalmente não é representada (por estar implícita e se situar a nível individual) e compreende a sequência de procedimentos a serem adotados para resolver-se cada um dos problemas.

Broadbent [1973] denomina esta sequência horizontal de sequência de decisão e alerta para o fato de que, erroneamente, muitos supõem ser esta sequência o próprio processo do projeto (ou estratégia ou morfologia do projeto, segundo a nomenclatura de outros autores). Broadbent caracteriza a diferença essencial entre o processo do projeto e a sequência de decisão afirmando, em concordância com J.K. Page, que: "o primeiro é uma maneira de se estruturar a ordem na qual um vasto número de decisões devem ser

tomadas. "

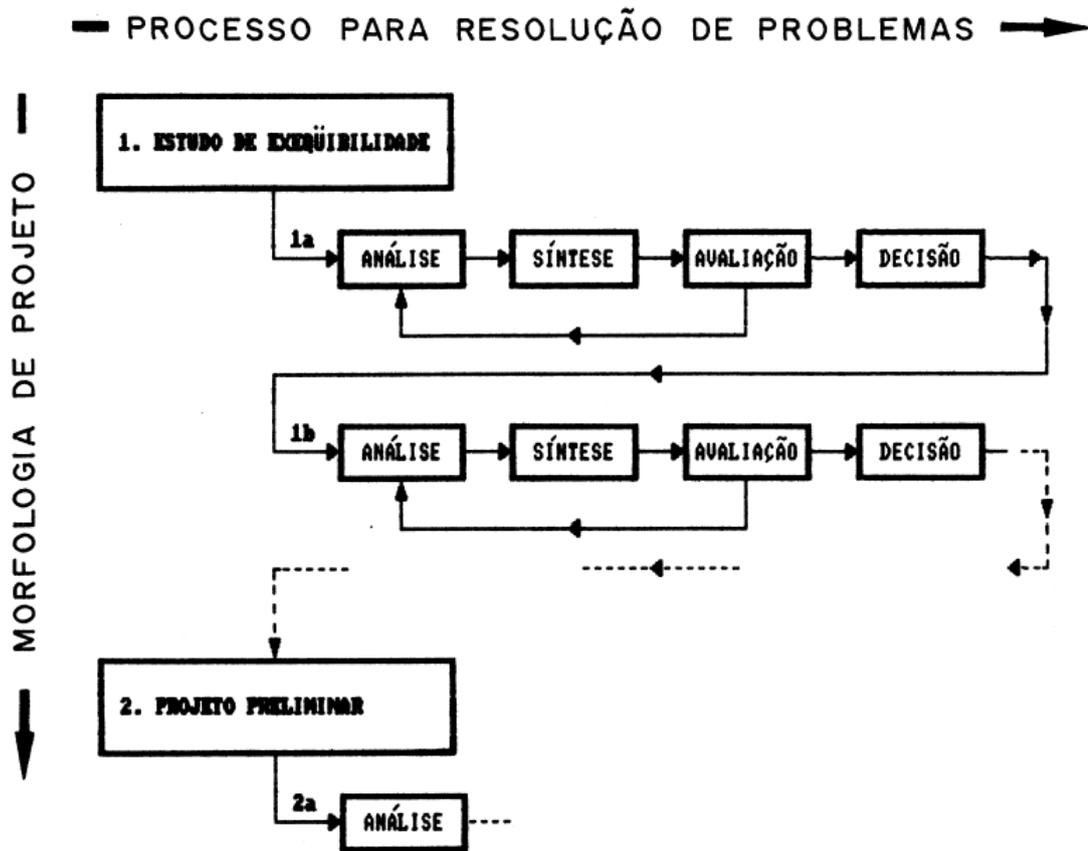


Figura 4.6 Sequências Vertical e Horizontal do Modelo de Asimow [1962] para o Projeto de Engenharia.

O processo solucionador geral, recomendado por Krick [1965] , compreende as seguintes etapas (de decisão):

- a) Formulação do Problema - na qual o problema é definido em termos relativamente amplos e genéricos, com ênfase nos estados de entrada e saída (o que se tem e o que se quer);
- b) Análise do Problema - quando o problema passa a ser definido em termos relativamente pormenorizados. Compreende a coleta, o exame, o processamento e a seleção de informações, visando determinar as características específicas do problema;
- c) Procurar as Soluções Alternativas - formulação das possíveis soluções para o problema;
- d) Decisão - etapa durante a qual as soluções são avaliadas, comparadas e eliminadas até dentre elas surgir a melhor, e
- e) Especificação - etapa que resulta na descrição completa das características e do desempenho da solução escolhida.

A grande maioria dos autores consultados estabelecem, para a sequência de decisão, basicamente

três etapas essenciais. Jones [1970] e Broadbent [1973] denominam-nas por: análise, síntese e avaliação. Na primeira etapa o problema é decomposto, de modo a identificar-se claramente: os objetivos, o problema e seus requisitos, as restrições e dificuldades, as relações intrínsecas, etc. Na etapa de síntese são procuradas soluções, na medida em que cada uma delas se constitui em uma síntese dos elementos que a compõe. A etapa de avaliação consiste em contrapor as soluções alternativas frente às especificações do problema. Estas etapas têm caráter iterativo e se retroalimentam ciclicamente, de maneira a, progressivamente, tornarem-se menos gerais e mais detalhadas, até o reconhecimento da melhor entre todas as possíveis soluções.

Alguns autores dividem a última etapa em avaliação e decisão [Markus, 1972; Asimow, 1962]. A etapa de decisão é uma etapa de escolha da melhor solução e é o fim do processo, não se encaixando na estrutura cíclica das etapas precedentes. Corresponde ainda à etapa de ligação, que promove o avanço para a próxima fase da estratégia metodológica. Asimow [1962] acrescenta ainda uma outra etapa - revisão, para melhor caracterizar o procedimento cíclico do processo.

Esta estratégia para a solução de problemas, a qual Jones [1970] denomina processo das três etapas e classifica como uma estratégia sistêmica, é chamada por Lawson (citado por Cross [1986]) de estratégia concentrada no problema ("problem focussed").

Uma outra forma de solucionar problemas é a que Lawson designa por estratégia concentrada na solução ("solution focussed"). Esta estratégia (anti-sistêmica) consiste em propor soluções para o problema (síntese) sem antes tê-lo analisado. Lawson acredita que "Deste modo descobre-se mais a respeito do problema e sobre o que é uma solução aceitável para ele.", e que, com esta estratégia "Os projetistas irão desenvolver uma metodologia que não depende de completar-se a análise do problema antes que a síntese possa iniciar-se.". Cross [1986] critica esta estratégia (que Lawson acredita ser natural para o projeto convencional de arquitetura) afirmando que: "Esta é presumivelmente uma abordagem típica para a solução de problemas mal definidos. Porque, se o problema é mal definido é inevitável a ênfase na geração precoce de uma solução".

Na verdade, se enfocarmos o processo de resolução de problemas com o ótica do método científico veremos que a estratégia sistêmica, anteriormente descrita, não difere do processo de investigação científica. Rosenblueth [1980], no tratado de epistemologia de Bunge, descreve as etapas de um ciclo de investigação (científica ou tecnológica) como sendo:

- a) Discernir o problema;
- b) tratar de resolver o problema com a ajuda do conhecimento (teórico ou empírico) disponível; se a tentativa não for bem sucedida, elaborar hipóteses ou técnicas capazes de resolver o problema e assim obter uma solução para o mesmo com o auxílio do novo instrumental;
- c) por à prova a solução, e
- d) efetuar as correções necessárias nas hipóteses ou técnicas ou mesmo na formulação do problema original.

Identificamos perfeitamente as fases de análise em a), síntese em b) e avaliação em c), correspondendo à fase d) a iteração cíclica do processo. Segundo Villoro [1980], este ciclo é uma

estratégia de resolução de problemas, denominada por ele de "estratégia de investigação científica".

4.2.2 O PLANO DE AÇÃO

O problema global é o desenvolvimento de métodos, processos ou sistemas construtivos. A estratégia que propomos é uma sugestão de como enfrentar este problema e conduzir otimizada o processo da sua resolução. Ou seja, estamos considerando a estratégia como um plano geral de ataque do problema, ou um PLANO DE AÇÃO.

A estratégia proposta tem caráter amplo, apesar de que em alguns aspectos envereda por detalhes. Este caráter amplo justifica-se pela abrangência de sua destinação - operacionalizar a Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológico na Engenharia de Construção Civil (PDTECC) no campo da criação e aperfeiçoamento de tecnologias construtivas.

Face a esta abrangência não é possível atingir-se um nível de detalhamento que venha a abordar aspectos específicos de cada particular desenvolvimento, mesmo porque, a rigor estes aspectos se constituem nas táticas (particulares meios utilizados para por em prática a estratégia) a serem empregadas. Desta forma, o plano de ação enfoca a sequência de eventos e atividades que se constituem nas sucessivas etapas da estratégia e as suas correspondentes relações de dependência. As etapas são agrupadas em fases (etapas de maior amplitude) e fragmentadas em sub-etapas (passos de trabalho). As principais informações a serem consideradas e o seu fluxo no processo são também descritas, bem como os mais relevantes pontos de decisão da estratégia.

4.2.2.1 FASES E ETAPAS

4.2.2.1.1 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

A criação de uma nova forma de se construir um edifício ou uma sua parte inicia-se com a identificação de uma necessidade a ser atendida e só se completa com o pleno atendimento daquela necessidade. A partir de estudos iniciais, que irão delinear o problema, evolui-se até a ampla disseminação do MPSCConst. com a construção em escala de mercado. Ou seja, o processo tem início e fim no mercado.

O modelo é em tudo semelhante ao voltado para a criação de uma inovação tecnológica. Pode-se dizer que o MPSCConst. gerado no processo só passa a ter existência real quando for atingida a fase de comercialização, quando estiver efetivamente implantado no mercado. Se esta implantação não ocorrer pode-se afirmar que os esforços redundaram em um insucesso.

Acreditamos que, também neste campo, as forças de mercado ("market pull", ver 2.2.3) constituem-se no principal agente motivador da criação de inovações tecnológicas, pois o avanço científico-tecnológico ("technology push") tem ainda, no campo de edificações, uma importância secundária.

Identificamos entre as etapas extremas uma sequência de doze etapas distintas. A estas doze etapas denominamos:

01. Estudos iniciais;
02. Concepção do MPSCConst.;
03. Projeto de componentes e elementos;
04. Projeto de produção do edifício (ou de suas partes);
05. Produção experimental de componentes e elementos;
06. Projeto e construção de protótipos;
07. Avaliação dos protótipos e do MPSCConst.;
08. Consolidação da tecnologia;
09. Divulgação;
10. Construção em escala piloto;
11. Aperfeiçoamento da tecnologia, e
12. Construção em escala de mercado.

Na **Figura 4.7** representamos graficamente as etapas e as linhas de fluxo das sequências cronológica e de retroalimentação. Estas sequências descrevem a interdependência entre as etapas. Nesta Figura indicamos apenas duas linhas de fluxo de informações: as que se referem à alimentação do estado da arte das tecnologias construtivas. A simbologia adotada em todos os fluxogramas (figuras 4.7 à 4.22) da estratégia esta ilustradas na Figura 4.8.

As doze etapas da estratégia metodológica proposta podem ser agrupadas em quatro fases em função de particularidades organizacionais e operacionais que as caracterizam:

- I. CONCEPÇÃO;
- II. VERIFICAÇÃO;
- III. DESCRIÇÃO;
- IV. COMERCIALIZAÇÃO.

A **fase de concepção** engloba as etapas 1 a 4 e se caracteriza por ser um estágio do processo de desenvolvimento "de prancheta" e voltado para a atividade criativa e para a coleta e seleção de informações. Nesta fase as idéias são materializadas apenas na forma de modelos, tais como representações gráficas, icônicas, matemáticas ou diagramáticas e as experiências (simulações) são feitas apenas com estas representações da realidade. Os modelos criados são estudados considerando-se uma ampla gama de parâmetros e refinados até a obtenção de um padrão considerado adequado para então, iniciar-se a experimentação com produtos e processos reais.

A **fase de verificação** é uma fase centrada na produção e avaliação experimental dos modelos criados na fase anterior, com as finalidades de verificar a conformidade do MPSCConst.-físico com o modelo projetado e de, principalmente, aperfeiçoá-lo. É uma fase que se desenvolve em laboratórios, em plantas industriais e em canteiros de obra experimentais. Nesta fase, rica em análises e sínteses sucessivas,

realimenta-se a concepção do MPSCConst. com os resultados experimentais obtidos, induzindo a evolução do mesmo, de um modelo imperfeito e incompleto até um modelo consistente e muito bem definido. A fase de verificação reúne as etapas 5 a 7.

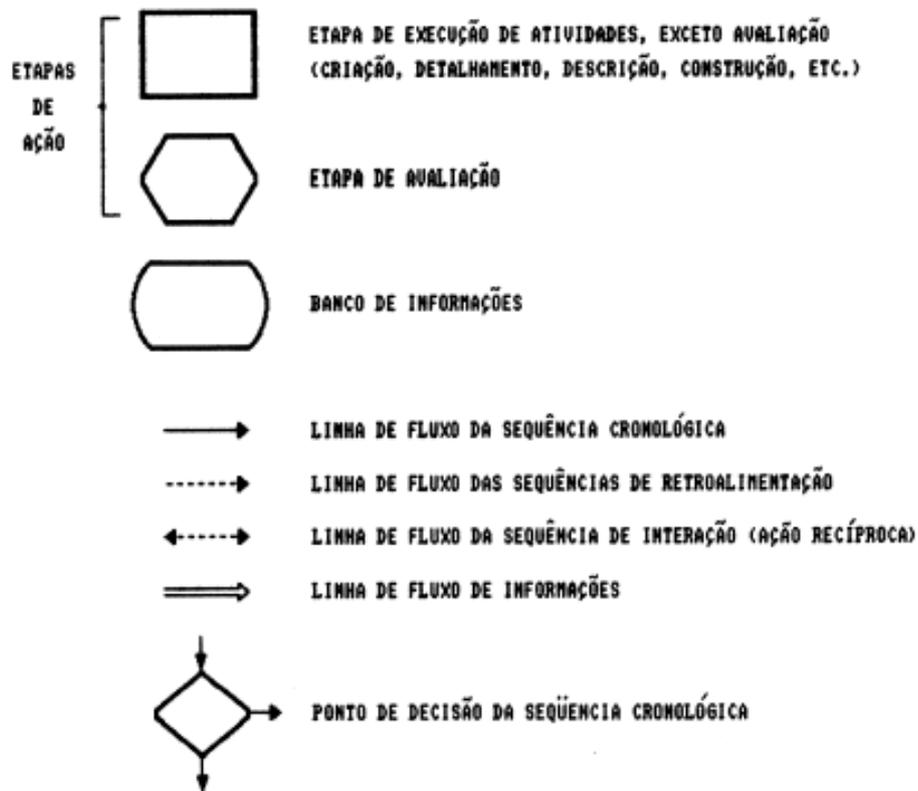


Figura 4.8 Simbologia Adotada nas Representações Gráficas da Estratégia (fluxogramas)

Na **fase de descrição** promove-se a consolidação da tecnologia desenvolvida nas fases de concepção e verificação e projeta-se e planeja-se a sua implantação no mercado. É uma fase intermediária do processo de desenvolvimento, levada a efeito no mesmo ambiente de pesquisa no qual se realizou a fase de concepção e se confunde com a etapa 8.

A **fase de comercialização** consiste na introdução e manutenção do MPSCConst. no mercado. Pode ser dividida em dois estágios de características distintas. No primeiro, a implantação do MPSCConst. dá-se em escala restrita e reúne as etapas 9 e 10 (comercialização piloto). O segundo estágio é o da ampla disseminação no mercado (etapas 11 e 12) e contém uma etapa que promove a evolução constante do MPSCConst. Denominamo-la - comercialização disseminada.

Na Figura 4.9 representamos graficamente as fases da estratégia proposta e aquelas dos modelos de Asimow [1962] e Hill [1970], para comparação.

ETAPAS

Neste item, exploramos cada uma das etapas, caracterizando-as e definindo os seus limites.

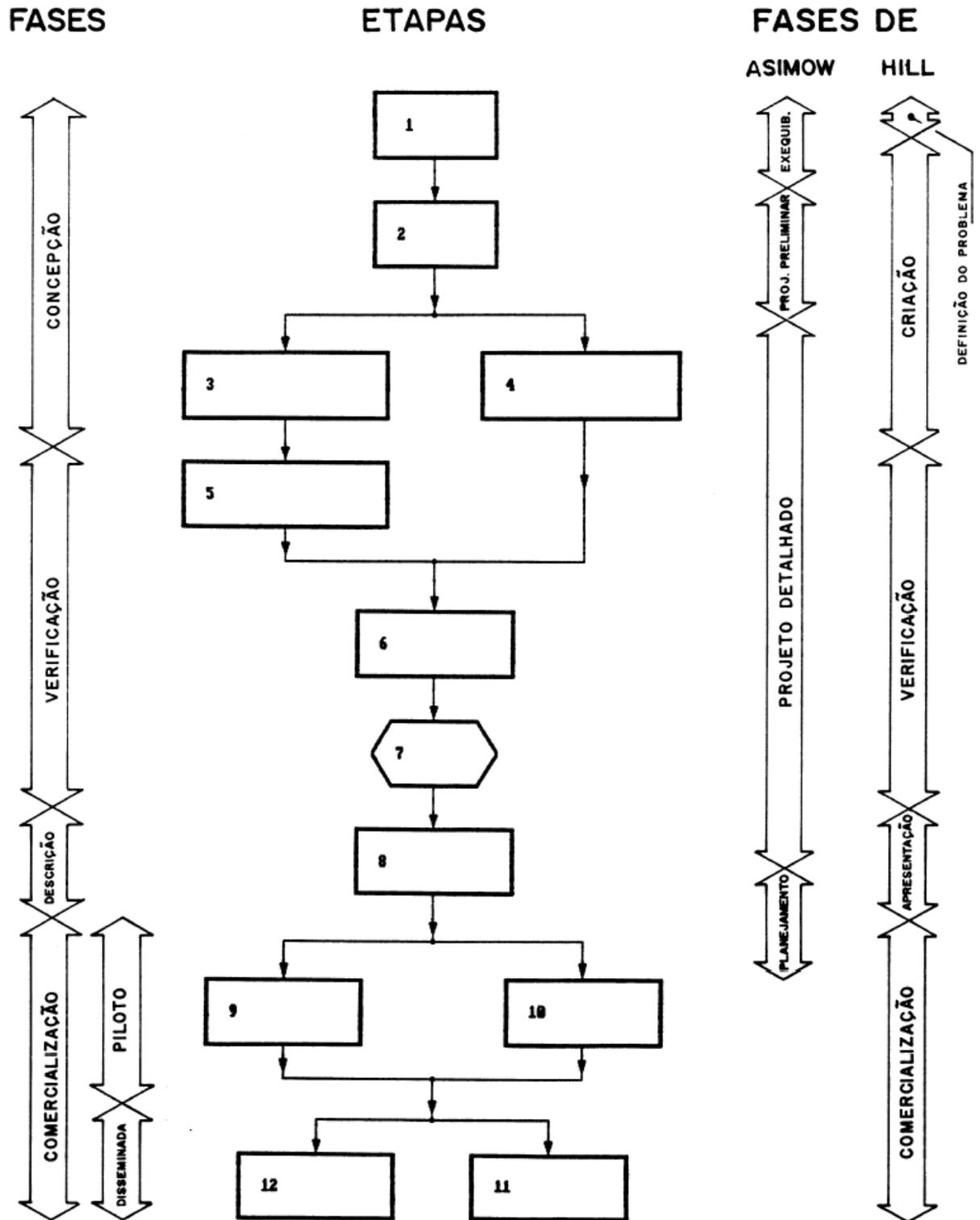


Figura 4.9 Fases da Estratégia Proposta, da Estratégia de Asimow [1962] e da de Hill [1970]

ETAPA 1 - ESTUDOS INICIAIS

A etapa de estudos iniciais adquire uma importância vital na estratégia metodológica proposta. Por isto, é a que detalharemos mais minuciosamente, descrevendo-a passo a passo no item 4.2.2.2.1. O conjunto de metas desta etapa consiste em: identificar a necessidade e a validade em se desenvolver um MPSCConst.; formular tecnicamente o problema e formular um conjunto de soluções exequíveis. Dar seguimento ao processo de desenvolvimento, sem atingir-se plenamente estas metas, provavelmente conduzi-lo-á ao insucesso ou a uma solução inferior. Duas instâncias de análise de viabilidade técnico-econômico-financeira podem ser identificadas na etapa. Na primeira, analisa-se a oportunidade do desenvolvimento do produto. Na segunda, após a concepção de soluções alternativas, analisa-se a exequibilidade das mesmas. O resultado final da etapa é o conjunto de soluções possíveis e um extenso banco de informações que serão úteis nas etapas seguintes.

ETAPA 2 - CONCEPÇÃO DO MPSCConst.

A etapa de concepção do MPSCConst inicia-se com o conjunto de soluções exequíveis, formulado nos estudos iniciais, e resulta, em um primeiro estágio, em um projeto preliminar do MPSCConst.

Objetiva-se estabelecer uma concepção geral para o MPSCConst., o qual servira de guia para o detalhamento posterior (etapas 3 e 4) . A concepção geral deve fixar as características funcionais, formais e construtivas do MPSCConst. e de suas partes. No estágio inicial de um ciclo iterativo, formado por esta etapa e pelas subsequentes, obtém-se uma síntese provisória (o projeto preliminar) do MPSCConst., que será progressivamente desenvolvida por realimentação das análises e sínteses efetuadas nas etapas 3 e 4. Estas etapas, por sua vez, serão realimentadas em um segundo ciclo iterativo, pela etapa 5 e, em um terceiro ciclo, pela etapa 7 (item 4.2.2.1.3). Assim, a evolução do projeto dar-se-á ciclicamente até atingir-se a concepção consolidada na etapa 8.

Para a criação do projeto preliminar, a partir de soluções formuladas nos estudos iniciais, será necessário cumprir uma sub-etapa de seleção, estruturada na análise comparativa do desempenho esperado das soluções e que deverá definir a alternativa mais factível. A sub-etapa seguinte, de concepção propriamente dita, subentende atividades de avaliação não experimentais, a partir da análise de modelos icônicos e de simulações diversas.

ETAPA 3 - PROJETO DE COMPONENTES E ELEMENTOS

O enfoque sistêmico, a ser empregado na concepção do MPSCConst., induz à hierarquização do mesmo em elementos funcionais e componentes.

A partir da concepção geral, desenvolve-se nesta etapa o projeto dos componentes e dos elementos. Da mesma maneira que na etapa antecedente, o primeiro estágio resulta em um projeto preliminar, o qual será refinado em três ciclos iterativos distintos (4.2.2.1.3). Esta etapa desenvolve-se em paralelo com a

etapa 4 e as duas se alimentam mutuamente.

O projeto dos componentes e elementos abrange a definição das características funcionais, formais e materiais e os projetos para produção e avaliação experimental dos mesmos. O processo de concepção nesta etapa inicia-se com a formulação de soluções alternativas, para cada um dos componentes e elementos, coerentes com a concepção geral do MPSCConst. e sujeitas ao mesmo processo de decisão empregado na escolha daquela. É essencial manter-se nesta etapa a visão do conjunto (sistêmica) para que ao se otimizar o projeto de uma parte, não se encontre uma solução desvantajosa para o sistema como um todo.

ETAPA 4 - PROJETO DE PRODUÇÃO DO EDIFÍCIO (OU DE SUAS PARTES)

Nesta etapa, realizada em paralelo com a anterior, são definidas as técnicas construtivas (e também os métodos, no caso do objeto do desenvolvimento ser um processo ou um sistema) construtivos e projetados os detalhes de execução (fixação, acabamento, montagem, embutimento, moldagem, etc.) que irão permitir a construção do edifício ou de suas partes em acordo com o prescrito na concepção geral. Ou seja, são aqui especificadas as soluções e os procedimentos construtivos para montar, acoplar, unir os elementos e componentes projetados na etapa 3 e moldar, assentar, dispor os demais materiais a serem empregados. Em síntese, nesta etapa é realizado o projeto de produção do edifício ou de suas partes.

Da mesma forma que nas etapas de concepção do MPSCConst. e de projeto dos componentes e elementos, o projeto de produção do edifício evolui em ciclos iterativos, iniciando-se por um projeto preliminar e avançando progressivamente até a solução consolidada. O primeiro passo do processo é, também, a formulação de soluções alternativas, que serão analisadas e passarão por um processo de seleção consoante com a concepção geral do MPSCConst.

A evolução iterativa do projeto de produção deve ter como parâmetro indutor da progressão em busca da solução ótima o aperfeiçoamento da construtibilidade. O mesmo deve ocorrer na etapa 3. E, desta maneira, consideramos que o aperfeiçoamento da construtibilidade é o principal responsável pela dinâmica do processo evolutivo (supondo-se que em todos os estágios do desenvolvimento os critérios de desempenho estejam sendo preenchidos).

ETAPA 5 - PRODUÇÃO EXPERIMENTAL DE COMPONENTES E ELEMENTOS

Com a conclusão da fase de concepção, inicia-se a fase de verificação, na qual a primeira etapa é a produção experimental dos componentes e elementos projetados na etapa 3. O objetivo desta etapa é o de produzir, em quantidade adequada, os componentes e elementos necessários para a construção do protótipo (ou protótipos). Para atingir-se este objetivo tem-se de cumprir diversas sub-etapas.

O processo inicia-se com a produção de um número reduzido de exemplares. Até isto ser conseguido, podem ser necessárias várias alterações no projeto original, efetuadas iterativamente junto com as etapas 3 e 4, no sentido de aperfeiçoar a produtibilidade dos componentes e elementos. Os exemplares produzidos serão então submetidos às avaliações definidas na etapa 3, a fim de caracterizá-los e de verificar

se atendem aos critérios pré-estabelecidos de desempenho. E aqui, outras alterações poderão ser necessárias, no sentido de aperfeiçoar o desempenho, antes que se atinja o objetivo da etapa.

ETAPA 6 - PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS

A construção de protótipos (modelo físico operacional, em escala real) é uma etapa de fundamental importância no desenvolvimento de MPSCConst.. É com a realização física completa do que havia sido concebido que se criam as condições efetivas para a avaliação da exequibilidade do projeto. Somente com a construção do primeiro protótipo é que será possível determinar-se o real desempenho e a construtibilidade do MPSCConst..

Beakley & Chilton [1974] afirmam que: "O primeiro protótipo será usualmente incompleto e modificações e alterações serão necessárias. É isto que se espera. Problemas até então não antecipados podem ser identificados, características indesejáveis podem ser eliminadas e o desempenho projetado pode ser observado pela primeira vez."

A etapa incorpora duas sub-etapas distintas: o projeto e a construção do protótipo (ou protótipos). Quando o objeto do desenvolvimento for um processo ou um sistema construtivo, o protótipo é um edifício. Neste caso, será projetado um específico tipo de edifício que, preferencialmente, deve ser do mesmo tipo que o mais indicado para a utilização do processo ou sistema construtivo. A construção do protótipo deve ser feita a uma velocidade tal, que permita a introdução de alterações (motivadas pela detecção de problemas não previstos) durante o transcorrer da mesma.

As incertezas intrínsecas à concepção original, que medraram sem solução por todo o processo de desenvolvimento, deverão ser equacionadas nesta etapa. A resolução deste conjunto de incertezas é um dos objetivos do ciclo evolutivo alimentado pela etapa de avaliação.

ETAPA 7 - AVALIAÇÃO DOS PROTÓTIPOS E DO MPSCONST.

A etapa de avaliação de um protótipo é caracterizada por dois estágios bastante distintos. O primeiro, permeia pela etapa anterior e se constitui em uma avaliação continuada durante o projeto e principalmente a construção do protótipo. O outro é definido pelas avaliações que são realizadas após a conclusão deste.

Ambas adquirem grande importância porque são responsáveis pela realimentação das etapas anteriores (3 a 6). Induzindo, portanto, a implementação de um ciclo evolutivo de caráter essencial dentro do processo de desenvolvimento, que irá promover a otimização da solução e reduzir ao mínimo as incertezas.

Na avaliação realizada durante a etapa de projeto e construção do protótipo detectam-se principalmente falhas na solução original de concepção do MPSCConst. e na construtibilidade do mesmo. O reconhecimento destas deficiências promoverá modificações nos projetos de componentes e elementos e de produção (além de reorientar o projeto e a construção do próprio protótipo).

Por outro lado, na avaliação pós-construção, que é efetivada com o MPSCConst. em serviço,

determinam-se as deficiências no comportamento em uso, ou seja, no desempenho do edifício ou de suas partes. As modificações induzidas por esta avaliação serão incorporadas às etapas de projeto (3 e 4). Se outro protótipo vier a ser construído provocarão também alterações na produção de elementos e componentes e no projeto e construção do mesmo.

A etapa de avaliação contém ainda uma sub-etapa final, voltada para a reflexão sobre todo o processo de desenvolvimento levado a efeito até aqui e para a otimização global do MPSCConst., de modo a maximizar a racionalização construtiva. Esta análise crítica do MPSCConst. é o alicerce da etapa seguinte, de consolidação da tecnologia e resulta em uma síntese final das fases de concepção e verificação - o reprojeto.

ETAPA 8 - CONSOLIDAÇÃO DA TECNOLOGIA

Todo o caminho percorrido nas etapas 1 a 7 foi dentro do ambiente de pesquisa, tendo por limites os das instituições responsáveis pelo desenvolvimento do MPSCConst.. Antes de iniciar a fase vital, de comercialização, o processo de desenvolvimento deve ser preparado para ter continuidade em um ambiente muito mais amplo e complexo - o mercado.

A esta etapa intermediária denominamos - consolidação da tecnologia. Contudo, ela encerra em si mais do que o seu nome possa sugerir (ação de tornar consistente a tecnologia até então desenvolvida), pois é nesta etapa que deve ser projetada e planejada, de forma precisa e minuciosa, a fase seguinte, de comercialização.

Assim a etapa de consolidação da tecnologia pode ser dividida em duas sub-etapas distintas. Na primeira, de caráter descritivo, deverão ser preparados documentos que contenham todas as informações pertinentes ao MPSCConst., as quais deu-se consistência nas sub-etapas da etapa anterior (análise crítica e reprojeto), como por exemplo: dados sobre o desempenho do MPSCConst. e de suas partes; projeto detalhado para produção do MPSCConst. (inclui: pranchas gráficas com detalhes de montagem, acoplamentos, fixações; descrição das técnicas e métodos construtivos; tipologia dos edifícios; leiautes mais adequados; padrão de modulação, etc); dados econômicos; dados sobre os condicionantes de uso, etc. Estes documentos têm as funções de materializar no "papel" a tecnologia desenvolvida (função importantíssima para que a tecnologia não seja perdida, como é comum acontecer com as tecnologias da construção civil, no país) e de servir de base para a confecção de manuais técnicos na etapa de divulgação.

A segunda sub-etapa é a de projeto e planejamento para a fase de comercialização. Vários estágios podem ser identificados nesta sub-etapa:

- Projeto e Planejamento para a produção de componentes e elementos - processos de fabricação, sistema de controle de qualidade, especificações de produtos, sistema de fluxo de informações, etc.;
- Planejamento da Divulgação e Distribuição - canais e sistemática de divulgação, cronogramas de implementação no mercado, estratégia de distribuição, sistema de fluxo de

informações para realimentação da tecnologia, etc;

- Projeto e Planejamento do Consumo - projeto para manutenção; projeto para a operação; planejamento da assistência técnica; projetos para ampliações, mudança de destinação, alteração no leiaute; sistema do fluxo de informações para aperfeiçoamento da tecnologia, etc, e
- Planejamento para Revitalização da Tecnologia e Retirada do Mercado - planejamento da evolução da tecnologia, planejamento para pesquisa continuada, planejamento da obsolescência, projeto para retirada do mercado e assistência ao mercado pós-re-tirada, etc..

Como se vê esta é uma etapa complexa e de grande amplitude. No entanto, acreditamos que para o sucesso da implantação do MPSCConst. no mercado ela adquire uma essencialidade impar. A tendência hoje é, após um relativo longo período de tempo de gestação, avançar, por impaciência, rapidamente no mercado. Nesta estratégia metodológica procuramos deixar claro que isto não é uma boa política.

A etapa de consolidação da tecnologia é também a que alimenta o "estado da arte" sobre MPSCConst. As informações, atingindo o nível de consistência próprio desta etapa, deverão ser incluídas no estágio do conhecimento local sobre o assunto e com isto contribuir para a evolução da tecnologia neste campo.

ETAPA 9 - DIVULGAÇÃO

Qualquer inovação tecnológica, para ser introduzida em um mercado consumidor, obriga o investimento em uma etapa de divulgação. Pelas particularidades inerentes à inovação em MPSCConst. a divulgação destes deve ser feita em dois níveis, de características sensivelmente diferenciadas: a divulgação técnica e a divulgação comercial.

A divulgação técnica engloba: palestras, conferências, seminários, publicação de trabalhos técnicos, apresentação de trabalhos em simpósios e congressos, promoção de simpósios, edição de livros e manuais técnicos, demonstrações em campo e laboratoriais, entrevistas técnicas, etc. Esta divulgação deve ser feita, em um primeiro estágio, pelos pesquisadores que desenvolveram a tecnologia. Não só pelo inquestionável grau de conhecimento do problema que estes apresentam, mas, principalmente, porque esta é uma obrigação inalienável dos que se dedicam à pesquisa - transmitir à coletividade o conhecimento produzido. Além destes fatores, é importante que os pesquisadores atuem na divulgação técnica porque eles são os vetores do aperfeiçoamento da tecnologia e há necessidade de que eles absorvam diretamente as respostas do mercado que promoverão tal aperfeiçoamento. Pela confiabilidade, riqueza e agilidade que esta prática proporciona.

A divulgação comercial é, sem dúvida, um campo estranho à atividade de pesquisa tecnológica. No entanto ela possui grande importância para o sucesso de toda a pesquisa. Por isso deve ser planejada eficientemente e para isto deve contar com todas as informações técnicas pertinentes, que deverão estar

consolidadas em documentos completos.

A etapa de divulgação como etapa definida da estratégia metodológica, encerra-se com o início da construção em escala de mercado, quando então passa a ser uma atividade normal de comercialização. Neste ponto a divulgação técnica deixa de ser uma atividade de pesquisa de desenvolvimento tecnológico e incorpora-se ao esquema comercial de divulgação do MPSCConst..

ETAPA 10 - CONSTRUÇÃO EM ESCALA PILOTO

A construção de protótipos é feita em uma escala experimental, em condições de trabalho e em um ritmo de produção diversos da construção em escala industrial. Esta característica mascara diversos problemas e deficiências do MPSCConst. que só irão se manifestar quando do início da produção pelas indústrias de construção de edifícios.

Se a construção, em seu primeiro estágio, se der já em escala de mercado, aquelas deficiências multiplicar-se-ão e poderão assumir um caráter incontrolável, comprometendo assim a efetiva implantação do MPSCConst. no mercado.

Deste modo, deve existir uma etapa de comercialização do MPSCConst. na qual a construção de edifícios ou suas partes, seja efetuada em uma escala reduzida, para que a detecção das deficiências não causem problemas em níveis elevados e para que haja possibilidade de efetivar as correções em tempo hábil. Denominamos esta construção em escala reduzida por - construção em escala piloto.

As principais características desta etapa são: a) utilização do MPSCConst. pelas indústrias de construção, permitindo assim a sua adequação ao sistema produtor e b) o limitado número de repetições do seu emprego.

A etapa de construção em escala piloto deve ser considerada como uma fonte importante de geração de informações para o aperfeiçoamento da tecnologia. A apropriação e o manejo destas informações são feitos na Etapa 11.

Pode-se considerar que as etapas 9 e 10 constituem um primeiro estágio da fase de comercialização, um estágio de ajustamento, de adequação ao mercado, de perscrutação. São etapas importantes mas, após alimentar com informações a etapa seguinte, de aperfeiçoamento da tecnologia, esgotam-se como etapas do processo de desenvolvimento (não fazem parte de um ciclo iterativo posterior).

ETAPA 11 - APERFEIÇOAMENTO DA TECNOLOGIA

O desenvolvimento de um MPSCConst. não se encerra com a sua implementação no mercado. O processo é dinâmico e a interação com o mercado provocará uma pressão no sistema, no sentido de fazer com que o MPSCConst. aperfeiçoe-se constantemente.

Esta pressão deve ser detectada na medida em que surge e, respostas terão de ser elaboradas de modo a dissipá-la, evitando que a entropia (medida do grau de desordem) do sistema cresça a níveis indesejáveis.

Estrategicamente, deve-se criar um mecanismo que promova o aperfeiçoamento constante do MPSCConst., em consonância com sua disseminação no mercado. Este mecanismo é a manutenção do processo de desenvolvimento tecnológico em atividade no transcorrer da vida útil do MPSCConst..

Portanto, na estratégia metodológica está prevista uma etapa, a qual denominamos - aperfeiçoamento da tecnologia, que tem por objetivos fazer a manutenção do sistema e promover a sua evolução quando as forças de mercado ("market pull") assim o determinarem.

As atividades nesta etapa são desenvolvidas em qualquer dos ambientes de pesquisa envolvidos no processo. Ou na instituição que levou a efeito o desenvolvimento, ou na empresa que comercializa o MPSCConst. Evidentemente, isto só é possível se o aperfeiçoamento for encarado como uma etapa da estratégia metodológica e não como um trabalho isolado (à margem, portanto, da sequência de desenvolvimento tecnológico).

As informações geradas nas etapas de divulgação, construção em escala piloto e construção em escala de mercado, são incorporadas à tecnologia nesta etapa, gerando sucessivas consolidações da mesma. Assim, a etapa de aperfeiçoamento contém uma sub-etapa de consolidação contínua, alimentada por informações geradas na fase de comercialização piloto (etapas 9 e 10) e realimentada ciclicamente pelas informações produzidas na fase de comercialização disseminada (etapa 12).

A etapa de aperfeiçoamento da tecnologia, se efetivada da maneira como descrita, irá também alimentar constantemente o "estado da arte" da tecnologia dos MPSCConst. contribuindo para a evolução do conhecimento neste campo.

ETAPA 12 - CONSTRUÇÃO EM ESCALA DE MERCADO

É a etapa final. Sua presença na estratégia é justificada pela existência da etapa 11. Se houver um mecanismo que permita a realimentação do processo de desenvolvimento com as informações oriundas da construção em escala de mercado então, esta se constitui em uma etapa, e de grande importância para todo o processo.

Esta importância advém da riqueza de informações que a construção em grande escala propicia, em termos de evolução das técnicas, de racionalização construtiva, de criação de detalhes otimizados, de minimização de custos por simplificações, de soluções criativas para problemas não antecipados, etc.

A apropriação destas informações de forma adequada e a sua incorporação ao processo de desenvolvimento tecnológico induz à evolução do MPSCConst. objeto do processo, mais do que qualquer estímulo intrínseco ao mesmo, e fomenta ganhos significativos para a tecnologia local relativa aos modos de se edificar.

Necessariamente, se a etapa 11 não se firmar por ações e instrumentos apropriados, a construção em escala de mercado apesar de ser um fato não é uma etapa do desenvolvimento tecnológico mas apenas um estágio do desenvolvimento econômico.

4.2.2.1.3 CICLOS ITERATIVOS

O desenvolvimento de um MPSCConst. não é um processo linear, mas um processo que se distingue pelo retorno a etapas já percorridas após atingir-se um estágio posterior a elas, no qual são geradas informações que irão realimentá-las. Ou seja, é um processo que avança cronologicamente através de contínuas iterações entre as suas etapas, caracterizando uma sequência com laços fechados, de modo cíclico.

Assim, informações obtidas em etapas posteriores no tempo (ou paralelas) irão realimentar etapas anteriores (ou paralelas), alterando alguns parâmetros já estabelecidos (ou introduzindo novos parâmetros) que por sua vez, ao serem considerados, irão provocar novas alterações nas etapas que se seguem. Forma-se então um ciclo iterativo que, por realimentação ("feedback") sucessiva, provoca a evolução do processo. Na estratégia metodológica proposta identificamos quatro sequências cíclicas principais entre as etapas. A par destas, ocorrem inúmeros outros ciclos iterativos entre as diversas sub-etapas de cada etapa. Pela sua importância dentro do plano de ação, iremos aqui dar destaque àqueles quatro ciclos.

Ao primeiro denominamos **ciclo da concepção**, por acontecer entre etapas da fase de concepção (2, 3 e 4). Na Figura 4.10 representamos esquematicamente este ciclo. Ele é induzido por duas ligações iterativas: uma devida à iteração entre as etapas de projeto de componentes e elementos (etapa 3) e de projeto de produção do edifício (etapa 4) e a outra devida à realimentação que estas duas provocam na etapa de concepção (geral) do MPSCConst.

A concepção inicial do MPSCConst. é ainda pobre, incompleta, às vezes algo inconsistente e, seguramente, contém incoerências entre suas partes. Ao se avançar para as etapas subsequentes (que se desenvolvem em paralelo) as incoerências irão sendo identificadas, equacionadas e resolvidas. Os detalhamentos dos projetos tornarão mais completa a concepção inicial. Ao se proceder a estes detalhamentos modificar-se-ão provavelmente algumas premissas consideradas na elaboração daquela concepção inicial, alterando-a. As modificações introduzidas deverão induzir novos detalhes, novas soluções e até novos produtos e processos, que realimentam um novo ciclo.

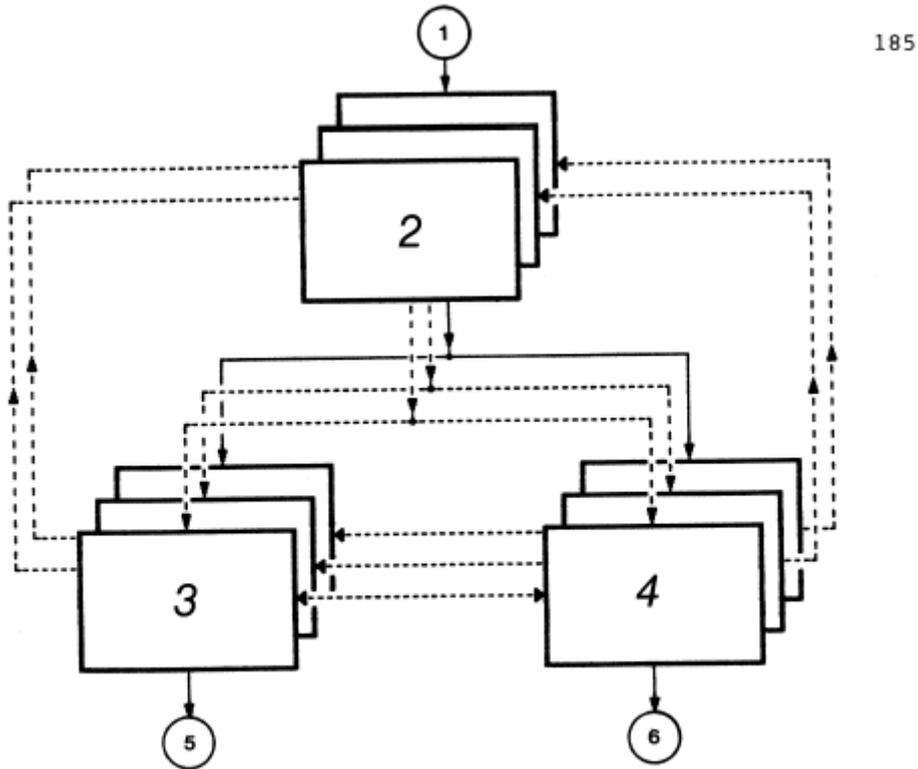


Figura 4.10 Fluxograma do Ciclo Iterativo da Fase de Concepção

Por refinamento sucessivo, baseado no aprofundamento e aperfeiçoamento da concepção inicial, obtém-se uma solução provisória para o problema definido nos estudos iniciais - o projeto preliminar do MPSConst.. Uma solução ainda "de prancheta", mas que deve ser a mais apurada e completa que se puder obter antes da produção experimental.

O segundo ciclo ocorre quando da etapa de produção experimental de componentes e elementos. Ao se iniciar a produção dos componentes e elementos projetados na etapa 3 é lícito esperar-se que ocorram problemas ligados, por exemplo, à inadequada produtibilidade ou à incapacidade dos produtos em atenderem aos critérios de desempenho especificados, ou aos custos previstos, ou à mudanças nas características das matérias primas, etc. As soluções para estes problemas serão geralmente encontradas nas etapas anteriores por: mudança de especificações, proposição de alternativas, alteração de detalhes irrealizáveis, realocação de custos, substituição de processos de produção, etc.

Estas ações realimentarão as etapas anteriores promovendo revisões nos projetos originais, as quais poderão, por sua vez, criar novos problemas na etapa de produção dando, portanto, continuidade a um ciclo iterativo bem característico.

Neste ciclo, que denominamos - **ciclo da produção experimental de componentes e elementos**, procede-se a um primeiro refinamento do projeto preliminar que, ao final do ciclo terá evoluído significativamente sem, no entanto, modificar o seu caráter provisório. A Figura 4.11 descreve graficamente este ciclo.

O projeto preliminar só adquirirá a sua consistência final (na forma de um reprojeto), após evoluir através do último ciclo antes da fase de comercialização - o **ciclo concepção - verificação**.

Este ciclo é induzido pela etapa 7, de avaliação dos protótipos e do MPSCConst.. Conforme descrito no item 4.2.2.1.2 as avaliações realizadas nesta etapa realimentam as etapas 3, 4 e 6, provocando alterações nos projetos desenvolvidos nas etapas 3 e 4 (e modificados nos ciclos iterativos anteriores) bem como na construção dos protótipos. Naturalmente qualquer modificação no projeto desenvolvido até a etapa avaliatória implicará em alterações em cadeia que adquirem um caráter cíclico antes de se estabilizarem.

O ciclo iterativo concepção-verificação, representado na Figura 4.12, é, em grande parte, o responsável pela otimização do MPSCConst.. Se a sequência de desenvolvimento assumisse uma feição linear, da fase de concepção para a de avaliação e desta para a comercialização, seria possível obter-se uma solução para o problema formulado no início do processo. Porém, seguramente, a solução encontrada não seria a melhor que pudesse ser obtida (mantendo-se as restrições inalteradas).

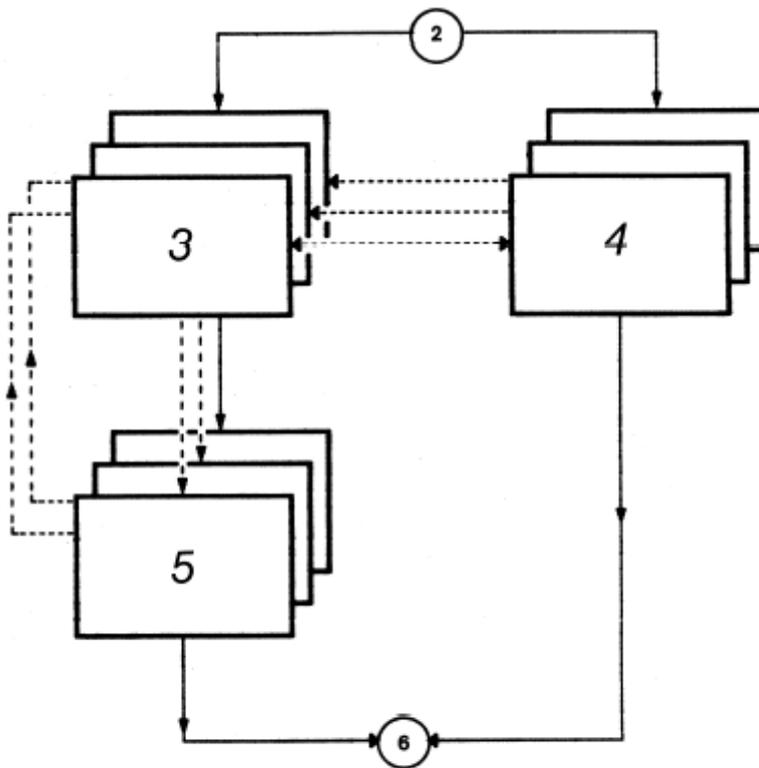


Figura 4.11 Fluxograma do Ciclo Iterativo da Produção Experimental de Componentes e Elementos

Assim, é fundamental que se realize, não só a etapa 7 de avaliação, mas, principalmente, a realimentação do projeto e o seu aperfeiçoamento, antes que se possa agir no sentido de consolidar a tecnologia desenvolvida.

Outra característica deste ciclo é que ele possui um estágio final diferenciado dos ciclos anteriores. Pois, quando a etapa de avaliação entra na sub-etapa de análise crítica do MPSCConst. o ciclo transforma-se em uma atividade de evolução recíproca e "pari passu" das etapas iniciais (3 e 4) e da etapa final (fluxo iterativo), sem reciclar as etapas 5 e 6, até a consecução do reprojeto.

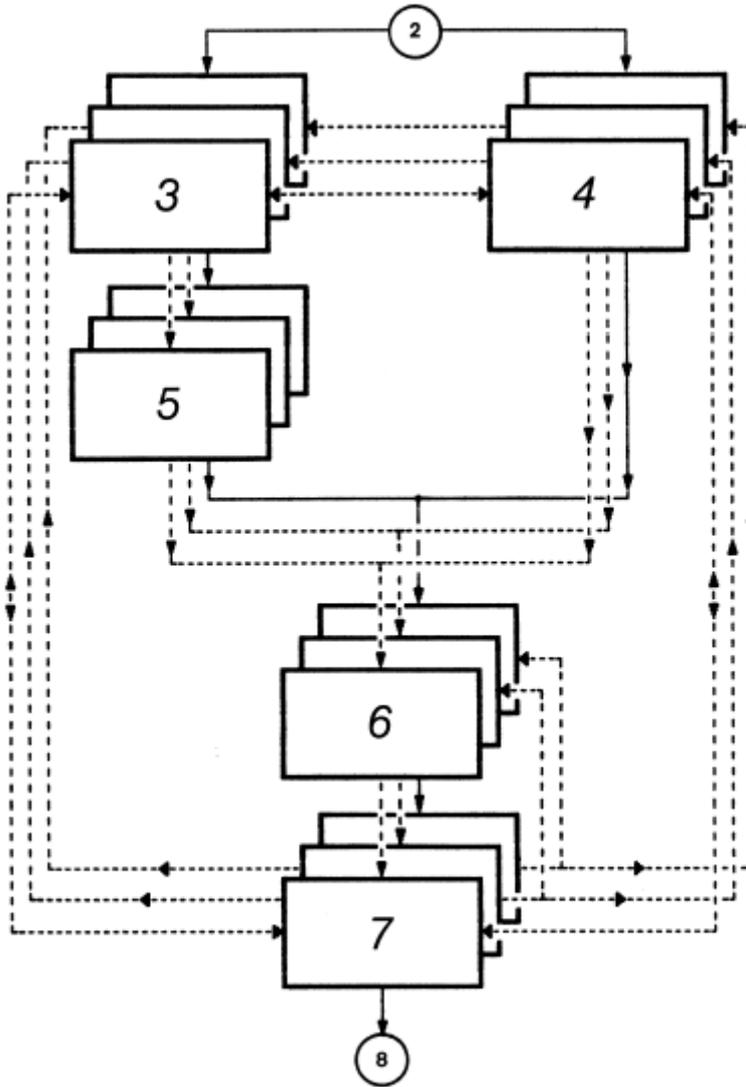


Figura 4.12 Fluxograma do Ciclo Iterativo Concepção-Verificação

O quarto ciclo principal é também um fluxo iterativo, que se manifesta entre as etapas de construção em escala de mercado e a de aperfeiçoamento da tecnologia (se esta última for efetivamente implantada) e denominamo-lo - **ciclo de aperfeiçoamento**.

A interação entre as etapas 11 e 12 gera um ciclo fechado entre o mercado e a consolidação da tecnologia, intrínseco à etapa de aperfeiçoamento. Este ciclo provoca sucessivas consolidações do MPSCConst., como decorrência da própria evolução do processo de desenvolvimento. Na Figura 4.13 procuramos representar o fluxograma deste ciclo. Conforme descrito em 4.2.2.1.2, a segunda consolidação da tecnologia ocorre na etapa 11 e é decorrência das informações geradas nas etapas 9 e 10. A mútua realimentação das etapas 11 e 12 deve prosseguir até a retirada do MPSCConst. do mercado e segue, durante este período, fomentando constantemente "o estado da arte" das tecnologias construtivas (este ciclo está também explicitado na Figura 4.22).

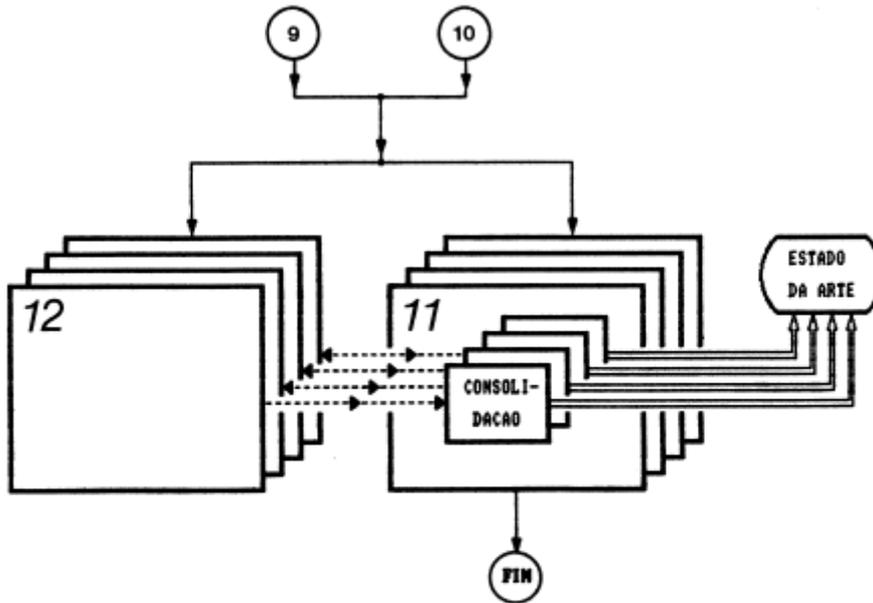


Figura 4.13 Fluxograma do Ciclo Iterativo de Aperfeiçoamento

4.2.2.2. SUB-ETAPAS

4.2.2.2.1 FASE DE CONCEPÇÃO

Algumas das etapas da estratégia metodológica precisam ser detalhadas para que possam ser adequadamente compreendidas e empregadas em uma pesquisa de desenvolvimento tecnológico de MPSCConst..

Não pretendemos, porém, enfatizar detalhes minuciosos ou os que se relacionam mais com táticas específicas (indicadas para um determinado MPSCConst.) do que com a visão holística e o caráter genérico que procuramos imprimir ao enfoque metodológico.

Assim, optamos por descrever, preferencialmente por representações diagramáticas, as sub-etapas, as sub-sequências de atividades, o tipo de relacionamento entre sub-etapas, etc. As explicações textuais foram empregadas nas situações em que isto se mostrar importante para um melhor entendimento do que queremos apresentar. É o caso da etapa de estudos iniciais, na qual os condicionantes a serem considerados, os procedimentos e a sistemática de atuação em cada uma das sub-etapas adquirem notável importância para a metodologia e precisam ser melhor explicitados.

ESTUDOS INICIAIS

O Fluxograma da Etapa de Estudos Iniciais está representado na Figura 4.14. São evidenciadas sete sub-etapas (IA à 1G) e quatro fontes de informação, as quais denominamos: mercado, "estado da arte", fatores de produção e fatores ambientais. Identificamos nestes conjuntos de informações os condicionantes

que irão determinar o direcionamento dos estudos iniciais. Relacionamos, a seguir, alguns dos principais sub-tipos de cada um destes conjuntos (exemplificando-os), com a finalidade de subsidiar a estruturação de um banco de dados, que consideramos essencial para o desenvolvimento tecnológico de MPSCConst..

a) INFORMAÇÕES DE MERCADO

- Demanda/consumo - mercado potencial; população a ser atendida; demanda efetiva;
- Exigências do usuário/consumidor - habitabilidade; adequação funcional; qualidade construtiva; exigências econômicas;
- MPSCConst. implantados no mercado - nível de aceitação; uso e tipologia das edificações; desempenho típico; problemas patológicos; vantagens e desvantagens; nível de inovação;
- Dinâmica da economia - taxas de crescimento industrial; tendências de investimento do capital; crescimento do PIB;
- Políticas governamentais para o setor - incentivos fiscais; política habitacional; política industrial; política de capacitação tecnológica; estímulos à racionalização;
- Legislação - código de obras; leis federais e estaduais; regulamentos de agentes promotores;
- Indústria da construção - capitalização do setor; filosofia mercadológica das construtoras e dos fabricantes de materiais e componentes; disponibilidade para investimento em desenvolvimento tecnológico; capacidade ociosa;
- Patentes.

b) "ESTADO DA ARTE"

- Tecnologia construtiva local - estágio de desenvolvimento; tradição construtiva; domínio tecnológico das empresas do setor; experiências prévias de desenvolvimento de MPSCConst.;
- Tecnologia internacional no campo do conhecimento - estágio de desenvolvimento; metodologias de avaliação; inovações tecnológicas em MPSCConst. implantadas;
- Conhecimentos técnico-científicos - novos materiais; novos processos de produção; tecnologias de avaliação experimental;
- Normalização - nacional; internacional; regional.

c) FATORES DE PRODUÇÃO

- Recursos energéticos - disponibilidade; custo; perspectivas futuras;
- Recursos materiais - disponibilidade; fornecedores; custos de aquisição e transportes; reservas; nível de qualidade;
- Recursos Humanos - disponibilidade; nível de especialização; níveis de remuneração; treinamento;
- Recursos Financeiros - nível de inversões de capital anual no setor; remuneração do capital praticada; investimentos previstos das instituições de fomento;
- Recursos Tecnológicos - disponibilidade de tecnologias específicas; compra de tecnologia; oferta incentivada de tecnologia;

- Equipamentos - recursos de automatização; mecanização da produção; equipamentos não convencionais; custos;
- Plantas industriais - capacitação do parque produtor; nível de modernização; disponibilidade de produção.

d) FATORES AMBIENTAIS

- Condicionantes climatológicos regionais - índice pluviométrico; intensidade e direção dos ventos dominantes; temperaturas médias;
- Outros condicionantes do entorno ambiental - níveis de ruído; poluição ambiental; agressividade do meio industrial;
- Exigências de preservação do meio ambiente - movimentos de terra e erosão; fabricas poluidoras; tratamento de efluentes;
- Dinâmica de uso dos recursos ambientais - aproveitamento de madeiras; obrigatoriedade do uso de recursos renováveis; uso de mananciais, etc.

A seguir, caracterizamos cada uma das sub-etapas:

SUB-ETAPA IA - IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE

O início do desenvolvimento de um MPSCConst. é uma ideia. Uma idéia que surge com a identificação de uma (ou mais) necessidade(s) a ser(em) atendida(s). O MPSCConst. desenvolvido deve ser uma resposta a um programa de necessidades identificadas previamente. Na realidade a idéia é o equacionamento formal da necessidade, e a decisão de levar adiante o processo de desenvolvimento começa pela identificação da mesma.

O reconhecimento de uma necessidade não atendida é um importante estímulo ao progresso tecnológico. No entanto, ela deverá ser seguramente estabelecida, de modo a justificar a inversão de recursos e tempo na etapa de estudos iniciais (que objetiva explorar a viabilidade em satisfazê-la).

O mercado é o cenário natural para o reconhecimento de uma necessidade. Esta pode se tornar evidente por uma solicitação ou sugestão efetiva de organismos do mercado. É normal que surja também, pela percepção intuitiva, por observações pessoais de indivíduos com experiência e visão abrangente e que atuem no mercado. Outras vezes, ela passa a existir com o aparecimento de novos materiais, equipamentos ou processos no mercado, ou seja, com novos conceitos tecnológicos. Em suma, normalmente, a necessidade surge por ação das forças de mercado.

O objetivo desta sub-etapa é definir precisamente a necessidade a ser atendida, é conceber a idéia.

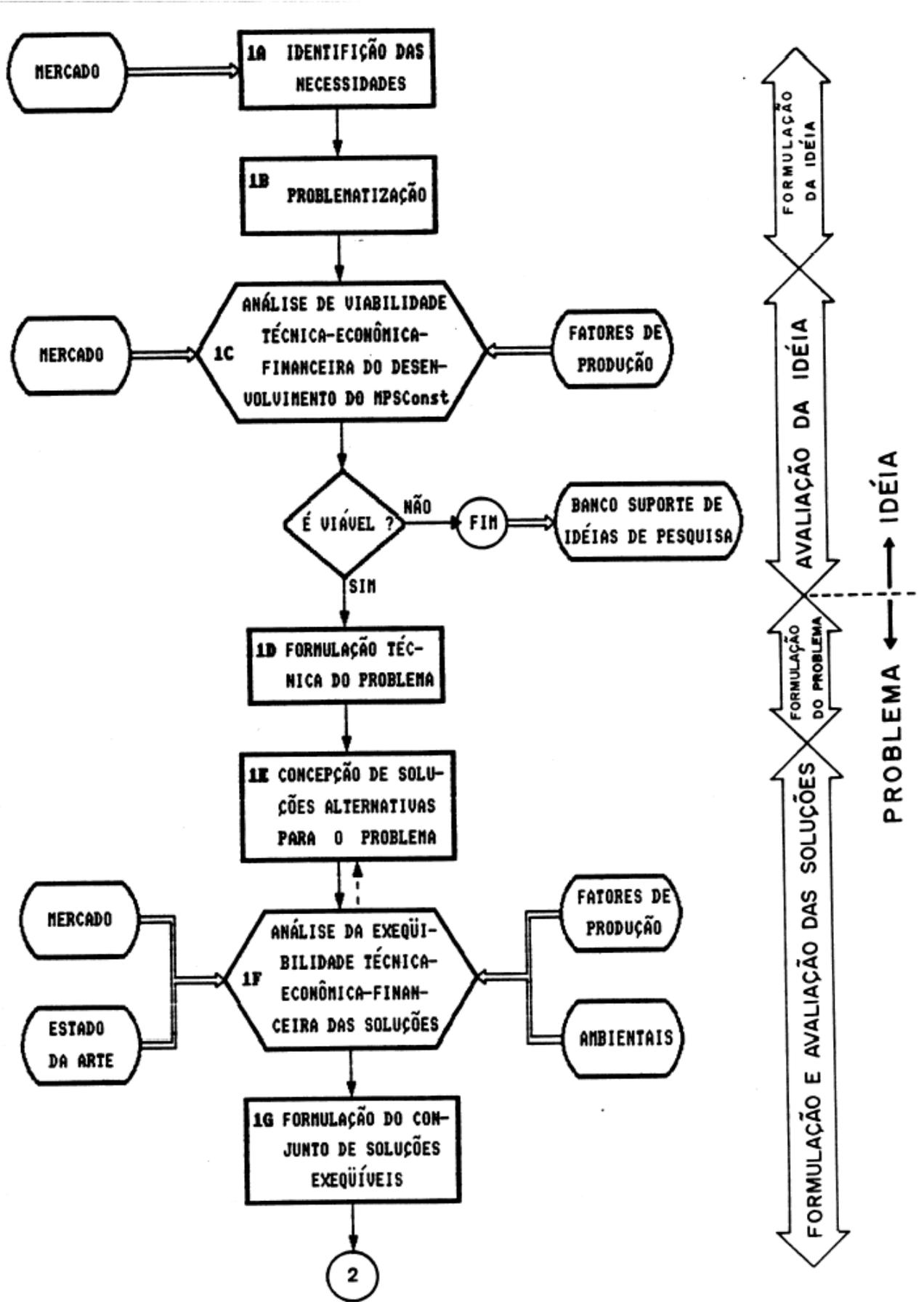


Figura 4.14 Fluxograma da Etapa 1 - Estudos Iniciais

SUB-ETAPA 1B - PROBLEMATIZAÇÃO

Problematização tem o significado de dar forma a um problema, de definir um problema. E o problema aqui é o desenvolvimento de um MPSCnst. que satisfaga a necessidade identificada em 1A. Antes de se procurar soluções que atendam à necessidade deve-se compreender perfeitamente o problema e efetuar uma análise prévia de viabilidade do desenvolvimento do MPSCnst. Com este objetivo a balizar a problematização, conclui-se ser esta uma sub-etapa de definição genérica, ainda não aprofundada, com a consideração apenas dos aspectos mais relevantes, na qual se pretende ter uma perspectiva ampla do problema.

Assim, nesta sub-etapa deve-se alinhar: os objetivos gerais do desenvolvimento, os critérios referenciais do projeto do "hardware" do MPSCnst. e os fatores que limitam o escopo do projeto. Em resumo, deve-se sistematizar o problema para melhor analisá-lo.

SUB-ETAPA 1C - ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO-FINANCEIRA DO DESENVOLVIMENTO DO MPSCnst.

O passo seguinte após a definição do problema é proceder a uma análise da exequibilidade em se executar a pesquisa de desenvolvimento. Este é um estudo que visa comprovar, ou não, a viabilidade (em um quadro circunstancial definido) da consecução dos objetivos do problema, tanto no que se relaciona com os aspectos técnicos como com os econômico-financeiros.

Não se sabe ainda (e nem é o objetivo da sub-etapa), se existem soluções exequíveis para o problema. Para se ter esta resposta é necessário a coleta e o tratamento de um número muito grande de informações, o que demanda tempo e inversão de recursos consideráveis. Então, deve-se realizar uma análise prévia, não aprofundada, para se avaliar se compensa ou não investir na idéia. As informações a serem consideradas são as de mercado e as relacionadas com os fatores de produção.

Em uma análise como esta, trabalha-se com estimativas aproximadas sobre: magnitude das inversões financeiras no desenvolvimento, grau de risco, nível de competência necessário, projeções custo-benefício, taxas de retorno, potencial de mercado, consequências do projeto, dificuldades a serem enfrentadas, etc. Ao final, a decisão determinará a continuidade do processo ou o arquivamento da idéia em um banco suporte de ideias para pesquisa, pois em outras circunstâncias a idéia poderá vir a ser exequível.

Até aqui a estratégia está voltada para a seleção de ideias. Partimos do pressuposto de que as ideias sobre o desenvolvimento de MPSCnst. são geradas abundantemente e necessitam passar por uma peneira para verificar-se qual a que terá maior probabilidade de sucesso e por isso pode ser objeto de um esforço de pesquisa.

SUB-ETAPA 1D - FORMULAÇÃO TÉCNICA DO PROBLEMA

Aprovada a ideia, o problema precisa ser precisamente definido. Muito do sucesso da implantação de uma inovação tecnológica no mercado deve-se à exata e segura formulação técnica do problema, no início do processo de desenvolvimento da inovação. Uma formulação deficiente promove soluções imperfeitas, inconsistentes.

A formulação técnica do problema deve evidenciar: quais os objetivos que devem ser atingidos no desenvolvimento do MPSCost.; quais são as restrições ao problema e que fatores limitam os objetivos; quais as dificuldades a serem superadas; que recursos existem; que especificações de desempenho devem ser atendidas pelas soluções e que critérios devem ser empregados na análise das possíveis soluções.

A formulação é uma visão ampla do problema e não deve considerar premissas inerentes a soluções particulares. "Qualquer problema pode ser formulado com diferentes graus de amplitude, variando desde uma definição vasta, que maximiza o número e o escopo das alternativas, até a formulação que pouca margem deixa para soluções múltiplas." [Krick, 1965]. O grau de amplitude a ser determinado deve ser o mais extenso que as circunstâncias permitirem.

Os objetivos, a par de serem condicionados por objetivos gerais, normalmente evidentes, devem ser formulados tão especificamente quanto possível. Devem ainda ser totalmente explicitados, claros e bem definidos, de modo a serem compreendidos e buscados por todos os participantes do processo de desenvolvimento.

A formulação do problema em sua forma acabada (especificações de trabalho), deve ser feita somente após ter-se conseguido um nível adequado de definição do mesmo, de modo a que não seja necessário retomá-la, quando se estiver concebendo soluções, a fim de modificá-la ou complementá-la.

SUB-ETAPA 1E - CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA O PROBLEMA

Colocado explicitamente o problema, cabe procurar soluções. A solução é uma síntese que, atendendo às especificações de desempenho, respeitando os fatores limitantes e os recursos disponíveis e contornando as restrições e as dificuldades, atinge os objetivos prescritos. Para se conseguir um elenco de soluções que façam juz a esta definição deve-se cumprir dois estágios distintos: o da concepção das soluções potenciais e o da análise e seleção das que são realmente exequíveis. A concepção de soluções é uma etapa essencialmente criativa. É um estágio de geração de ideias, no qual, intencionalmente, deve-se evitar misturarem-se os procedimentos formais de seleção e a análise de exequibilidade (que inibem a criatividade), para permitir o afloramento de soluções inovadoras. É essencial à inventividade, o emprego da faculdade criadora, do engenho. Jones [1970], em seu livro "Design Methods" descreve diversas técnicas que podem ser empregadas na geração de idéias.

Nesta sub-etapa as soluções deverão ser formalizadas em seus contornos gerais.

SUB-ETAPA 1F - ANÁLISE DE EXEQUIBILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO-FINANCEIRA DAS SOLUÇÕES

Cada uma das soluções até este estágio é uma abstração mental, que considerou na sua concepção apenas um conjunto restrito de fatores condicionantes. Para que se transformem em propostas realizáveis, as soluções devem ser submetidas a análises que comprovem sua viabilidade, tanto do ponto de vista técnico, como do econômico-financeiro. Para que isto seja possível as soluções devem ser inicialmente detalhadas até um nível adequado.

As análises são executadas considerando-se todo o espectro dos fatores condicionantes. Na determinação deste espectro são ponderadas as informações advindas do mercado, as relacionadas com os fatores de produção, as obtidas do "estado da arte" da tecnologia específica e as relativas ao ambiente. Lucini [1985] apresenta uma extensa relação de fatores condicionantes específicos.

De todas as sub-etapas dos estudos iniciais esta é a mais complexa e a que demanda maior inversão de tempo e recursos. Cada uma das soluções deve ser inicialmente analisada, quanto à exequibilidade física e a exequibilidade técnica que envolvem, por exemplo: determinação da aceitabilidade em satisfazer às especificações de desempenho; avaliação da compatibilidade com os fatores de produção disponíveis; avaliação do nível de construtibilidade e da compatibilidade com o ambiente; avaliação da coerência construtiva com os princípios da ciência e da técnica e da produção industrial, etc. A identificação da inadequabilidade da solução, neste estágio, leva-a ao descarte.

Depois as soluções devem passar no teste da compensação econômica. O objeto do desenvolvimento deve ter suficiente valor de mercado para compensar o esforço [Asimow, 1962]. O MPSCost. é um meio de transformar insumos em um produto (o edifício ou uma sua parte). A análise da compensação econômica desta operação de transformação é complexa, apesar de factível. No entanto, a consideração do valor de mercado do produto, que deve ser ponderado nesta análise, é muito subjetivo e vago neste estágio. Por tudo isto, normalmente, determina-se o potencial econômico da solução em um nível de profundidade compatível com o tempo e os recursos disponíveis.

A análise de exequibilidade financeira é a última peneira por que passa cada solução. Um MPSCost. perfeitamente realizável técnica e fisicamente, de grande valor econômico, pode não ser financeiramente exequível, por exigir que sejam reunidos recursos econômicos indisponíveis.

Uma solução para ser considerada como tal, deve passar pelas três peneiras. Conseguindo, irá constituir, junto com outras também aprovadas, o conjunto das soluções exequíveis.

As sub-etapas 1E e 1F admitem um ciclo iterativo fechado, através da realimentação da etapa de concepção de soluções pela etapa de análise. O aprofundamento do estudo acerca das soluções propostas e no nível de informações pode conduzir à modificações e complementações nas soluções estabelecidas em 1E e até provocar alterações tão radicais que constituam uma nova solução.

SUB-ETAPA 1G - FORMULAÇÃO DO CONJUNTO DAS SOLUÇÕES EXEQUÍVEIS

Depois de passarem pelo estágio de análise aprofundada, as soluções que se mostraram factíveis necessitam ser formuladas de maneira ordenada e coerente, para que sejam passíveis de comparação e possam ser submetidas a um processo de seleção e escolha.

Assim, para cada uma das soluções, deve ser determinado o conjunto de parâmetros que serão

necessários para a tomada de decisão. O grau de detalhamento das informações deve ser compatível com a sistemática de escolha, o tempo e os recursos alocados até esta etapa. Devem ser determinados, por exemplo: características físicas e composição; complexidade funcional; complexidade construtiva; confiabilidade; flexibilidade de uso/versatilidade; desempenho e durabilidade esperada; padrão de manutenção; grau de industrialização; nível de racionalização, etc.

Além disto, deve-se estabelecer estimativas relacionadas com o ciclo de desenvolvimento-produção, os riscos envolvidos, as características do mercado potencial etc. Como por exemplo: custos e cronograma de desenvolvimento; escala de produção; custos de produção; condicionantes econômico-financeiros; volume de insumos necessários; riscos da não aceitação pelo mercado; conseqüências de um eventual insucesso; demanda a curto, médio e longo prazos, etc.

Com a formulação do conjunto das soluções úteis, encerra-se a etapa de estudos iniciais. É uma etapa a qual não se retornará mais, por não ser iterativa com as seguintes. Ao final desta etapa, espera-se que o problema (caracterizado pelos seus objetivos e condicionantes) esteja perfeitamente bem definido e que se disponha de um elenco suficiente de soluções (eventualmente uma única) exeqüíveis. Leva-se também para as etapas seguintes todo o banco de informações montado nesta etapa.

Ou seja, com o transcorrer do processo de desenvolvimento, não se alterará o problema nem se buscará novas soluções. A solução escolhida poderá vir a ser bastante modificada nas etapas seguintes e novas informações seguramente serão necessárias, mas estes fatos não configuram uma iteração com esta etapa.

Assim deve-se dispensar na etapa de estudos iniciais o tempo e os recursos necessários para cumprir totalmente seus objetivos -formulação do problema e busca de soluções exeqüíveis.

CONCEPÇÃO DO MPSC_{Const.}

Identificamos dois estágios bastante distintos na etapa de concepção. O da escolha da solução que será desenvolvida e o estágio de desenvolvimento da solução, no qual esta evolui até o projeto preliminar do MPSC_{Const.} Estes estágios podem ser sub-divididos em 7 sub-etapas (2A à 2G), descritas na Figura 4.15.

As atividades nas sub-etapas 2A e 2B têm o caráter predominantemente de seleção. A meta é reduzir o conjunto de soluções viáveis a uma única solução, através de um específico processo seletivo. Na procura de soluções expandiu-se o rol de alternativas. Segue-se agora, um processo de redução gradual, para se chegar à solução ótima. As alternativas evidentemente inferiores são eliminadas em uma primeira análise comparativa. As possibilidades restantes devem ser comparadas tomando-se por base os critérios estabelecidos na sub-etapa 1-D.

As táticas empregadas na análise comparativa das alternativas podem ser as mais diversas. Uma das mais utilizadas é a matriz de decisão. Esta é uma tabela de avaliação de dupla entrada: os critérios de projeto e as alternativas. Através de um sistema de pesos que parametrizam a importância relativa dos critérios e de notas que avaliem a capacidade de solução de atender a um dado critério, pode-se chegar a valores numéricos que facilitam a comparação e permitem uma seleção mais refinada. Beakley & Chilton [1974] e Hill [1970] descrevem técnicas de emprego da matriz de decisão. As técnicas de otimização

podem também ser utilizadas, desde que se tenha um nível elevado de informações e seja possível criarem-se arquétipos matemáticos adequados que levem em conta as especificações de desempenho e demais critérios de projeto.

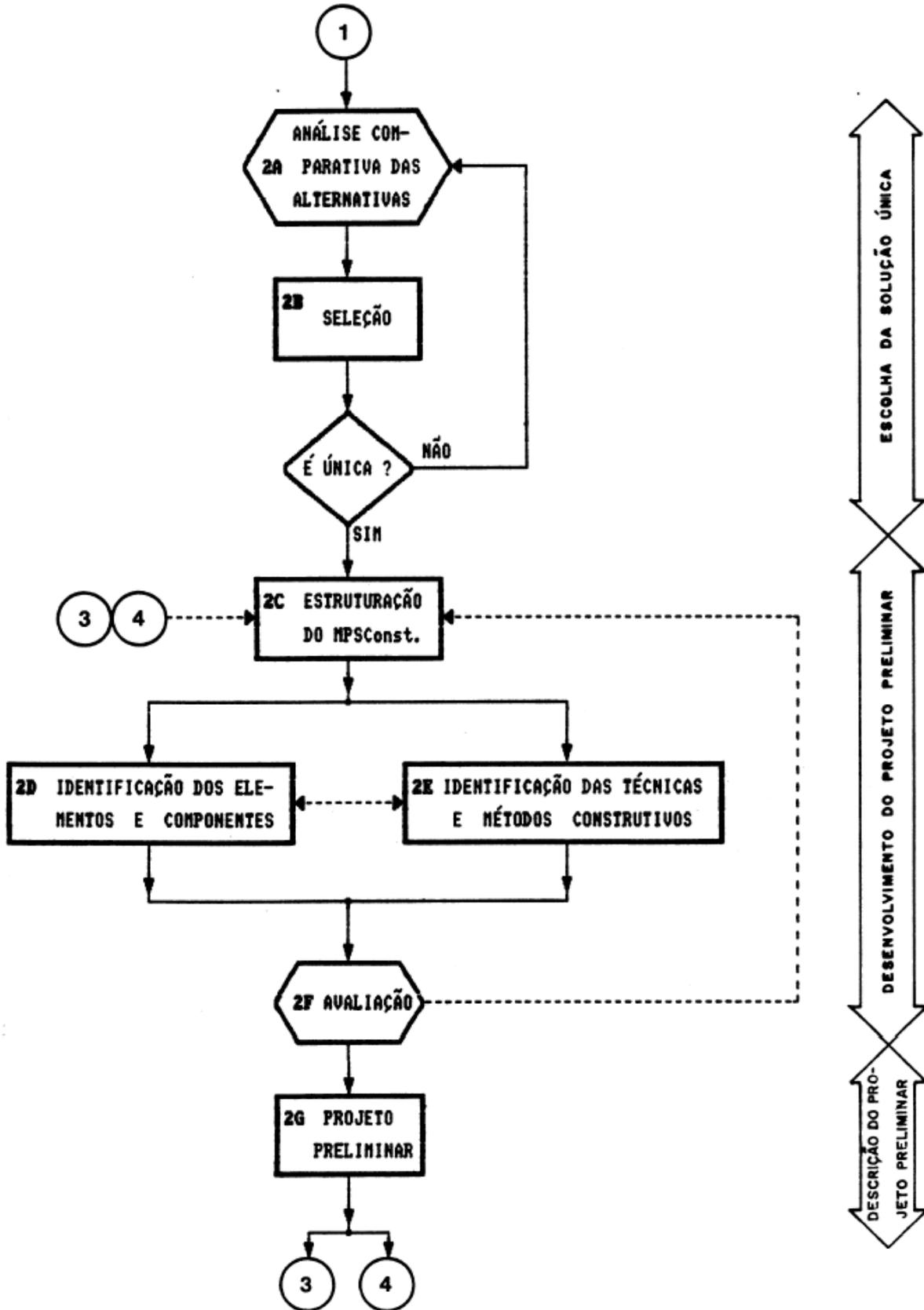


Figura 4.15 Fluxograma da Etapa 2 - Concepção do MPSConst.

Com a escolha da solução ótima, tem início um novo ciclo criativo, que promove a evolução do

MPSCConst. até um nível de definição tal, que possibilite o início das etapas de detalhamento do projeto. Este ciclo, composto pelas etapas 2C e 2F, começa com a estruturação global do MPSCConst., obtida pelo aprofundamento da concepção inicial da solução. Na seqüência, identificam-se os elementos e componentes constituintes e os procedimentos construtivos essenciais. A avaliação que se segue é feita sobre as partes e sobre o MPSCConst. como um todo, obtido pela conjugação dos produtos e processos identificados. Esta avaliação realimenta a sub-etapa 2C, permitindo uma evolução cíclica que ao se esgotar resulta no projeto preliminar.

Ao findar a etapa de concepção, as características construtivas essenciais do MPSCConst. (por exemplo: modulação, técnicas gerais de montagem das partes, tipologia dos edifícios, concepção estrutural, etc.) e as características materiais, funcionais e formais genéricas (conjunto de componentes principais, função dos componentes essenciais, dimensões e geometrias prioritárias dos componentes, materiais empregados, etc), devem estar suficientemente definidas.

A realimentação iterativa das etapas seguintes na etapa de concepção da entrada na sub-etapa de estruturação do MPSCConst. e provoca o reestudo das sub-etapas que lhe seguem.

PROJETOS DE COMPONENTES E ELEMENTOS E DE PRODUÇÃO DO EDIFÍCIO (OU DE SUAS PARTES)

As etapas de projeto detalhado (3 e 4) apresentam estruturas de ação semelhantes. As Figuras 4.16 e 4.17 ilustram os fluxogramas destas etapas. Identificamos em ambas três estágios: formulação e análise de soluções alternativas, caracterização e avaliação das soluções executáveis e projeto detalhado das melhores soluções. Além disto, estas etapas caracterizam-se pelo desenvolvimento em paralelo, de modo iterativo.

As soluções de projeto concebidas nas sub-etapas 3A e 4A serão submetidas a diversos procedimentos seletivos ao longo da seqüência de eventos da estratégia metodológica, procedimentos estes sucessivamente mais exigentes e refinados. Por exemplo, as soluções alternativas para os componentes e elementos passarão por dois níveis de seleção na etapa 3, dois níveis na etapa 5 e pela seleção da etapa 7.

Na sub-etapa 3C são eliminadas as soluções que em uma primeira análise comparativa (sub-etapa 3B) mostraram-se inferiores ou pouco exequíveis. As soluções restantes são então minuciosamente detalhadas (sub-etapa 3D) e suas características são comparadas, em 3E, com as especificações de trabalho definidas em 1D (ação do Problema). As soluções que não atenderem aos critérios de projeto são eliminadas na segunda sub-etapa de seleção 3F. Na etapa 4 a sistemática de seleção é idêntica. Nas avaliações podem ser empregados todos os meios disponíveis como: maquetes e outros modelos icônicos, modelos matemáticos, simulações digitais, etc.

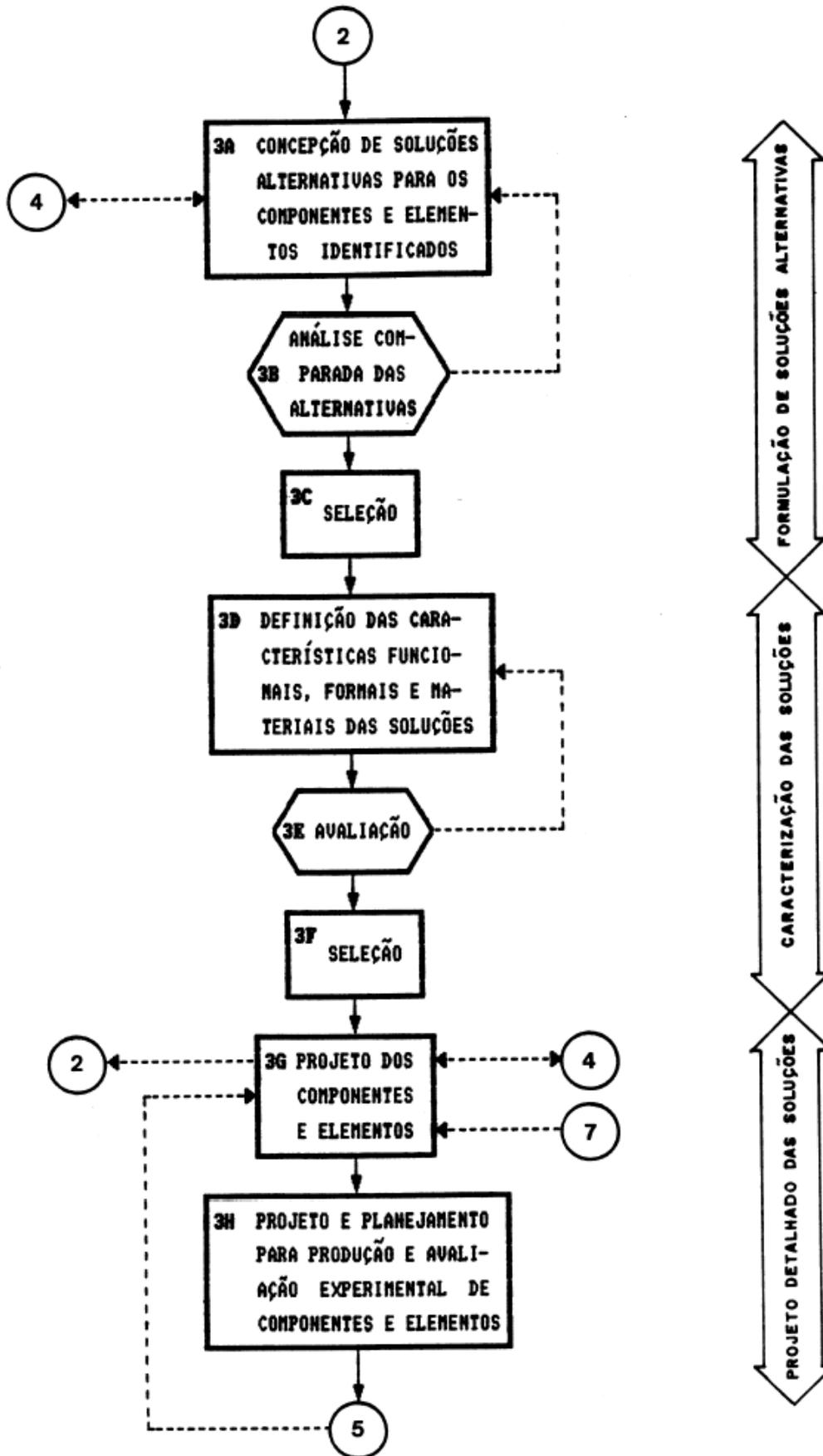


Figura 4.16 Fluxograma da Etapa 3 - Projeto de Componentes e Elementos

As sub-etapas de projeto em ambas as etapas são as mais complexas e as que demandam maior tempo. Nestas, encontramos tantas sequências de decisão completas (análise, síntese, avaliação e decisão) quantos são os componentes, elementos, procedimentos e detalhes construtivos projetados. A realimentação das etapas subsequentes é dirigida para estas sub-etapas e elas, por sua vez, realimentam a etapa de concepção. A etapa 3 apresenta uma sub-etapa específica (3H) voltada para o projeto e planejamento da produção experimental dos componentes e elementos e da sua avaliação. Nesta sub-etapa são também projetadas as instalações fabris e os equipamentos necessários para a produção experimental.

4.2.2.2.2. FASE DE VERIFICAÇÃO

PRODUÇÃO EXPERIMENTAL DE COMPONENTES E ELEMENTOS

A produção, em caráter experimental, dos componentes e elementos projetados na etapa 3, dá-se em três níveis. O primeiro tem caráter exploratório e o objetivo de avaliar a produtibilidade daqueles. As soluções aprovadas são então produzidas a nível de escala piloto (segundo nível), com o objetivo de fabricar um número adequado de exemplares destinados à caracterização e à avaliação do desempenho das mesmas. O terceiro nível é o da produção em maior escala com a finalidade de fabricar a quantidade de exemplares necessária para a construção dos protótipos. Na Figura 4.18 representa-se o fluxograma desta etapa. Os componentes e elementos são avaliados e selecionados (com eliminação de soluções consideradas inadequadas) em dois estágios: o da avaliação da produtibilidade (5B e 5C) e o da avaliação do desempenho (5F e 5G). No primeiro, avalia-se a adequação aos meios de produção e, no segundo, a adequação aos critérios de projeto das diversas soluções.

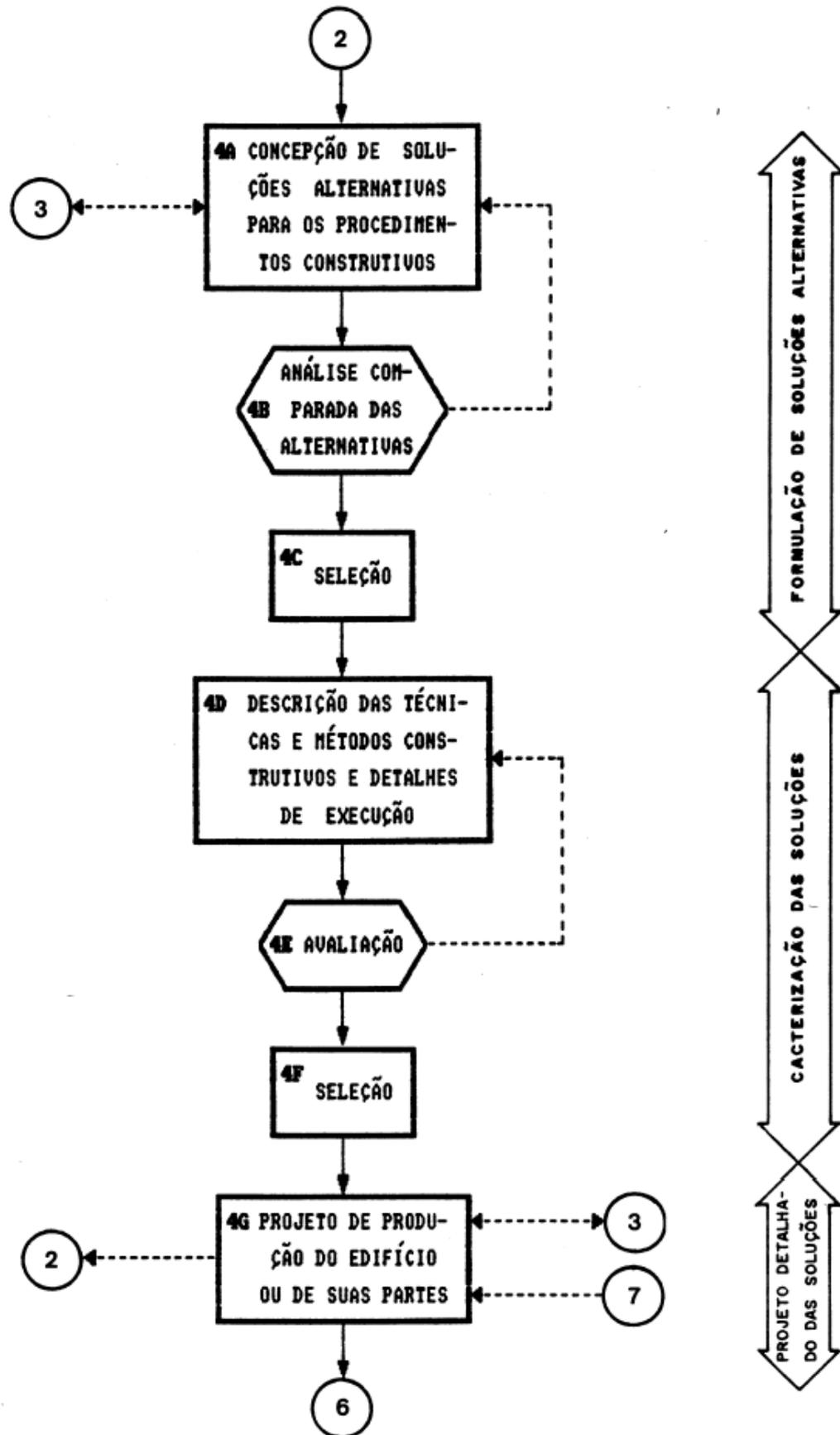


Figura 4.17 Fluxograma da Etapa 4 - Projeto de Produção do Edifício (ou de suas partes)

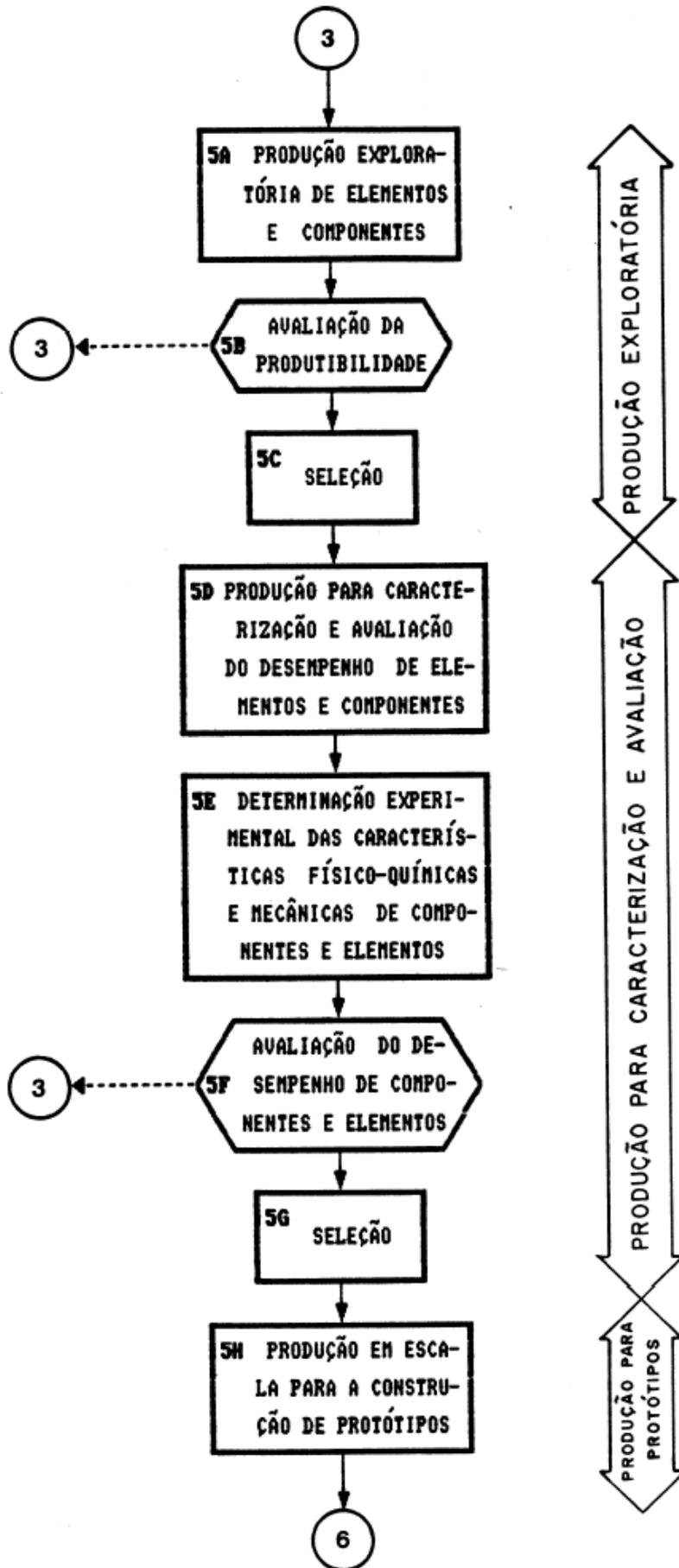
Na sub-etapa 5E determinam-se as características físico-mecânicas e químicas dos componentes e elementos. Os resultados subsidiam a sub-etapa seguinte, de análise, na qual eles serão confrontados com as especificações pré-definidas.

Nesta etapa não existem ciclos iterativos internos, pois qualquer realimentação terá de ser introduzida na Etapa 3, para que sejam alteradas primeiramente as especificações de projeto, antes de se alterar as prescrições para a produção.

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS E AVALIAÇÃO DOS PROTÓTIPOS E DO MPSCConst.

A etapa de projeto e construção de protótipos pode ser dividida em três complexas sub-etapas:

- a) Projeto do edifício (ou suas partes) protótipo;
- b) Projeto do canteiro experimental e planejamento da construção do protótipo e
- c) Construção em canteiro experimental do protótipo.



gura 4.18 Fluxograma da Etapa 5 - Produção Experimental de Componentes e Elementos

Cada uma destas é constituída de inúmeros eventos que se inter-relacionam em intrincadas sequências. Existem diversas estratégias metodológicas para a consecução de cada uma das sub-etapas. No entanto, não é objetivo deste trabalho analisar estas estratégias, de modo que não as detalharemos. Na Figura 4.19 representa-se o fluxograma simplificado da etapa. Destaca-se apenas a interação das sub-etapas 6A e 6C com a etapa 7, que adquire caráter essencial para a metodologia, visto que a avaliação continua destas sub-etapas, é a mais eficaz ação balizadora, para a correta evolução do processo.

A etapa de avaliação dos protótipos e do MPSCConst. também é de grande complexidade e de capital importância para a estratégia metodológica, como decorrência da sua função de indutora de todo o processo de evolução retro-alimentada, descrito anteriormente. No entanto, fracioná-la mais do que o exposto na Figura 4.20, significa avançar em estratégias metodológicas específicas que seriam aqui abordadas muito superficialmente, além de representar um desvio do escopo do presente trabalho. Por exemplo, apenas para operacionalizar a sub-etapa de avaliação do desempenho do protótipo, teríamos de elaborar um tratado, dado à abrangência do tema e estaríamos avançando nas especificidades de uma metodologia já consolidada e diversa da aqui proposta.

A sub-etapa de análise crítica do MPSCConst. é um estágio de revisão de todo o processo de desenvolvimento, desde os estudos iniciais até a completção do último protótipo. A avaliação do processo com uma visão globalizante, conduz à detecção de deficiências e lacunas não observadas nas avaliações específicas anteriores e permite promover a otimização global, de maneira a maximizar a racionalização construtiva. A partir da interação com os projetos detalhados, têm-se condições de revisá-los e corrigir as eventuais falhas e assim, efetuar o reprojeto do MPSCConst., que irá finalmente substituir o projeto preliminar (que sofreu modificações particularizadas ao longo de todo o processo).

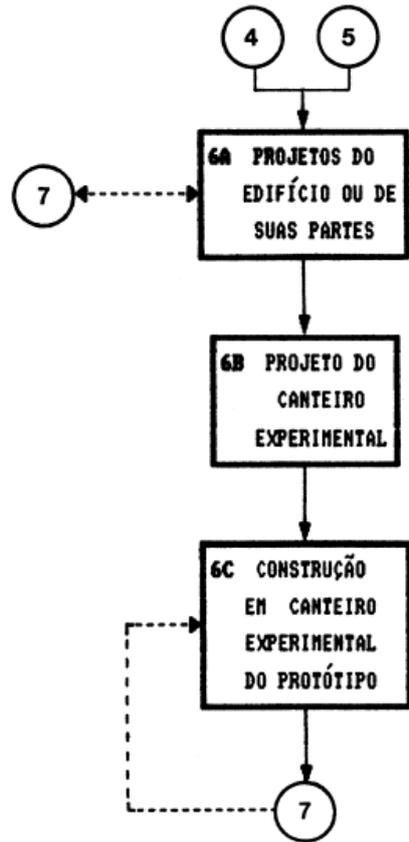


Figura 4.19 Fluxograma da Etapa 6 - Projeto e Construção de Protótipos

No fluxograma da etapa destacam-se ainda os fluxos de re-alimentação das etapas anteriores. As quatro sub-etapas descritas (7A a 7D) fornecem diferentes subsídios para as etapas 3 e 4, os quais provocam as modificações responsáveis pela evolução do MPSConst., através de um refinamento sucessivo, que caracteriza a metodologia proposta.

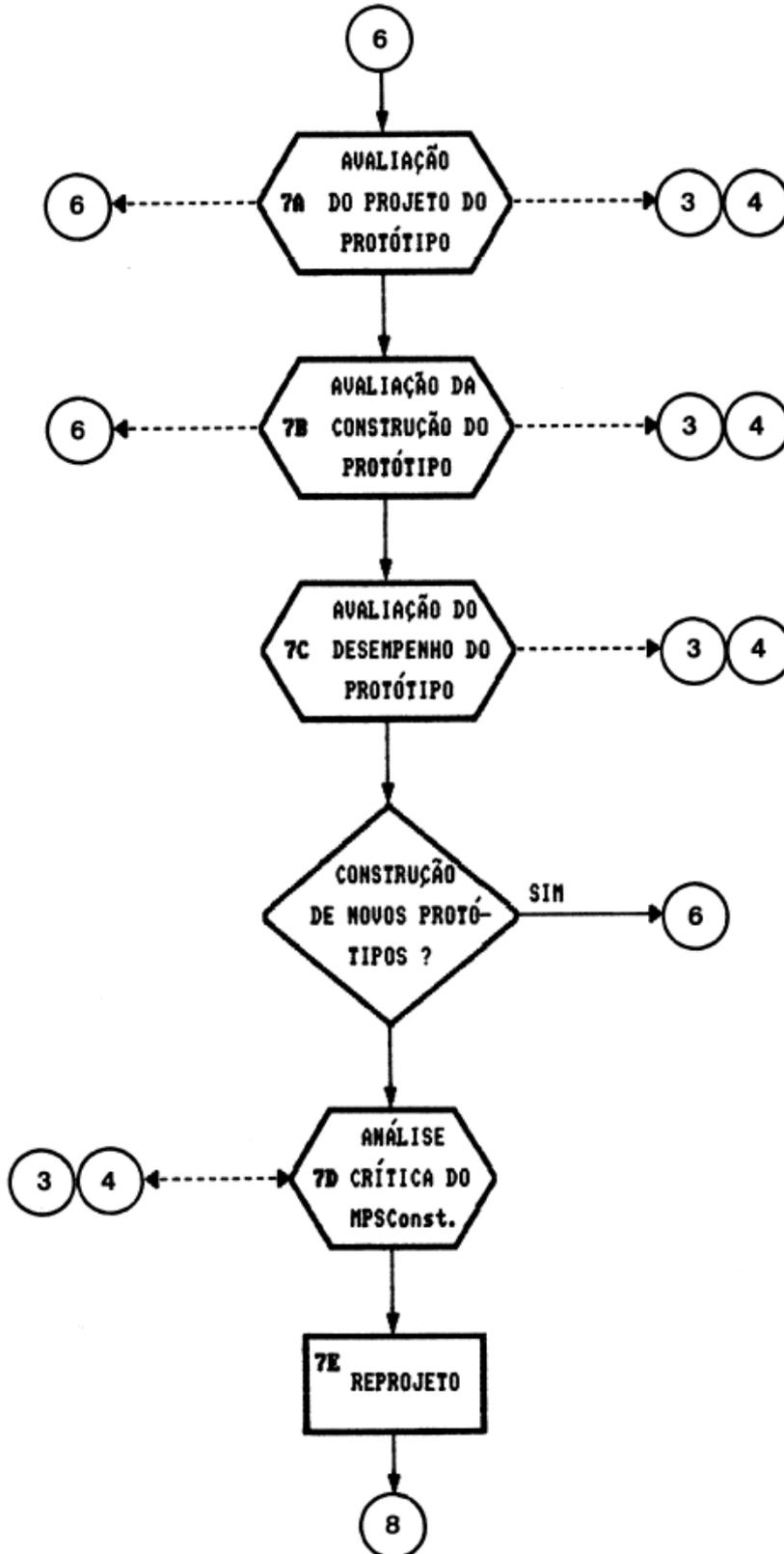


Figura 4.20 Fluxograma da Etapa 7 - Avaliação dos Protótipos e do MPSConst.

4.2.2.2.3 FASES DE DESCRIÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO

A fase de descrição confunde-se com a etapa 8, de consolidação da tecnologia, e a fase de comercialização engloba 4 etapas. Destas cinco etapas finais é possível apenas a partição em sub-etapas das etapas 8 e 11 (aperfeiçoamento da tecnologia).

Para as demais etapas não cabe a elaboração de estratégias específicas, pois estas devem se adequar a cada desenvolvimento em particular e devem ser estruturadas em consonância com as exigências circunstanciais do mesmo.

CONSOLIDAÇÃO DA TECNOLOGIA

Esta é também uma etapa complexa. Consta de uma sub-etapa de preparação dos documentos, na qual deve ser consolidada em textos, plantas, desenhos, fotografias, etc. toda a tecnologia desenvolvida até este estágio e de mais quatro sub-etapas voltadas para o projeto e planejamento da fase de comercialização (8B a 8D). Estas últimas são etapas de ampla diversidade de um projeto para outro e dispõem de metodologias próprias e consagradas nos campos específicos do conhecimento. Assim, elas são apenas incluídas na estrutura seqüencial sem um maior detalhamento, como pode ser observado na Figura 4.21.

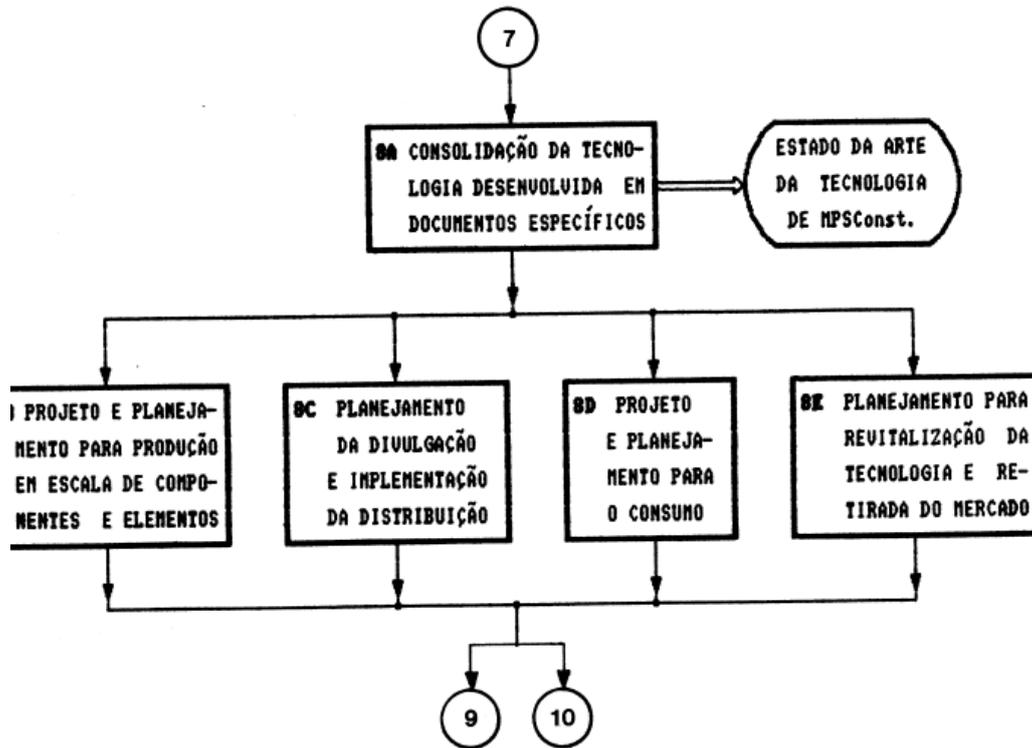


Figura 4.21 - Fluxograma da Etapa 8 - Consolidação da Tecnologia

APERFEIÇOAMENTO DA TECNOLOGIA

A divisão da etapa de aperfeiçoamento da tecnologia em sub-etapas foi feita tendo como um dos objetivos o de tornar mais claro o quarto ciclo iterativo descrito em 4.2.2.1.3. Ao explicitar-se as sub-etapas e as sequências internas da etapa 11 (ver figura 4.22) fica evidente como os resultados advindos da etapa de comercialização realimentam a tecnologia anteriormente consolidada e provocam o seu aperfeiçoamento. O ciclo fechado, constituído pelas etapa 12 e sub-etapas 11C e 11D, é responsável pela contínua evolução do MPSCconst., inclusive pela dinâmica de maximização da racionalização construtiva e pela alimentação do "estado da arte" da tecnologia dos processos construtivos, até o momento da retirada do mercado do MPSCconst. desenvolvido. Momento este que, ao ser detectado (no ponto de decisão da sequência cronológica), define também o encerramento do processo de desenvolvimento.

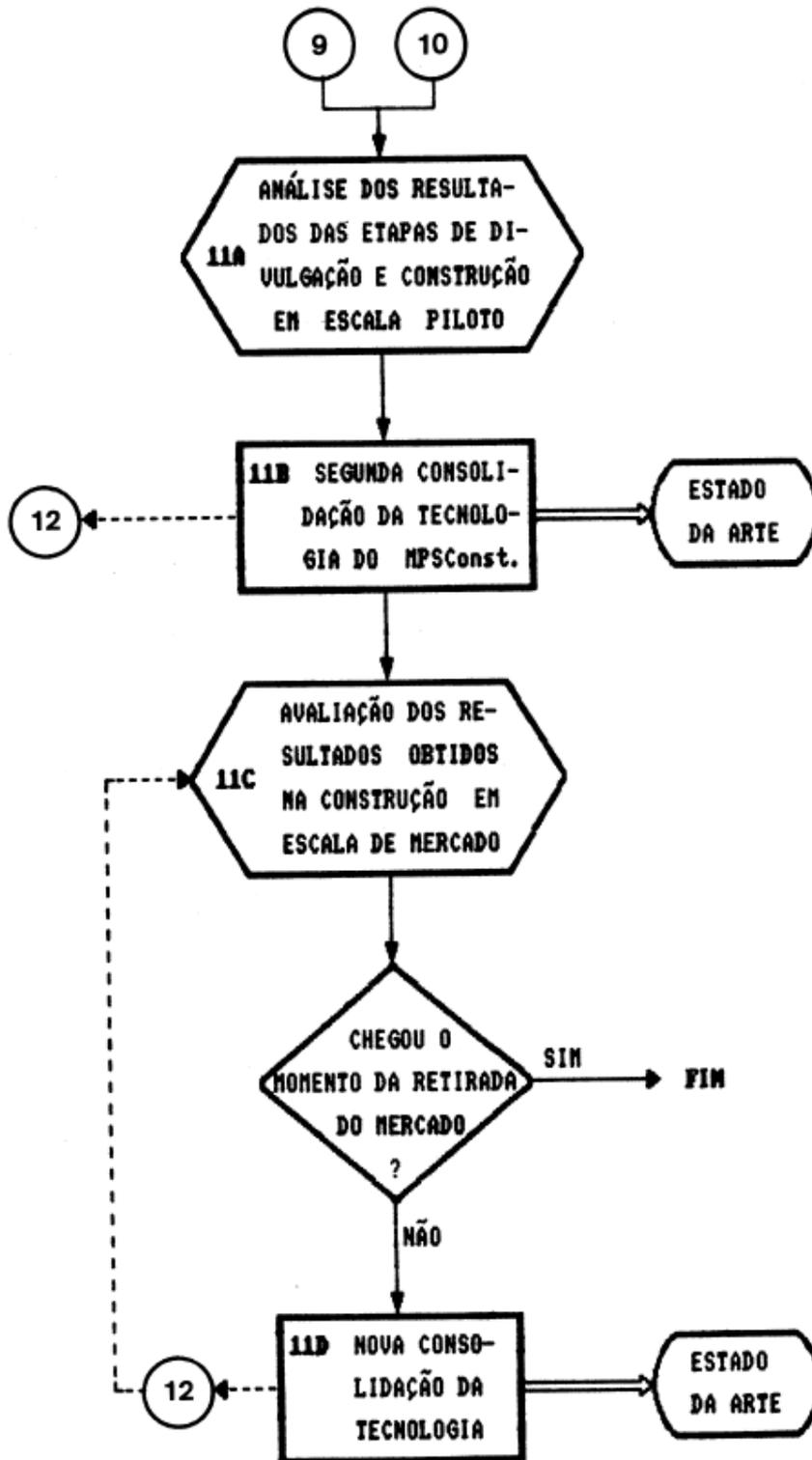


Figura 4.22 Fluxograma da Etapa 11 - Aperfeiçoamento da Tecnologia.

CAPITULO 5

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS COM O EMPREGO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A formulação de uma metodologia de pesquisa tecnológica deve conter forçosamente uma comprovação de sua aplicabilidade na resolução dos problemas específicos a que se propõe.

Como a metodologia esta direcionada para o desenvolvimento de MPSCnst., fez-se necessário apresentar um MPSCnst. que tivesse sido desenvolvido pela utilização da mesma. Assim, neste capítulo é descrito um novo processo construtivo, resultado de uma pesquisa realizada preponderantemente no Laboratório de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), e conduzida segundo as diretrizes e a estratégia da metodologia proposta. Tal processo construtivo caracteriza-se por ser uma real inovação tecnológica no campo e adota a alvenaria estrutural como concepção essencial, baseada em componentes cerâmicos inéditos e que foram gerados totalmente no âmbito da pesquisa.

Objetivamos, porém, expor uma aplicação prática da metodologia e não fazer uma apologia do novo processo construtivo criado. Deste modo, apresentamos uma descrição do mesmo (item 5.2), com um nível de detalhamento suficiente para situar o problema e permitir uma análise fundamentada dos resultados conseguidos. O conjunto de onze relatórios técnicos da pesquisa [Sabbatini et alii, 1986-88] constitui-se em um referencial mais aprofundado sobre tal processo e deve ser consultado para maiores detalhes.

Uma análise critica efetuada sobre o processo de desenvolvimento de um particular MPSCnst., como o que foi levado a efeito, adquire importância, pois, permite avaliar-se: a eficiência e a eficácia da metodologia praticada no cumprimento de suas premissas básicas; o nível de praticidade e as dificuldades de aplicação da metodologia; o contexto necessário para a efetivação da mesma; as vantagens e desvantagens que ela apresenta, etc. A análise das táticas adotadas em um específico emprego da metodologia ganha também importância, porque possibilita o esclarecimento, pela exemplificação, de como aplicá-la, subsidiando a sua compreensão. O capítulo estrutura-se em três partes. Na primeira é descrito o ambiente e os condicionantes da pesquisa, com a finalidade de circunscrever a questão e mostrar a sua dimensão. Na segunda parte é feita a descrição do processo construtivo objeto da pesquisa, ou seja, dos seus resultados, com os objetivos já expostos. E, por último é descrito como transcorreu o processo de desenvolvimento, ordenado de acordo com as fases da estratégia proposta e tendo por meta demonstrar o emprego da metodologia..

5.1 AMBIENTE DE PESQUISA

A criação de um MPSCnst. não é possível de ser feita exclusivamente em prancheta e laboratório. Esta é, seguramente, uma atividade que tem de se integrar racionalmente com a atividade produtiva, para a sua própria completação. Senão vejamos.

Da sua condição intrínseca em se constituir um meio de produção de edifícios (ou de suas partes)

deduz-se que ele não se completará sem a construção destes em escala real e enfrentando as mesmas situações a que se sujeita a indústria de construção civil local, situações que identificam uma realidade impossível de ser reproduzida em laboratório. É um axioma da pesquisa de desenvolvimento de MPSCConst. o conceito : **pesquisar construindo e construir pesquisando.**

Além disto, dado o porte das operações construtivas envolvidas, a especificidade destas, a dependência de mão de obra especializada e em alguns casos ao tipo de equipamento requerido torna-se muito difícil não depender de uma construtora para o desenvolvimento completo de um MPSCConst.. Portanto, um canteiro de obras corriqueiro faz parte do ambiente de pesquisa.

Contribui também para a corroboração daquela afirmação inicial, o fato de que o volume de componentes e elementos necessários para a construção de um edifício, por exigir uma produção em escala industrial, amarra o processo a uma indústria produtora de materiais e componentes de construção. Isto se verifica porque a fabricação em escala de um novo produto exige a criação e implementação de métodos e processos de produção adequados, o que não deixa de ser mais uma etapa da pesquisa e em decorrência incorpora as fábricas de componentes ao ambiente natural de pesquisa.

Conclui-se que o desenvolvimento de MPSCConst. deve, idealmente, ser realizado em um ambiente múltiplo de pesquisa, composto por: gabinete; laboratório; canteiro experimental; canteiro de obra e fábrica (ou usina) de componentes e elementos.

Esta constatação fez com que se estabelecesse, como pré-requisito para o início do desenvolvimento do processo construtivo objeto da pesquisa, a consecução de um ambiente completo e coerente. Para a empreitada, o caminho escolhido foi a associação da Universidade com uma ou mais entidades do sistema produtivo, ligadas à construção civil, para a conjugação de esforços e para a mútua complementação dos cenários de pesquisa.

Daí nasceu o conveio (Conveio EPUSP-TEBAS) entre a Universidade de São Paulo e o grupo Tebas, composto, entre outras empresas, por uma indústria de materiais de construção - Tebas Cerâmica Ltda. e uma construtora - Tebas Construtora Ltda.

Com isto conseguiu-se uma perfeita conjugação de atividades, motivações e recursos que viabilizaram a pesquisa de desenvolvimento planejada e a criação e aperfeiçoamento da metodologia proposta.

5.1.1 ANTECEDENTES

A criação de uma sub-área da pós-graduação em Construção Civil na EPUSP voltada para a Tecnologia de Processos Construtivos, mostrou-se uma exigência natural por volta de 1985. Principalmente pelo amadurecimento de um conjunto de constatações da comunidade acadêmica local e pela procura constante de alunos pela área.

Constatou-se que: os processos construtivos eram tratados no país com um enfoque muito pouco científico; havia uma deficiência enorme no conhecimento tecnológico relativo aos MPSCConst.; praticamente inexistiam pesquisas no Brasil sobre o tema; a importação de tecnologia na área dava-se de modo

disperso e improdutivo, visto que não era acompanhada do correspondente domínio do conhecimento tecnológico (compravam-se "caixas pretas") e grande parte dos problemas patológicos existentes (que não eram poucos) nos processos construtivos não-tradicionais podia ser creditada àquele deficiente domínio das tecnologias construtivas (importadas ou não) pela comunidade técnica que com eles interagiam.

No entanto, a criação de uma subárea de pós-graduação na Universidade pressupõe a existência de pesquisas que lhe dêem suporte científico-tecnológico e permitam sua progressiva consolidação. Pesquisas que sejam voltadas para a evolução do conhecimento, de "ponta", e que promovam, portanto, um efetivo desenvolvimento das potencialidades no campo.

Assim, ao procurarmos implementar pesquisas relativas à Tecnologia de Processos Construtivos é que nos defrontamos com a inexistência de metodologias adequadas para a condução das mesmas. Ocorreu-nos, então, que este deveria ser um tema de pesquisa prioritário para a área.

A linha de pesquisa já implantada nesta área, de Tecnologia dos Processos Construtivos em Alvenaria Estrutural, surgiu naturalmente como suporte para a criação de uma metodologia apropriada. Esta linha já contava com um núcleo de pesquisadores dedicados integralmente ao estudo teórico-experimental destes processos construtivos. Além disto, o Laboratório de Construção Civil havia se estruturado em torno desta linha de pesquisa, com a construção de um pórtico de ensaio para paredes de alvenaria e montagem de outros equipamentos específicos.

A escolha de um processo em alvenaria estrutural que empregasse blocos cerâmicos, em detrimento de outros tipos de blocos, foi uma decisão fundamentada em uma análise prévia de viabilidade técnico-econômica (ver 5.3.2.1) realizada por esta mesma época. Além disto, foi também o resultado de uma convicção pessoal sobre o potencial de emprego no país dos processos de alvenaria cerâmica e sobre o potencial de desenvolvimento que apresentavam, face às deficiências dos então existentes.

Deste modo, a procura de um parceiro que, suprindo os recursos necessários, pudesse ainda complementar os cenários de pesquisa citados, voltou-se para o setor das indústrias de cerâmica vermelha. E aí encontramos o respaldo adequado na figura da Tebas Cerâmica Ltda.

Desde o início do desenvolvimento do processo construtivo EPUSP-TEBAS objetivávamos gerar uma metodologia de pesquisa cujo emprego fosse extensível à criação e aperfeiçoamento de quaisquer outros métodos, processos e sistemas construtivos inovadores. Na realidade, os desenvolvimentos, do processo construtivo e da metodologia, ocorreram em paralelo, em vista do ineditismo de ambos. No entanto, procuramos manter a característica de universalidade da metodologia de pesquisa.

5.1.2 O CONVÊNIO EPUSP-TEBAS

A Tebas Cerâmica Ltda. é uma empresa de capital privado, situada em Salto - SP, constituída em 1984 e sucessora da Cerâmica Igaçaba, tradicional fabricante de produtos de cerâmica vermelha (tijolos, blocos, lajotas, plaquetas para revestimento de fachadas, etc.).

Ao ser criada, adotou como principal política industrial a de investir continua e maciçamente em desenvolvimento tecnológico, tanto da produção, como do produto. A nível de processo produtivo, a Tebas voltou-se basicamente para implementar um efetivo controle de qualidade (inexistente na grande maioria

das indústrias do setor) e a desenvolver progressivamente os métodos e processos de produção, racionalizando-os inicialmente e evoluindo para a mecanização e automação total dos mesmos.

A nível de produto a Tebas decidiu que seus produtos deveriam incorporar tecnologia e simbolizar qualidade, de modo a que, diferenciando-se amplamente dos da concorrência, tornasse viável a adoção de maiores valores unitários de venda (cruzados por unidade de peso de produto acabado) em um mercado aviltado. Só assim seria possível quebrar o ciclo vicioso que condena o setor industrial ceramista (especificamente o de cerâmica vermelha) a um acentuado e persistente atraso tecnológico - não se investe em tecnologia devido a baixa rentabilidade e não há boa rentabilidade porque o produto não agrega tecnologia.

Assim a Tebas encontrava-se predisposta a investir no desenvolvimento de seus produtos, e para isto procurava um parceiro, quando foi contactada pela EPUSP, no momento em que esta buscava associar-se a uma empresa que se dispusesse a financiar suas pesquisas na área e que viesse a complementar os cenários de pesquisa mencionados.

Em setembro de 1985 foi assinado o Convênio EPUSP-TEBAS, entre a Universidade de São Paulo (com a interveniência da Escola Politécnica) e a Tebas Cerâmica Ltda., com o objetivo definido de promover pesquisas de desenvolvimento tecnológico no setor da Construção Civil, nas áreas de processos construtivos e de materiais de construção. No mesmo mês teve início o projeto EP/TC-1 - "Desenvolvimento de um Processo Construtivo de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos", e que teve continuidade (segunda fase) no projeto EP/TC-2, no âmbito dos quais o processo construtivo, aqui denominado EPUSP-TEBAS, foi criado.

O Convênio continua em vigor (em fevereiro de 1989) e abriga outros projetos de pesquisa de novos produtos e processos e também aquele que permitira o aperfeiçoamento da tecnologia (etapa 11 da metodologia, ver 4.2.2) desenvolvida precursoramente.

5.1.3 CENÁRIOS DA PESQUISA

A pesquisa foi conduzida através de diversos cenários. Foram utilizados: O Laboratório de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, em São Paulo, capital; as instalações industriais da Tebas Cerâmica, em Salto, SP; as instalações laboratoriais da Escola de Cerâmica do SENAI, em São Caetano do Sul, SP; canteiros experimentais (para a Construção dos protótipos) em Jundiaí (SP) e na Cidade Universitária (SP, capital) e o canteiro de obra do condomínio Parque das Flores (primeira obra piloto - Tebas Construtora Ltda.) em Jundiaí, SP.

No Laboratório de Construção Civil da EPUSP (LCC-EPUSP), principal centro de desenvolvimento do processo, foram realizadas a quase totalidade dos ensaios de caracterização e de desempenho dos componentes e elementos. Nas pranchetas do LCC-EPUSP concebeu-se o processo e projetaram-se os edifícios protótipos. As etapas analíticas e descritivas foram também aí executadas. Todas as decisões foram centralizadas no LCC-EPUSP.

As instalações laboratoriais do SENAI supriram as deficiências do LCC-EPUSP em equipamento especializado. Na Escola de Cerâmica foram efetuados os ensaios de caracterização das matérias primas

para a fabricação dos componentes do processo construtivo, ensaios que permitiram a seleção daquelas mais adequadas e direcionaram o prognóstico sobre a capacidade resistente mais provável dos componentes de alvenaria. Além destes ambientes, utilizou-se também para execução de ensaios laboratoriais o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (desempenho acústico e comportamento ao fogo da parede de alvenaria) e o laboratório de controle de qualidade da Tebas Cerâmica.

Na planta industrial de Salto foram desenvolvidos os processos de produção dos componentes de alvenaria e a metodologia de controle de qualidade e foram produzidos todos os componentes exigidos nas etapas experimentais.

Os edifícios protótipos foram construídos em Jundiaí e na Cidade Universitária de São Paulo. No canteiro experimental de Jundiaí construiu-se um edifício residencial com 4 pavimentos, 16 apartamentos e 1185 m² de área em planta (total). No canteiro de São Paulo ergueu-se um edifício de uso específico (laboratório vertical de instalações hidráulicas prediais - torre hidráulica) com 8 pavimentos e 266 m² de área em planta. Em ambos os canteiros empregou-se mão de obra alocada e administrada por empresas construtoras (Tebas e Encol, respectivamente), tendo sido, no entanto, alteradas as suas sistemáticas organizacionais, a fim de adequá-las ao caráter experimental das construções. Diversos ensaios de campo, essenciais para o desenvolvimento do processo construtivo, foram efetuados nestes canteiros.

A obra piloto, ainda em andamento (em fevereiro de 1989), está sendo realizada em Jundiaí, e constituir-se-á em um conjunto habitacional com 8 edifícios de 4 pavimentos, totalizando 128 apartamentos e 10388 m² de área construída. O primeiro edifício protótipo faz parte deste conjunto sem, entretanto, confundir-se com a obra piloto (a construção dos demais 7 edifícios), em vista do seu caráter experimental. Outras obras utilizando o processo construtivo foram ou estão sendo executadas. No entanto, não são aqui considerados cenários de pesquisa em decorrência do fato de não estarem sendo (ou não terem sido) acompanhadas diretamente pela equipe de pesquisadores. Apesar disto, têm realimentado o desenvolvimento e servido para aperfeiçoar o processo construtivo pois, os seus resultados estão sendo apreendidos pela outra parte do convênio - a Tebas Cerâmica

Ao longo dos 3 primeiros anos de pesquisa envolveram-se na mesma, por parte da EPUSP, cinco pesquisadores (dois trabalhando continuamente e os outros em determinadas fases) que se dedicaram cerca de 5000 horas de trabalho e três pesquisadores de iniciação científica com uma dedicação aproximada de 2500 horas. Neste e em outros aspectos correlatos pode ser consultado para maiores referências o conjunto de relatórios técnicos [Sabbatini et alii, 1986-1988].

5.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO

O novo processo construtivo, desenvolvido segundo a metodologia preconizada, apresenta características comuns a todos os processos de alvenaria estrutural e um conjunto particular de características que o diferencia dos demais. Para a sua descrição temos de focar tanto as suas características particulares como aquelas que são comuns ao universo dos processos assemelhados pois, sem estas se perde a visão global e a compreensão do objeto descrito é dificultada. Assim, teremos de avançar na descrição de partes que possam, à primeira vista, parecer elementares e de conhecimento generalizado

(por serem comuns a todos estes tipos de processos) para obtermos uma visão coerente e completa do Processo EPUSP-TEBAS.

O Processo Construtivo EPUSP-TEBAS tem um tal nível organizacional, enquanto sistema, que poderíamos classificá-lo, segundo a classificação de Sebestyén [1980] (ver 2.1.4), como um quase-sistema construtivo. Apesar de possuir um "hardware" suficientemente definido ele apresenta algumas inter-relações entre elementos não definidas "a priori" (em aberto) e que justificam a sua não inclusão entre os sistemas construtivos. Isto é próprio dos processos construtivos racionalizados (ver 3.3.1) que, em maior ou menor grau, apresentam pontos nos quais as decisões devem ser adotadas caso a caso. De qualquer forma, a complexidade e a coerência construtiva do Processo EPUSP-TEBAS colocam-no em um nível hierarquicamente superior quando confrontado com outros processos semelhantes. Para demonstrar esta afirmação, teremos muitas vezes que compará-lo a outros processos. O objetivo, portanto, é melhor caracterizá-lo e não censurar os demais.

A descrição do processo construtivo será dividida em características gerais, componentes e técnicas construtivas. Conforme foi dito anteriormente, procuramos não detalhar em demasia tal descrição, por não ser este o objetivo do trabalho. As colocações são feitas no sentido de situar o problema e propiciar uma melhor compreensão do item seguinte (5.3 - Aplicação da Metodologia) e por isto o nível de detalhamento não se estende além do que consideramos necessário para preencher estas finalidades.

5.2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Processo Construtivo EPUSP-TEBAS é um meio de produção de edifícios com particularidades bem definidas. Como tal ele induz a construção de edifícios com tipologias construtivas, destinação e desempenho característicos e bem determinados. A explicação do processo passa pela exposição destes atributos.

De acordo com o conceito adotado para processo construtivo (ver 2.1.3), este se caracteriza pelo seu particular conjunto de métodos empregados na construção da estrutura e das vedações do edifício. Na análise sistêmica do edifício a estrutura e as vedações são encarados como sub-sistemas do sistema edifício (ver 2.1.2). O Processo EPUSP-TEBAS também se caracteriza essencialmente por estes sub-sistemas. Entretanto, ele possui diretrizes para a execução de outros sub-sistemas, de modo que a construção do edifício, como um todo, pode ser conduzida de forma integrada e racional. Estas diretrizes são aqui referenciadas.

A caracterização do comportamento em utilização do processo, através da avaliação do desempenho de um edifício, pressupõe a escolha de um particular edifício (com uma determinada tipologia e um projeto específico) para ser avaliado. A nível de análise global do processo construtivo, esta particularização pode não ser interessante, por ser incompleta e restritiva. Além disto os custos de tal avaliação são altos, e este fato foi decisivo para a sua não realização no atual estágio da pesquisa de desenvolvimento. Deste modo, a caracterização do desempenho do processo é, neste trabalho, feita preponderantemente pela análise do desempenho dos elementos isolados.

5.2.1.1 IDENTIDADE

O Processo EPUSP-TEBAS enquadra-se entre os processos construtivos racionalizados (ver 3.3.1), e é classificado como um processo construtivo em alvenaria estrutural (PCAE). Nesta categoria é identificado, segundo o tipo de alvenaria empregada, como um PCAE (não armada) e, de acordo com o tipo de componente básico, como um PCAE de blocos cerâmicos. A estrutura suporte dos edifícios emprega tão somente paredes de alvenaria, construídas com blocos cerâmicos de características exclusivas (ver 5.2.2), e lajes enrijecedoras de diversas naturezas. As paredes não embutem nenhum tipo de armadura para resistir às cargas de serviço. Existem, é evidente, reforços metálicos empregados na absorção de tensões localizadas (por exemplo nas vergas e contra-vergas) mas que não são consideradas como armadura [Sabbatini, 1987].

O Processo EPUSP-TEBAS foi desenvolvido com uma destinação de uso bem determinada. Ele é adequado para a construção de edifícios de múltiplos pavimentos (inicialmente até cinco, depois verificou-se ser possível a construção de até oito pavimentos) e que tenham uma concepção arquitetônica coerente com a concepção estrutural praticada no dimensionamento de edifícios altos em alvenaria estrutural não armada. Em decorrência, a tipologia de edifícios mais apropriada para o emprego do processo é a que corresponde aos edifícios com grande número de partições internas: residências; escolas; hotéis; creches; hospitais, etc. Esta tipologia detém aquela coerência citada pois, a existência de um grande número de divisões internas executadas em paredes de alvenaria (que são normais nos leiautes daqueles tipos de edifícios), contribui para aumentar o grau de rigidez da estrutura (pelo mútuo contraventamento) e com isto, inibe o aparecimento de tensões de tração. Em uma primeira análise, os tipos de edifícios que possibilitam um aproveitamento otimizado do processo parecem ser os edifícios residenciais de 4 a 8 pavimentos.

Completa a identidade do Processo EPUSP-TEBAS, o seu nível superior de racionalização construtiva que, qualitativamente, pode ser avaliado segundo diversos atributos (ver 5.2.1.3).

5.2.1.2 SUB-SISTEMAS

Nos edifícios construídos em alvenaria estrutural os sub-sistemas estrutura e vedações não são normalmente individualizados. Os mesmos elementos que provêm a função estrutura possuem concomitantemente as funções de vedar e compartimentar. Estes elementos, de formato laminar, são as paredes resistentes (posicionadas verticalmente e atuando estruturalmente como chapas) e as lajes (posicionadas horizontalmente e atuando estruturalmente como placas)[Sabbatini, 1984]. Na prática pode-se empregar indistintamente lajes de qualquer natureza e, em decorrência, os PCAE distinguem-se essencialmente pelo tipo de parede resistente.

Em síntese, os PCAE caracterizam-se pelos componentes de alvenaria empregados e pelas técnicas construtivas de assentamento da alvenaria e de acoplamento dos elementos entre si. No entanto, como as especificidades de cada PCAE induzem à adoção de soluções construtivas próprias para os demais sub-sistemas, estas são também incluídas na relação das características particulares dos PCAE.

O Processo EPUSP-TEBAS adota, para preencher ambas as funções de estrutura e de vedação

verticais, uma parede resistente construída com componentes (ver 5.2.2) e por um método (ver 5.2.3) bem determinados. Para os demais sub-sistemas o processo preconiza as soluções seguintes:

A – FUNDAÇÕES

Os tipos de fundações mais coerentes são os que transmitem diretamente e de forma contínua as cargas para o solo, tais como, as sapatas corridas (armadas) e as fundações tipo "radier". Estes tipos devem ser priorizados, pois são tecnicamente compatíveis com a alvenaria estrutural e representam habitualmente as opções mais económicas. Deverão ser adotados, sempre que as condições de suporte da base o permitirem.

B – COBERTURAS

Pode-se empregar qualquer tipo usual de cobertura. Entretanto é fundamental que haja um projeto específico que considere e respeite as características do Processo. Visando a racionalização construtiva as coberturas mais indicadas são as que empregam telhas modulares de fibro-cimento de grandes dimensões. No entanto, o emprego destas telhas exige a adoção de detalhes construtivos (5.2.3.3) especiais para o acoplamento entre paredes e lajes a fim de que sejam evitados problemas patológicos.

C – REVESTIMENTOS

As características de regularidade e planeza dos panos de alvenaria descartam a necessidade da camada de regularização nos revestimentos argamassados (emboço). Devido às características superficiais dos componentes (porosidade, textura) geralmente tornar-se desnecessário o uso da camada de aderência (chapisco). Assim o processo induz à adoção de revestimentos de pequenas espessuras e em uma única camada. Internamente como fator de racionalização, indica-se o revestimento com pasta de gesso (espessura de 5 a 7 mm). A opção da alvenaria não revestida (aparente) é perfeitamente admissível, mesmo nas fachadas, em decorrência das características esteticamente adequadas do componente (formato, cor, textura, regularidade geométrica) e do desempenho quanto à estanqueidade (ver 5.2.1.3) e em relação à resistência superficial. Os revestimentos cerâmicos e de pedras naturais podem ser assentados diretamente sobre a alvenaria com o uso de argamassa adesiva. A modulação tradicional dos azulejos (15 cm) é totalmente compatível com a da alvenaria, permitindo um assentamento racional (sem cortes) dos mesmos.

D – ESQUADRIAS

O processo preconiza a utilização de gabaritos para a definição precisa dos vãos (ver 5.2.3.1) de modo a permitir a montagem racionalizada das esquadrias. Também adota detalhes (ver 5.2.2 e 5.2.3) que otimizam o desempenho das janelas quanto à estanqueidade. As características dos blocos permitem o simples chumbamento das esquadrias com buchas e parafusos. O emprego de peças especiais pré-moldadas (peitoris, vergas, marcos, ver 5.2.2.3) é estimulado, visando a máxima racionalização construtiva.

E - INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E HIDRÁULICAS

Processo EPUSP-TEBAS permite o embutimento total das instalações elétricas da forma a mais racionalizada possível (ver 5.2.3.3) , sem necessidade de rasgar as paredes. As suas características definem com precisão e na sua totalidade o método construtivo para este sub-sistema. Para as instalações hidráulicas há a possibilidade de adoção de diversas opções. O processo estimula o emprego de "kits" hidráulicos, "shafts" verticais, embutimento nos vazios verticais de ramais secundários e paredes hidráulicas, com o objetivo de incrementar a construtibilidade.

Em relação às lajes, o processo admite tanto as pré-moldadas, quanto as moldadas no local. Para edifícios de 5 a 8 pavimentos as exigências estruturais priorizam as lajes armadas em duas direções. O emprego de pré-lajes tem se mostrado vantajoso, principalmente pelo nível superior de racionalização construtiva que elas permitem. Para as lajes moldadas no local, sem pré-laje, o processo recomenda a adoção de sistemas de formas racionalizadas, desenvolvidas especialmente para os PCAE.

5.2.1.3 RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA

5.2.1.3.1 ATRIBUTOS ESSENCIAIS

A racionalização construtiva foi o principal paradigma a orientar todo o desenvolvimento do Processo EPUSP-TEBAS. Foi sempre o objetivo que alimentou as sucessivas reciclagens nas fases de concepção e verificação. Entretanto, avaliar o grau de racionalização construtiva intrínseco a um processo não é simples.

O nível de racionalização construtiva associa-se a um conjunto de atributos diversos que caracterizam e são os responsáveis pela "personalidade" de um dado processo construtivo. Este conjunto, quando confrontado com os de outros processos, é que permite, por comparação, distinguir o nível atingido pelo processo em análise. Fazem parte destes atributos o grau de construtibilidade, o nível de organização da produção, a categoria do controle de qualidade, a relação desempenho-custo, etc.

O Processo EPUSP-TEBAS ao ter seu nível de racionalização construtiva comparado com o de outros PCAE em uso (e que não foram metodologicamente desenvolvidos) favorece a demonstração da importância em se empregar uma metodologia apropriada na criação e no aperfeiçoamento de MPSCnst.

Assim, neste contexto, os atributos essenciais do Processo EPUSP-TEBAS são: grau superior de construtibilidade; nível organizacional elevado; controle de qualidade eficaz e desempenho superior. Ve-se que os adjetivos que qualificam os atributos construtibilidade e desempenho são de natureza comparativa.

No atual estágio do conhecimento é muito difícil quantificar por valores paramétricos absolutos estes atributos, por inexistirem escalas de valores inequivocadamente aceitas. O desempenho ainda pode ser comparado quantitativamente, desde que o edifício seja discretizado em partes e o desempenho isolado destas seja multi-parametrizado, de acordo com exigências específicas. Ao confrontarmos qualitativamente os atributos do Processo EPUSP-TEBAS com os de outros PCAE estaremos também posicionando-o

dentro da realidade do país e estabelecendo, de modo relativo, o degrau em que ele se encontra. O atributo de desempenho, pela sua especificidade, é analisado à parte, no item 5.2.1.4.

5.2.1.3.2 GRAU SUPERIOR DE CONSTRUTIBILIDADE

Conforme foi visto em 4.1.2, uma das duas diretrizes balizadoras da metodologia proposta é a da construtibilidade. Deste modo, o Processo EPUSP-TEBAS foi desenvolvido tendo por linha mestra a obtenção de um nível máximo de construtibilidade, respeitando logicamente os condicionantes e em obediência às premissas iniciais (ver 5.3.2).

O grau de construtibilidade pode ser avaliado segundo diversas características. Por exemplo: o nível de simplificação construtiva; o nível de detalhamento do projeto do "hardware"; a relação entre a massa do material que entra e a do que sai do canteiro, na forma de entulho ou descarte; a extensão do detalhamento construtivo, que deve incluir a descrição dos procedimentos operacionais a serem seguidos, as soluções alternativas para as dificuldades que poderão ser encontradas, etc. Na realidade, a avaliação do grau de construtibilidade será mais precisa se for considerado o conjunto das características intervenientes.

Os sistemas construtivos, pela própria definição adotada (2.1.4) apresentam, em tese, graus máximos de construtibilidade. Os processos, dentro desta óptica, possuem um nível inferior àqueles. Acreditamos que o Processo EPUSP-TEBAS possui um grau que excede o que seria próprio para os de sua categoria.

Este grau superior de construtibilidade, atributo de fundamental importância para qualquer inovação tecnológica na área, pode ser constatado no Processo EPUSP-TEBAS, por exemplo, pelas seguintes características: a) Com a comercialização do processo é fornecido um "pacote para projetos e construção" que, detalha em profundidade o "hardware", manualiza os procedimentos operacionais e fornece os subsídios para o projeto totalmente racional de um particular edifício que empregue o processo; b) Nível de simplificação construtiva superior, quando comparado a todos os PCAE em uso; c) Índice inferior de consumo de materiais (em massa ou em volume) quando comparado aos PCAE em uso e com desempenho semelhante (mesma espessura de parede); d) Índice global de produtividade de mão de obra reduzido, se comparado aos de outros processos; e) Tempo total de construção inferior ao de outros processos semelhantes, para edifícios correntes; f) Tipificação completa de todos os componentes necessários; g) Modularidade total, etc. A comprovação das características que suplantam as de processos semelhantes, pela sua natureza comparativa, exigiria uma análise minuciosa daqueles processos o que não é o objetivo deste trabalho. Assim, no intuito apenas de exemplificar sumariamente o que foi afirmado, apresentamos as comparações a seguir:

a) Consumo de materiais por m² de parede de alvenaria:

- Na Tabela 5.1 são descritos os consumos de materiais em massa e em volume pelos diversos PCAE em uso no país. A tabela foi obtida considerando: as perdas de materiais; paredes de um edifício de mesmas características (4 pavimentos padrão COHAB); paredes com idêntica espessura (14 cm)[Sabbatini, 1986,1988].

b) Principais simplificações construtivas do Processo EPUSP-TEBAS em relação a:

- PCAE de Blocos vazados de Concreto: Não grauteamento dos vazios verticais; não utilização de armadura vertical; não utilização de cintas de amarração a meia altura; não utilização de grampos e graute para a união de paredes ortogonais; não preenchimento das juntas verticais no momento do assentamento; simplificação da técnica de colocação da argamassa da Tabela 5.1 Consumo comparativo de materiais para a construção de um m² de Alvenaria pelos diversos PCAE [Sabbatini et alii, 1986,88].

Tabela 5.1 Consumo comparativo de materiais para a construção de um m² de Alvenaria pelos diversos PCAE [Sabbatini et alii, 1986,88].

Processo Construtivo de Alvenaria Estrutural com blocos	consumo			
	em massa		em volume	
	kg	índice	dm ³	índice
EPUSP-TEBAS	150	1	144	1
de Concreto (parcialmente armada)	229	1.53	188	1.31
Cerâmicos (parcialmente armada)	182	1.21	211	1.47
Cerâmicos ("portante")	193	1.29	179	1.24
Sílico-Calcários ("portante")	233	1.55	167	1.16

junta horizontal; embutimento das instalações prediais; fixação de marcos de esquadrias; concretagens de laje; possibilidade de não revestir externamente; execução de peitoris; execução de pingadeiras superiores em janelas; execução de juntas de movimentação. - PCAE "Portante" de Blocos Cerâmicos; Simplificação da técnica de assentamento (nível, prumo e uniformidade na espessura de junta, mais fáceis de serem obtidas); não preenchimento das juntas verticais no momento do assentamento; união das paredes ortogonais (em "T" e de canto); fixação de marcos de esquadrias; embutimento de instalações hidráulicas; embutimento de instalações elétricas; concretagem de laje; possibilidade de não revestir exteriormente; execução de peitoris e pingadeiras; junta de trabalho da laje de cobertura; execução de juntas de movimentação.

c) Modularidade Total:

- A modulação é fator primordial para iniciar-se um processo de racionalização construtiva. Todos os PCAE adotam um módulo básico e possuem um determinado nível de modularidade (qualidade do que é modular). Um componente, ou um elemento, apresenta modularidade total quando o seu emprego permite a adoção de um projeto integralmente modulado, que possa ser implantado sobre um reticulado espacial de referência, sem adaptações. O Processo EPUSP-TEBAS tem esta propriedade. O projeto do edifício que o emprega pode ser implantado sobre um reticulado espacial de referência com medida modular de 30 cm. Existe compatibilidade completa da quadricula de referência com a disposição das paredes, graças à dimensão coordenada do componente básico - o bloco cerâmico (30 x 15 x 15 cm, dimensões nominais). Assim, não há o inconveniente da adoção da zona neutra ou de componentes especiais para dispor

adequadamente o leiaute arquitetônico, como é comum em processos não totalmente modulares (por exemplo, os PCAE de blocos de concreto e cerâmicos que apresentam espessura nominal de parede de 15 cm e as outras dimensões múltiplas de 20 cm). Existe também, grande compatibilidade da dimensão modular característica com as esquadrias de janelas e de portas comercializadas no país (ver 5.2.2) e com os principais componentes modulares de revestimento (azulejos e pisos cerâmicos). Tal não acontece com os outros dois PCAE em uso no país (de blocos cerâmicos e sílico calcários "portantes") que adotam a modulação octamétrica, de origem alemã (dimensões modulares múltiplas e sub-múltiplas de 25 cm). A escolha da dimensão modular de 30 cm, não usual nos PCAE do país, está respaldada por diversas razões (ver 5.3.1).

5.2.1.3.3. NÍVEL ORGANIZACIONAL ELEVADO

O nível de organização da produção é um atributo que contribui significativamente para uma medida precisa do grau de racionalização construtiva potencial de um MPSCConst.. Dizemos que um determinado processo de produção tem um nível organizacional elevado quando: os procedimentos operacionais a serem seguidos estão completamente descritos; o fluxo de operações é integralmente pré-programado; os pontos de decisão (nós em um fluxograma) têm todas as respostas e os procedimentos subsequentes previstos; as sequências alternativas estão pré-programadas, caso ocorram interferências previsíveis; as inter-relações entre as diversas etapas estão equacionadas, etc.

Cada canteiro de obra é uma fábrica destinada a produzir um produto único - o edifício. Cada canteiro tem suas especificidades e a organização da produção é da responsabilidade de quem irá gerenciá-lo. Portanto nem o emprego de um sistema construtivo, com uma proposta organizacional completa, garante que o nível de organização da produção será elevado. Isto pela dependência intrínseca do esquema gerencial específico de cada obra.

Desta forma, o nível organizacional de um MPSCConst. tem de ser avaliado enquanto proposta. O Processo EPUSP-TEBAS apresenta uma proposta coerente e potencialmente de alto nível organizacional.

O importante em um processo construtivo essencialmente dependente da mão de obra é que todas as decisões sejam tomadas em um nível hierárquico superior ao do executor, que deve ater-se a seguir aos procedimentos recomendados. O Processo EPUSP-TEBAS, com o "pacote para projetos e construção", fornece estes procedimentos e também os subsídios necessários para que as decisões sejam adotadas nos níveis dos projetistas ou da gerência da obra. Ou seja, é possível, com os elementos disponíveis, que um edifício construído com o Processo EPUSP-TEBAS seja executado integralmente de acordo com o que for pré-planejado e com o planejamento iterativo desenvolvido pela gerência ao longo da obra.

5.2.1.3.4 CONTROLE DE QUALIDADE EFICAZ

O Processo EPUSP-TEBAS incorpora, como um de seus atributos essenciais, um programa de controle de qualidade dos produtos e dos serviços relativos à execução da estrutura de alvenaria.

O objetivo é buscar garantir a qualidade de um produto (o edifício de alvenaria) através do controle

de qualidade dos materiais e componentes e das operações construtivas. Em uma próxima etapa do desenvolvimento do processo prevê-se a introdução também de controles de qualidade de projeto e de uso, a fim de aumentar a confiabilidade do programa em relação à qualidade do produto edifício.

O programa de controle de qualidade é baseado em: a) um conjunto de procedimentos de avaliação e b) um conjunto de critérios de aceitação, e está organizado em três específicos processos operacionais: a) controle de qualidade de aceitação de materiais e componentes; b) controle de qualidade de execução dos serviços e c) controle de qualidade de aceitação dos serviços. Os conjuntos de procedimentos e de critérios englobam as especificações para estes três controles de qualidade. As avaliações dividem-se em avaliações de canteiro e avaliações laboratoriais. Devido à sistemática adotada para o controle de qualidade, estruturado em avaliações que acompanham simultaneamente a execução da alvenaria, a maior parte dos procedimentos de avaliação são os de canteiro.

A eficácia do controle de qualidade desenvolvido para o Processo EPUSP-TEBAS decorre da: eficiência do planejamento; efetividade dos procedimentos e da sistemática adotada. A relevância desta, para a eficácia do programa, deve-se ao seu mecanismo de atuação que, ao possibilitar a correção imediata dos desvios que poderiam vir a comprometer a qualidade final do produto (através das avaliações simultâneas), contribui decisivamente para manter dentro dos limites pré-fixados a qualidade especificada.

Este programa, bem como muitas das avaliações de canteiro, revestem-se de um caráter inédito na construção de edifícios e em particular na construção de edifícios em alvenaria estrutural e assume uma importância capital para a efetivação e manutenção da racionalização construtiva em patamares elevados.

5.2.1.4 DESEMPENHO

5.2.1.4.1 PAREDES RESISTENTES

A caracterização do desempenho do Processo EPUSP-TEBAS foi feita experimentalmente, avaliando-se tanto o desempenho das paredes resistentes de maneira isolada como o das paredes integradas no conjunto edifício. A avaliação completa do desempenho de um particular tipo de edifício não foi ainda executada, em função de sua complexidade e custo, não compatíveis com os recursos disponíveis.

Pode-se subdividir o desempenho funcional das paredes resistentes em: desempenho estrutural e desempenho como vedação. Para edifícios de até 6 pavimentos o desempenho estrutural restringe-se ao comportamento sob esforços de compressão (resistência à compressão). O desempenho como vedação engloba o comportamento da parede submetida às seguintes ações: do fogo, térmicas, acústicas e da água de chuva (resistência ao fogo, isolamento térmico, isolamento acústico e estanqueidade, respectivamente).

O desempenho estrutural para edifícios de até 6 pavimentos não considera o comportamento da parede sob esforços de flexão e cisalhamento atuando no seu plano desde que, sejam obedecidas as recomendações para projeto e construção estabelecidos pelo comitê W23 do CIB [CIB, 1980] e pelo código britânico [BSI, 1978]. Estes códigos foram adotados para o balizamento do desempenho estrutural pela inexistência de normalização no país.

Na Tabela 5.2 estão descritas as características da parede resistente relacionadas com o

comportamento sob esforços de compressão. Os resultados foram obtidos com os blocos empregados na construção dos edifícios protótipos (e que deverão ser os comercializados inicialmente) e de acordo com os procedimentos da norma britânica BSI-5628 [BSI, 1978]. Os resultados correspondem a valores médios obtidos a partir de 4 corpos de prova.

Tabela 5.2 Comportamento sob esforços de compressão, aos 28 dias, de paredes de Alvenaria moldadas com o Bloco EPUSP-TEBAS [Sabbatini et alii, 1986-1988]

Argamassa (composição em volume)	Resistência à compressão da argamassa NBR-6000 (N/mm ²)	Resistência à compressão média BSI-5628 (N/mm ²)	Coefficiente de Variação na Resistência à Compressão (%)	Resistência à compressão característica BSI-5628 (N/mm ²)	Módulo Tangente de Deformação da Alvenaria (médio) (N/mm ²)
1 : 0,5 : 4,5	3,56	2,98	8,6	2,48	3500
1 : 1 : 6	1,75	2,63	5,6	2,19	2560
1 : 2 : 9	0,72	2,78	4,9	2,27	2320

Tabela 5.3 Resistência à compressão de paredinhas e prismas - Processo EPUSP-TEBAS [Sabbatini et alii, 1986-1988]

Argamassa (composição em volume)	Resistência média à compressão de argamassa (N/mm ²)	Resistência média à compressão de paredinhas (N/mm ²)	Resistência média à compressão de prismas (N/mm ²)
1 : 0,5 : 4,5	3,58	3,53	6,13
1 : 1 : 6	1,84	3,58	5,87
1 : 2 : 9	0,80	2,92	5,59

Na Tabela 5.3 são mostrados os valores médios de resistência à compressão obtidos em ensaios de paredinhas e de prismas moldados com o mesmo tipo de blocos, argamassas e mão de obra das paredes da Tabela 5.1. Os resultados foram obtidos de 10 corpos de prova, de acordo com método de ensaio desenvolvido pela EPUSP [Sabbatini et alii, 1986-1988].

O desempenho da parede resistente como elemento do sub-sistema vedação foi avaliado experimentalmente quanto à resistência ao fogo e isolamento acústico no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e quanto à estanqueidade em ensaios de campo (protótipo de Jundiaí) empregando equipamento desenvolvido pela EPUSP [Sabbatini et alii 1986-1988].

No que se refere à resistência ao fogo (realizado segundo o método NBR 6528 - Determinação da Resistência ao Fogo de Componentes Construtivos Estruturais) a parede resistente do Processo EPUSP-TEBAS foi classificada como corta fogo por duas horas, para-chamas por quatro horas e estável ao fogo também por 4 horas (isolamento térmico de 125 minutos, estanqueidade e resistência mecânica de 240 minutos). Estes valores suplantam os obtidos nas mesmas condições para outros PCAE que empregam blocos cerâmicos e de concreto, citados por Ercio Thomaz [Thomaz, 1988].

O isolamento acústico foi ensaiado de acordo com a Norma ISO 140/111 ("Laboratory Measurements of Airborne Sound Insolation of Building Elements"). A partir dos resultados obtidos pode-se classificar a parede resistente, segundo a Norma Americana ASTM E413 ("Determination of Sound Transmission Class"), em CTS 41 (Classe de Transmissão Sonora). Ensaios nas mesmas condições permitiram a classificação de outro PCAE de blocos cerâmicos em CTS 36 e de blocos de concreto em CTS 44 [Thomaz, 1988]. Para as exigências internacionais todos estes valores são insuficientes para fachadas e adequados para divisórias internas. No Brasil não foram ainda estabelecidas exigências específicas. O CTS obtido para a parede resistente ficou dentro do esperado, considerando-se a sua densidade superficial (160 kg/m^2). Um novo ensaio será necessário, com a parede revestida (densidade superficial de 195 kg/m^2), para uma avaliação mais completa de sua capacidade de isolamento acústico.

Nos ensaios de campo para verificação da resistência à penetração da água de chuva os resultados obtidos experimentalmente foram amplamente satisfatórios. Acreditamos que os ensaios de estanqueidade precisam ser executados em edifícios prontos, pois a simulação em laboratório não é totalmente coerente com a realidade. Partindo deste pressuposto houve a necessidade de se desenvolver um equipamento específico pelo ineditismo desta experiência. Nos ensaios foram adotados os procedimentos operacionais recomendados na Norma do IPT - ME-15/1981 "Determinação da Estanqueidade à Água de Chuva de Paredes Externas", que estabelece condições de ensaio extremamente rigorosas (precipitação de 360 mm por hora e vento atuante durante toda a chuva de 79 km/h, na prática, inexistentes).

As paredes revestidas, ao final do ensaio, não apresentaram umidade na face interna da parede. As paredes aparentes (impregnadas com hidrofugantes à base de silicões) após 2 à 4 horas apresentaram manchas com áreas de 1,7 à 2,9 % da área ensaiada. Apesar da inexistência de resultados com outros PCAE ensaiados na mesma forma que permitissem uma comparação quantitativa, entendemos que os resultados obtidos permitem a opção pela alvenaria aparente (que não é possível para os outros PCAE) desde que a execução da alvenaria seja feita dentro dos padrões de qualidade pré determinados e as condições climáticas sejam iguais ou inferiores à classe - moderada (segundo a classificação da norma britânica [BSI, 1973]).

A capacidade de isolamento térmico da parede resistente não pode ser determinada, pois exige equipamento complexo. O único existente no país, do IPT, não pode ser empregado por não estar em operação no período de desenvolvimento do Processo EPUSP-TEBAS.

5.2.1.4.2 EDIFÍCIO

A avaliação do desempenho global de um edifício-tipo, segundo uma metodologia cientificamente

inquestionável, não foi ainda executada, como já mencionado. No entanto, os resultados obtidos com a construção dos edifícios protótipos, da obra piloto e dos ensaios experimentais de laboratório e de campo, permitem-nos concluir seguramente que, o desempenho global do Processo EPUSP-TEBAS é superior ao dos demais PCAE de blocos cerâmicos em uso (e que também não foram ainda cientificamente avaliados). Pode-se inferir isto dos resultados experimentais, pois em todos os quesitos avaliados referentes ao desempenho das paredes, o comportamento das do Processo EPUSP-TEBAS foi superior.

Quanto ao PCAE de blocos de concreto é lícito esperar-se que o desempenho do Processo EPUSP-TEBAS seja inferior, apenas no que se refere ao isolamento acústico (o que era esperado devido a menor densidade superficial das paredes). No restante, pelo conjunto de resultados experimentais obtidos dos ensaios de paredes isoladas e pelas avaliações qualitativas de campo, acreditamos que o Processo EPUSP-TEBAS apresenta um melhor desempenho.

No que se refere a ocorrência de problemas patológicos (todos os fatores que comprometem o desempenho esperado do edifício [Sabbatini, 1984]), o Processo EPUSP-TEBAS foi desenvolvido com o objetivo explícito (ver 5.3.1) de vir a ser o processo com menor risco potencial de apresentar problemas corriqueiros aos demais PCAE, (principalmente fissuração por deformações intrínsecas restringidas e umidade de infiltração). A constatação de que o índice de problemas é comparativamente o menor dentre todos os PCAE, só será possível com a construção em escala de mercado do Processo EPUSP-TEBAS. No entanto, a nível de risco potencial, acreditamos que atingiu-se o objetivo. Isto porque inúmeros detalhes e técnicas construtivas foram especificamente desenvolvidas para cumprir esta finalidade (que ou inexistem ou não são normalmente adotados pelos demais PCAE). Além do fato, de que os componentes cerâmicos apresentam normalmente [BRE, 1979] as menores deformações intrínsecas (por origem térmica e higroscópica) dentre todos os componentes de alvenaria empregados.

5.2.2 COMPONENTES

A construção de um elemento de alvenaria em um processo construtivo racionalizado é uma operação de simples montagem de componentes industrializados. Para a união destes é utilizado um material (geralmente argamassa) com a propriedade de aderir aos componentes e com isto possibilitar a confecção de um conjunto coeso. A operação de montagem dos componentes define um método construtivo, que engloba inúmeras técnicas.

Na essência de um processo construtivo de alvenaria estrutural estão os componentes industrializados que ele emprega para a construção das paredes resistentes. Na realidade a individualização de um PCAE faz-se a partir da particularização do seu componente básico.

O componente básico de um PCAE, bloco ou tijolo (a terminologia diferencia-se pelo tamanho dos componentes), é aquele cujo consumo na confecção de um elemento de alvenaria equivale a quase totalidade dos componentes empregados. Se, para completar-se a construção de uma parede, tem de se utilizar necessariamente outros componentes, o conjunto destes com o componente básico constitui o que se denomina por componentes essenciais.

Em determinadas situações outros componentes podem vir a ser empregados sem que, no entanto,

seu uso seja obrigatório. Por exemplo, para facilitar uma técnica ou para conseguir um determinado efeito. Componentes com estas características são denominados componentes complementares.

Além destes, os PCAE admitem a utilização de inúmeras peças pré-moldadas visando elevar o nível de racionalização construtiva. São peças não comercializadas em conjunto com as anteriores mas são passíveis de emprego por guardarem total coerência com a concepção do processo. Estas peças são chamadas de componentes especiais.

O Processo EPUSP-TEBAS caracteriza-se pelo conjunto dos componentes essenciais e complementares desenvolvidos. Além destes ele propõe também o emprego de alguns componentes especiais que, a critério de quem fará uso do processo, poderão vir a ser fabricados, ou não.

5.2.2.1 COMPONENTES ESSENCIAIS

Os componentes essenciais do Processo EPUSP-TEBAS são três: o componente básico, aqui denominado por bloco Poli; o bloco canaleta e o meio-bloco. Na Figura 5.1 estes blocos estão ilustrados.

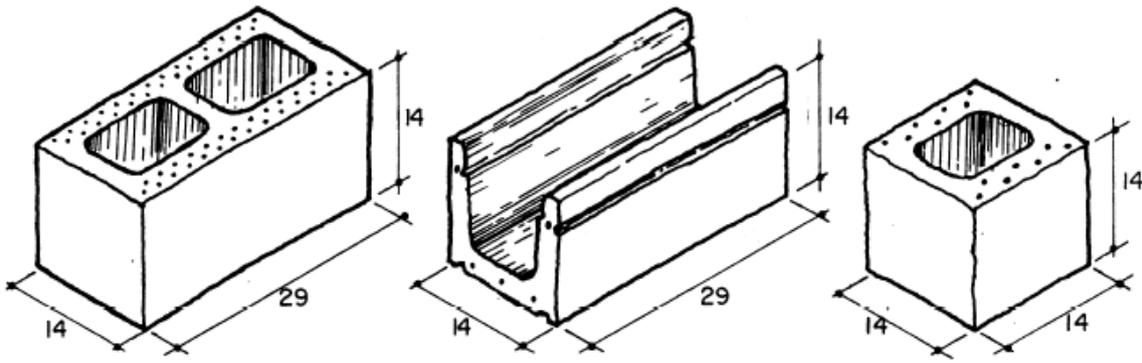
As dimensões nominais do Bloco Poli são: 15 cm de largura, 30 cm de comprimento e 15 cm de altura. As dimensões reais são respectivamente 14 x 29 x 14 cm. As três dimensões são coordenadas e possibilitam a adoção de um reticulado espacial de referência com dimensão modular de 30 cm. Na Tabela 5.4 estão relacionadas as principais características físico-mecânicas do Bloco Poli. O bloco foi concebido para ser assentado com os furos vazados na vertical e amarração de meio bloco de modo a criar por todo o pano de uma parede "dutos" internos formados pelo alinhamento dos furos vazados onde serão embutidas as canalizações elétricas e hidráulicas.

O bloco canaleta foi projetado com a finalidade de permitir a confecção de dutos horizontais que, quando preenchidos por argamassa ou concreto e com a colocação de armadura, irão formar cintas ou vigas armadas com as funções de verga, contra-verga, cinta de amarração ou consoles de apoio. Os fatores que justificam seu formato incomum estão explicados em 5.2.3.1.

O meio-bloco tem a função de possibilitar o deslocamento entre fiadas sucessivas de meio bloco de modo a criar a "amarração da alvenaria".

Tabela 5.4 Características do Bloco POLI

Propriedade	valor médio	unidade	coefic. var. %	método de ensaio
Resistência à Compressão	30,0	N/mm ²	10	NBR-6461
Resistência à Compressão	15,7	N/mm ²	31	BSI-3921
Dimensões - altura - largura - comprimento	140 140 290	mm	< 1	ASTM-C67
Dimensões - altura - largura - comprimento	142 142 293	mm	**	NBR-8042
Absorção Inicial (IRA) - face de assentamento - face de revestimento	21 15	$\frac{g}{193cm^2}$ min.	12 15	ASTM-C67
Absorção 24h	17,6	% massa	< 3	
Massa Seca	6,12	kg	< 3	
Massa Unitária (seca)	1,10	kg/dm ³	< 3	

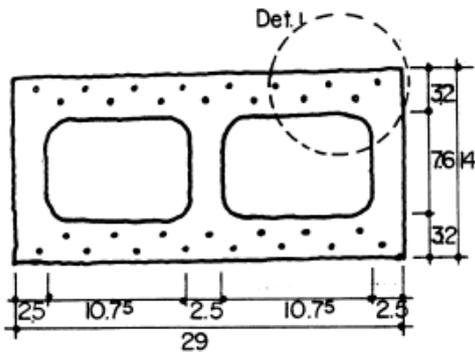


BLOCO POLI
(Componente Básico)

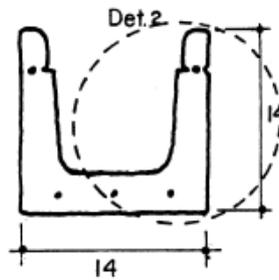
BLOCO CANALETA

MEIO BLOCO

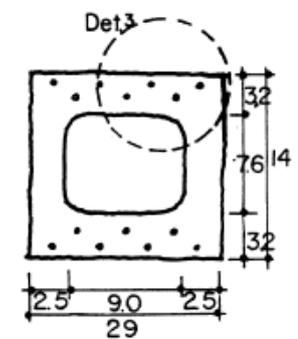
(Medidas em cm.)



Seção de Assentamento do Bloco Poli.



Seção em Corte do Bloco Canaleta.



Seção de Assentamento do Bloco Poli.

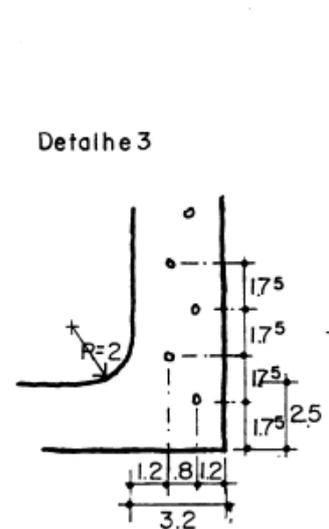
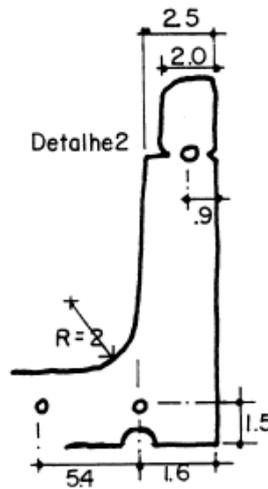
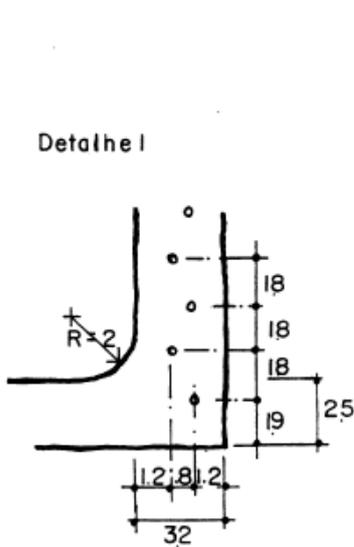


Figura 5.1 Componentes Essenciais do Processo EPUSP-TEBAS

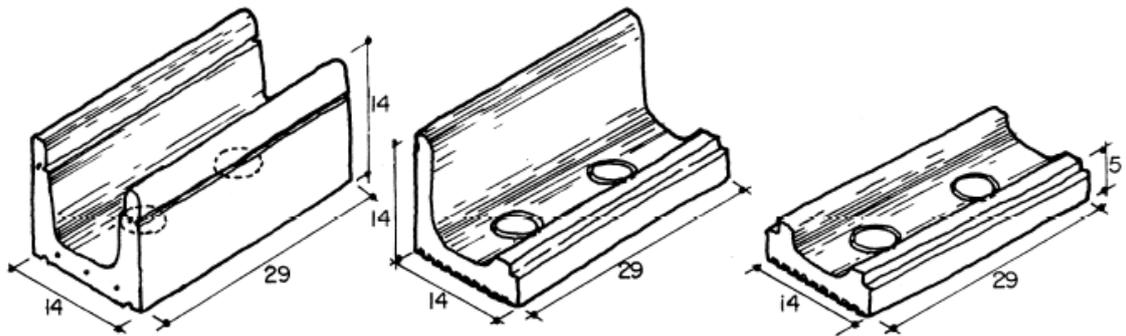
5.2.2.2 COMPONENTES COMPLEMENTARES

No desenvolvimento do Processo EPUSP-TEBAS foram concebidos seis componentes complementares: bloco jota; bloco compensador; bloco de canto; bloco canaleta-C; peitoril e tela de ancoragem. Na Figura 5.2 estes componentes estão esquematizados.

Os Blocos jota, compensador e de canto foram inicialmente projetados para utilização em alvenaria aparente. No entanto, os dois primeiros podem ser normalmente empregados na alvenaria revestida. O Bloco jota é empregado para moldar e embutir a testada das lajes nas fachadas, de modo a racionalizar a execução das mesmas (além de outras funções específicas, ver 5.2.3.2). O bloco compensador é utilizado nas paredes internas sempre que o bloco jota for empregado, para manter a mesma altura de apoio para as lajes. O bloco de canto é destinado a dar acabamento aos cantos externos nas fiadas dos blocos canaleta e do bloco Jota. Na alvenaria revestida os blocos jota e compensador podem ser empregados para definir a espessura da laje em 9 cm e facilitar a concretagem das mesmas, além de permitirem a execução racionalizada de lajes rebaixadas (ver 5.2.3.2).

O bloco canaleta-C é um bloco utilizado nos acoplamentos em "T" entre paredes na fiada da cinta de amarração do respaldo da alvenaria (quando esta for necessária), para permitir a continuidade da cinta (ver 5.2.3.2). É também utilizado na mesma fiada para manter, através do furo de passagem (ver Figura 5.2) a continuidade dos dutos internos com a laje e assim possibilitar o embutimento de eletrodutos (ver 5.2.3.3).

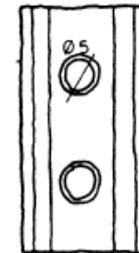
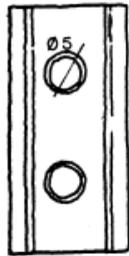
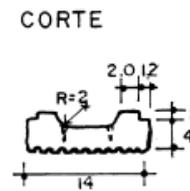
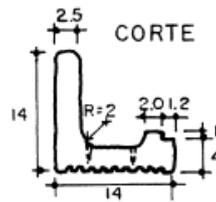
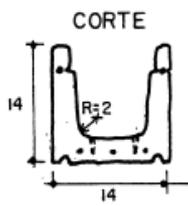
O peitoril é um componente integrante das contra-vergas, destinado a racionalizar a execução e otimizar o desempenho dos parapeitos, cuja função é evitar a infiltração de água de chuva pela parte inferior em janelas (ver Figura 5.4 e item 5.2.3.3). A tela de ancoragem é uma tela de metal expandido empregada no acoplamento entre paredes. Ela deve ser colocada imersa na argamassa das juntas horizontais. A técnica de emprego da tela está descrita em 5.2.3.2.



BLOCO CANALETA-C

BLOCO JOTA

BLOCO COMPENSADOR

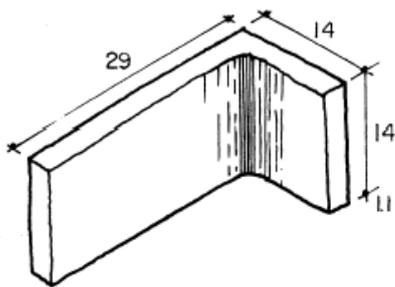


VISTA SUP.

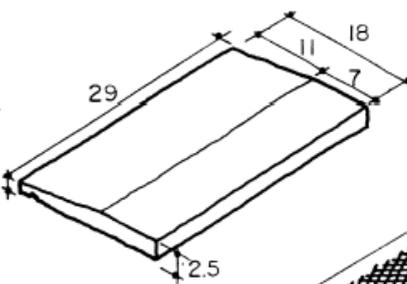
VISTA SUP.

VISTA SUP.

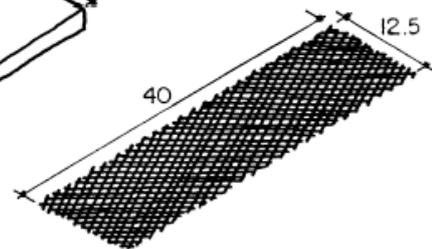
(Medidas em cm.)



BLOCO ELE



PEITORIL



TELA DE ANCORAGEM

Figura 5.2 Componentes Complementares do Processo EPUSP-TEBAS

5.2.2.3 COMPONENTES ESPECIAIS

O Processo EPUSP-TEBAS recomenda a utilização de peças pré-moldadas sempre que isto representar um incremento na construtibilidade e, por decorrência, na racionalização construtiva. Estas peças, desde que guardem coerência com o processo, são consideradas componentes especiais. São especiais porque não se destinam a compor a alvenaria e porque não são produtos "de prateleira", sendo fabricados de acordo com as especificações de cada particular projeto, possuindo dimensões variáveis em cada caso.

Na Figura 5.3 estão ilustrados alguns componentes especiais sugeridos pelo Processo. São todas peças pré-moldadas em concreto ou argamassa armada que quando empregadas concorrem para a racionalização das técnicas construtivas no canteiro, aumentando a produtividade da mão de obra e reduzindo perdas de tempo e materiais.

Além disto, com a adoção de determinados componentes, como os marcos e peitoris, pode-se conseguir incrementos substanciais no desempenho funcional das vedações. Os componentes esquematizados nas Figuras 5.3.C e 5.3.D, são peças desenvolvidas para a execução da circulação vertical em edifícios de forma simples, sem equipamentos especiais e com um alto grau de racionalização. O componente de rampa foi empregado especificamente no edifício protótipo de Jundiaí (e também na obra piloto).

As escadas pré-moldadas em lances completos, as pré-lajes (formas de fundo de lajes, em concreto armado, que se incorporam totalmente após a concretagem) e as lajes pré-moldadas são também componentes recomendados pelo Processo EPUSP-TEBAS para a estruturação de edifícios, devido ao seu elevado potencial de racionalização construtiva. São, no entanto, componentes de grande peso e exigem, por isto, equipamentos especiais para içamento e colocação.

5.2.3. TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

Um MPSCConst. tem seu grau de racionalização construtiva intrinsecamente associado ao grau de definição e detalhamento dos procedimentos operacionais a serem seguidos pelos operários que executá-lo-ão. Quanto menos decisões pessoais (a nível do executor direto) forem admissíveis, maior será o nível potencial de racionalização. Os processos construtivos que empregam a alvenaria devem prescrever as técnicas que lhes são apropriadas com maior ênfase ainda, pois como a alvenaria é a "arte do pedreiro" [Ferreira, 1975] os operários estão propensos a adotarem decisões por conta própria, encarando isto até como uma obrigação.

O Processo EPUSP-TEBAS caracteriza-se por sugerir especificamente todas as técnicas construtivas necessárias para a edificação da estrutura e das vedações, incluso nestas as esquadrias, os revestimentos e as instalações prediais embutidas. A descrição detalhada destas técnicas não cabe neste trabalho. No entanto, consideramos importante descrever sucintamente e justificar as técnicas não usuais propostas pelo processo.

Técnicas que, tendo sido desenvolvidas com o objetivo precípuo de maximizar a racionalização construtiva e otimizar o desempenho do conjunto permitem avaliar a eficácia das decisões adotadas no transcorrer do processo de desenvolvimento para a consecução destes objetivos. Por simplificação optamos pela descrição gráfica, onde isto for possível.

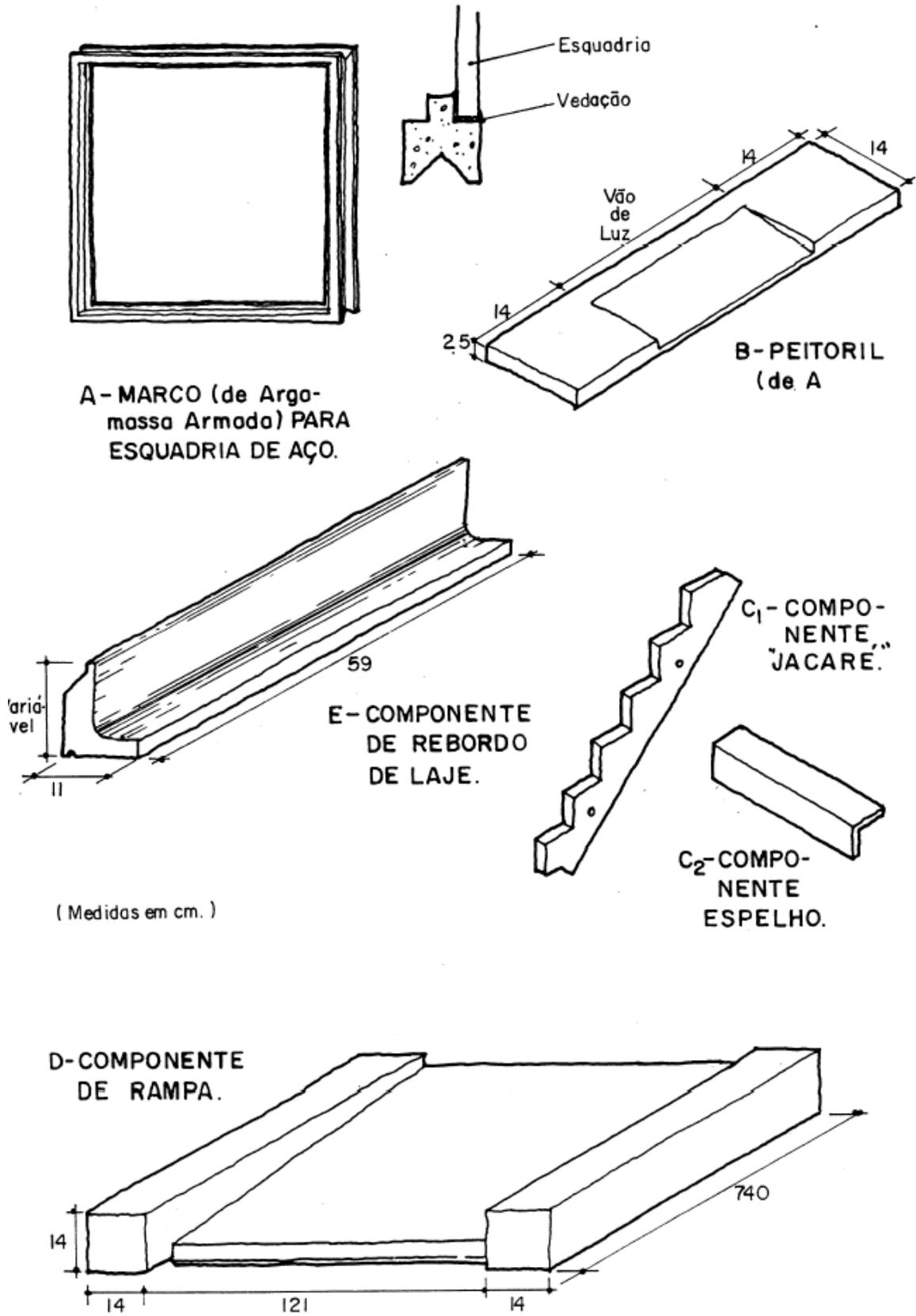


Figura 5.3 Componentes especiais pré-moldados sugeridos pelo Processo EPUSP-TEBAS

As técnicas foram sub-divididas em: de assentamento da alvenaria; de acoplamento entre elementos e técnicas diversas. O conjunto de todas as técnicas de assentamento e acoplamento define o específico **método construtivo do Processo EPUSP-TEBAS** para os subsistemas estrutura e vedações.

5.2.3.1 TÉCNICAS DE ASSENTAMENTO DA ALVENARIA

a) Técnica Básica:

- Moldagem das Fiadas Horizontais (Foto 1). Distribuição de dois cordões contínuos de argamassa, moldados por extrusão (para 3 ou mais blocos) com o emprego de uma ferramenta especial (bisnaga) e colocação, na sequência, dos blocos. Esta técnica incrementa sensivelmente a produtividade da mão de obra e reduz ao mínimo o desperdício de argamassa. A moldagem de dois cordões uniformes facilita a colocação do bloco no nível e no prumo pois não há excesso ou falta de argamassa. Não são colocados cordões nos septos transversais a fim de otimizar a estanqueidade e o isolamento térmico da parede (além da economia de argamassa). A técnica permite o trabalho em dupla, dos operários (um distribui a argamassa e outro coloca os blocos na posição).

- Execução das Juntas Verticais (Foto 1). As juntas verticais em argamassa são executadas "a posteriori" pelo preenchimento dos espaços entre blocos, com argamassa extrudada pela bisnaga. Pela extrusão sob pressão, a argamassa preenche adequadamente as juntas. Esta técnica contribui bastante no aumento da produtividade da mão de obra.

- Execução do Plano Vertical. Apesar da técnica de nivelamento das fiadas e levantamento da parede no prumo poder ser executado da forma tradicional, o processo recomenda, como forma de racionalizar a técnica, o emprego de escantilhões. A vantagem é um grande aumento na produtividade da mão de obra pois, na técnica tradicional, cerca de metade do tempo é gasto com a construção dos "castelos" nas extremidades da parede. O escantilhão materializa o prumo facilmente, estabelece a galga com precisão e permite o assentamento de 3 fiadas ao mesmo tempo (reduzindo o deslocamento do operário), simplificando e acelerando sobremaneira a operação.

- Execução de Vãos: Execução das contra-vergas (Figura 5.4). Para a execução das contra-vergas é usado o bloco canaleta. O preenchimento com concreto é feito parcialmente (até um nível definido pela geometria do bloco). Após a quebra da aba é embutido o peitoril (cerâmico ou pré-moldado). Esta técnica foi desenvolvida para eliminar os dois problemas patológicos mais comuns da alvenaria estrutural (a fissura "bigode de gato" e a infiltração de água pelos cantos inferiores dos vãos).

- Definição do vão. O Processo recomenda o emprego de gabarito metálico. As vantagens são: a definição precisa das dimensões (racionaliza a colocação de esquadrias e otimiza o desempenho quanto à estanqueidade) e a simplificação da execução das ombreiras dos vãos e das vergas moldadas no local. Pode-se ainda empregar complementarmente componentes especiais - o marco pré-moldado nas janelas e o batente envolvente nas portas (este apresenta a vantagem adicional de materializar o prumo das paredes internas).

- Execução das vergas (Figura 5.4). As vergas podem ser moldadas no local ou pré-moldadas sendo que para as duas técnicas emprega-se o bloco canaleta. Ao se pré-moldar esta peça a operação de assentamento é bastante racionalizada. As vergas incorporam a ranhura da pingadeira na alvenaria aparente.

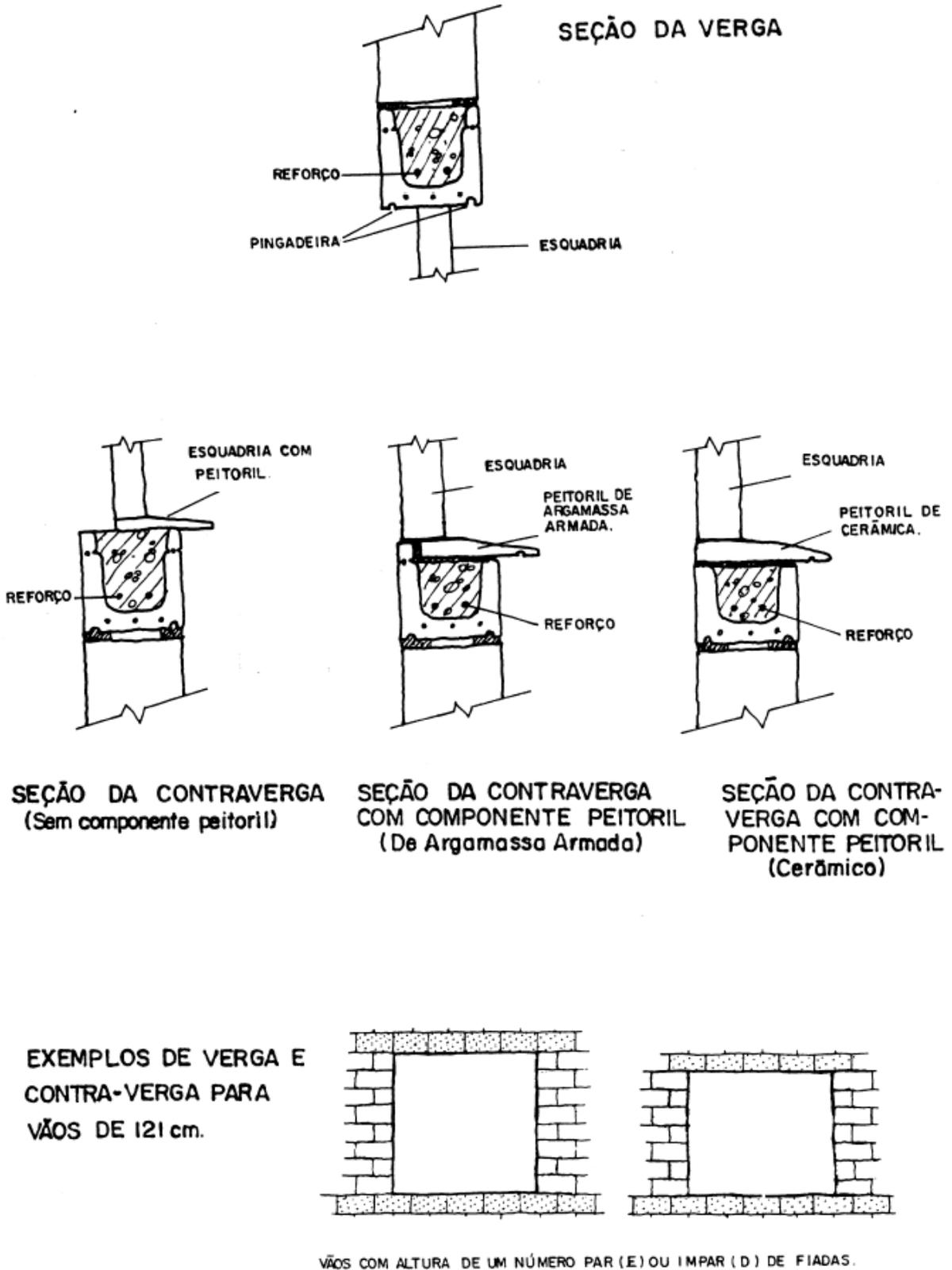
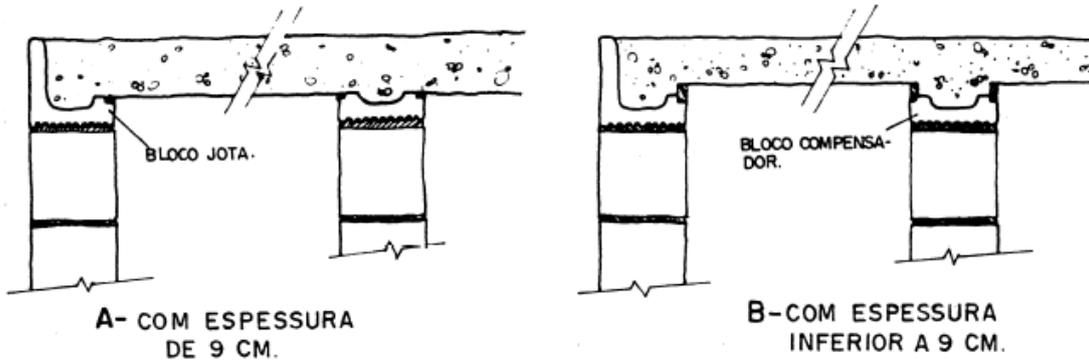
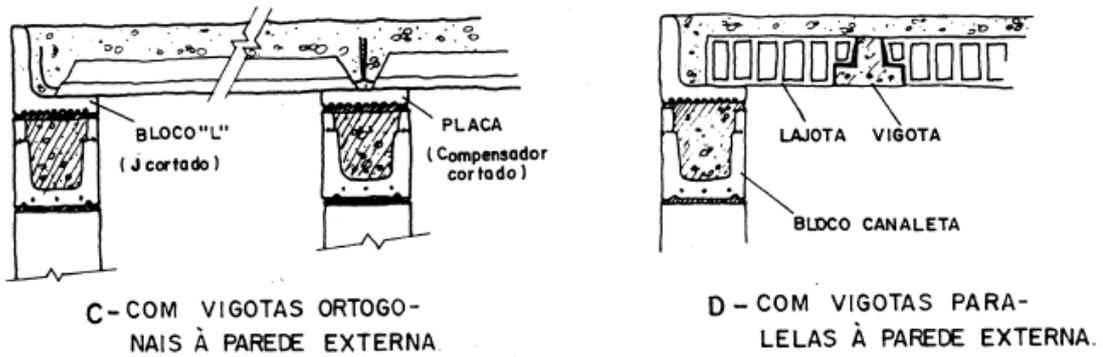


Figura 5.4 Execução de Vergas e Contra Vergas

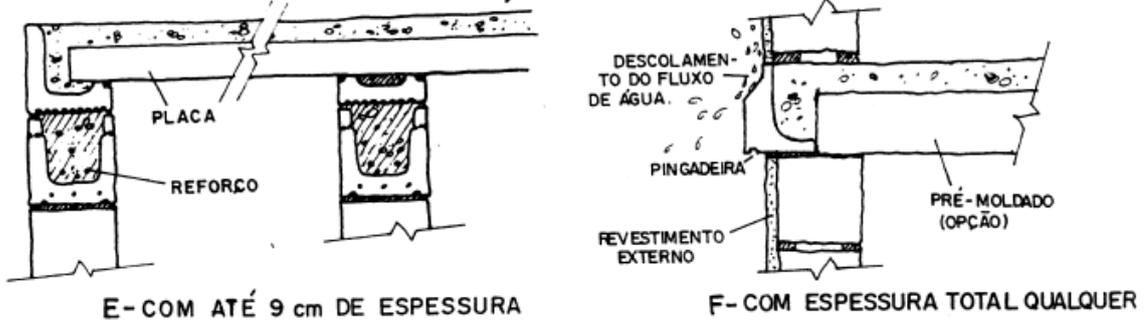
• LAJE MOLDADA NO LOCAL



• LAJE MISTA



• LAJE MOLDADA NO LOCAL, PRÉ-MOLDADA E PRÉ-LAJE



G- EXEMPLO DE LAJE REBAIXADA

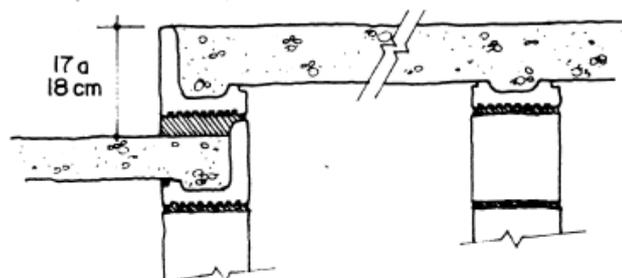


Figura 5.5 Acoplamentos Laje-parede

5.2.3.2 TÉCNICAS DE ACOPLAMENTO DE ELEMENTOS

Acoplamento parede-parede:

De Canto: exclusivamente com amarração de meio bloco.

Em "t": com o emprego de tela de ancoragem na junta horizontal (Foto 1).

Vantagens - racionalização da técnica (maior economia de material, menor tempo de execução) e incremento no desempenho estrutural (maior rigidez da ligação).

b) Acoplamento parede-laje:

- Alvenaria aparente: com o emprego dos blocos jota e compensador (Figura 5.5). Nas lajes moldadas no local, o emprego dos blocos complementares simplifica a técnica (serve de forma lateral, permite um ajuste da forma de fundo da laje, etc) e apresenta as vantagens adicionais de : dispensar a cinta de amarração (até 5 pavimentos); evitar o escorrimento de nata; permitir a deformação da laje sem esmagamento da alvenaria e possibilitar o embutimento totalmente racional dos eletrodutos (ver 5.2.3.3). Com lajes pré-moldadas o uso do jota propicia as mesmas vantagens, com exceção da dispensa da cinta de amarração.

- Alvenaria revestida: o emprego dos blocos jota e compensador é recomendado quando do uso das lajes moldadas no local, por apresentar as mesmas vantagens citadas. Uma outra opção é o emprego do componente especial rebordo de laje (figura 5.3.E). Com lajes pré-moldadas os blocos jota e compensador podem ser empregados, apesar de seu uso não ser tão vantajoso como no caso anterior pois existe a obrigatoriedade da cinta de amarração (ver exemplo de utilização na figura 5.5.F).

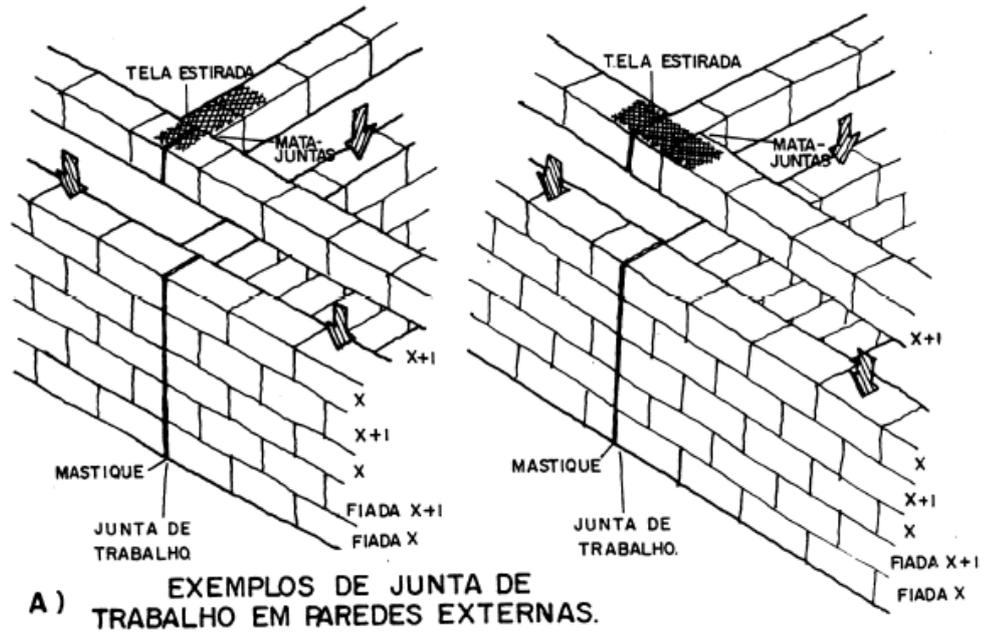
- Procedimentos gerais: em qualquer situação não é necessária a ancoragem metálica da laje. A ligação é feita só por atrito laje-parede. Em lajes rebaixadas pode-se empregar a técnica ilustrada na figura 5.5.G.

c) Acoplamento parede-fundação:

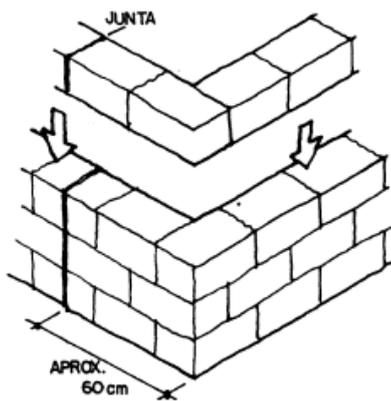
- Não há necessidade de ancoragem. A alvenaria é simplesmente apoiada sobre uma película impermeável (barreira estanque contra umidade capilar).

d) Juntas:

- De trabalho, nas paredes: o Processo recomenda juntas de trabalho nas paredes em panos superiores a 8-12 m (depende de diversas variáveis). Na figura 5.6 estão descritas gráficamente algumas das técnicas desenvolvidas para as juntas de trabalho.- De dilatação da laje: o terceiro problema patológico mais comum da alvenaria estrutural é o das fissuras provocadas por dilatação das lajes de cobertura. O Processo preconiza as soluções de ventilação do ático por efeito chaminé (com uso de "shaft") e da junta de dilatação esquematizada na figura 5.6.

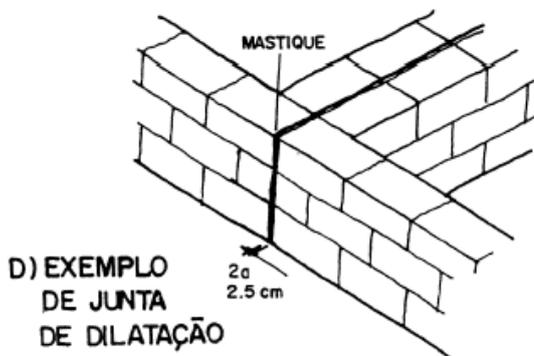
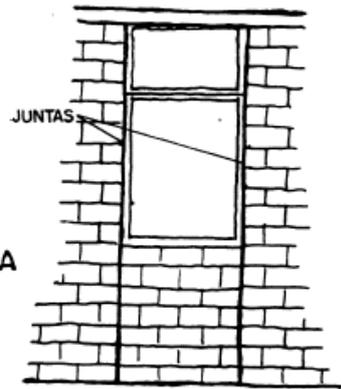


A) EXEMPLOS DE JUNTA DE TRABALHO EM PAREDES EXTERNAS.

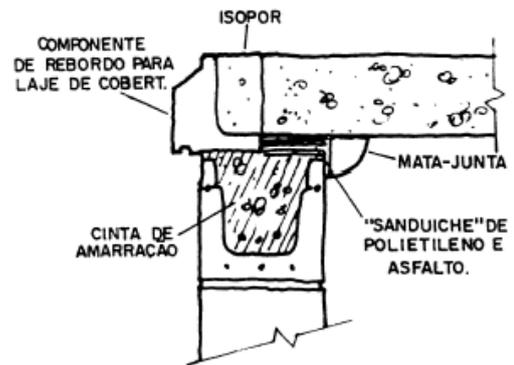


B) JUNTA DE TRABALHO EM PAREDES DE CANTO.

C) JUNTA DE TRABALHO EM ESQUADRIA



D) EXEMPLO DE JUNTA DE DILATAÇÃO



E) EXEMPLO DE JUNTA DE MOVIMENTAÇÃO DA LAJE DE COBERTURA.

Figura 5.6 Juntas de Movimentação

5.2.3.3 TÉCNICAS DIVERSAS

a) Embutimento de instalações elétricas:

- É essencial, em termos de racionalização construtiva, que as instalações elétricas embutidas não exijam o rasgamento (corte) das paredes, com conseqüente desperdício de tempo, mão de obra e materiais. O Processo EPUSP-TEBAS recomenda uma técnica que se caracteriza pela quase que total não-interferênciado trabalho do eletricitista com o do pedreiro (como é comum nos métodos racionalizados usuais). Esquemáticamente, a técnica resume-se em: 1) Distribuição horizontal pelas lajes; 2) Distribuição vertical pelos dutos internos (contínuos de laje a laje). O eletricitista encarrega-se de lançar os eletrodutos concomitantemente com a distribuição horizontal nas lajes. A continuidade é obtida com aquebra do furo de passagem, no jota e no compensador, pelo próprio eletricitista, sem a necessidade de intervenção do pedreiro. A única interferência possível entre os ofícios dá-se no caso de ser moldada uma cinta de amarração (o pedreiro deverá embutir no concreto um tubo na posição prevista); 3) A colocação das caixas de interruptores e tomadas é feita em qualquer época pelo próprio eletricitista, cortando o bloco na posição determinada, com serra-copo diamantada ou disco abrasivo.

b) Montagens diversas:

Componentes de rampa. Podem ser montados com equipamento simples, especialmente desenvolvido, que se desloca sobre os componentes já instalados. O assentamento é feito com argamassa como se fosse um bloco complementar.

Componente de escada tipo jacaré. Montado com parafuso e bucha (sem necessidade de enchimento dos vazados) e argamassa adesiva.

Marco de porta envolvente. Colocado com a terceira fiada pronta. Fornece o prumo da parede e o gabarito para a espessura do revestimento. Tem ancoragem perfeita (integra-se totalmente à parede).

Esquadrias. Fixadas com parafuso e bucha plástica no próprio bloco, sem necessidade de enchimento do vazado. No caso de janelas, a fixação pode ser feita nos marcos pré-moldados

5.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta foi concebida tendo por objetivo adequar-se tanto ao desenvolvimento de um método construtivo simples quanto ao de um complexíssimo sistema construtivo. A melhor demonstração de sua aplicabilidade ocorreria indubitavelmente com a criação de um sistema construtivo de elevado grau de industrialização. Pois, acreditamos que uma situação como esta exigiria seguramente o

seguimento integral e minucioso (até o nível das sub-etapas) da estratégia e colocaria totalmente à prova a doutrina. O que, possivelmente, não viria a acontecer no caso de desenvolvimentos simples, de menor abrangência, com exigências mais limitadas.

No entanto, a criação de um sistema construtivo impõe, para a consecução da pesquisa, uma estrutura organizacional complexa; a participação de um grande e diverso elenco de pesquisadores e consultores (ver 3.2.2.3); um considerável volume de recursos e uma ágil dinâmica operacional. Como todos estes fatores eram incompatíveis com a realidade existente no âmbito da sub-área, quando decidimos criar e implementar uma metodologia de pesquisa, optamos por simplesmente aperfeiçoar um processo construtivo. Além disto, planejamos que a estratégia metodológica deveria evoluir concomitantemente com a pesquisa de desenvolvimento, o que não seria viável se o objeto fosse a criação de um sistema construtivo, pois esta iria exigir, para o sucesso do empreendimento, uma eficiente e pré-definida estrutura organizacional.

Deste modo, a aplicação da metodologia voltou-se para o desenvolvimento de um novo processo construtivo a partir do aperfeiçoamento de tecnologias já usuais no mercado, ao invés de direcionar-se para a criação de um novo sistema, como seria desejável. Esta particularidade restringiu a amplitude da pesquisa tornando mais singelos os objetivos, limitando os condicionantes, abreviando o caminho a percorrer (por simplificação das etapas), refreando o caráter inovatório. Enfim, não permitiu o total aproveitamento da estratégia proposta.

Um outro aspecto que deve ser considerado na análise da metodologia é que a demonstração da sua adequabilidade seria em muito facilitada se a pesquisa de desenvolvimento já tivesse atingido a etapa final da estratégia - a construção em escala de mercado (etapa 12). Entretanto, a pesquisa ainda não se completou, estando sendo conduzidas, no momento (fevereiro de 19 89), as etapas de consolidação da tecnologia (etapa 8) e de divulgação (etapa 9) e sendo iniciada a etapa de construção em escala piloto (etapa 10). Problemas conjunturais de mercado e os relacionados com a estrutura organizacional da empresa conveniada com a EPUSP, atrasaram o cronograma de desenvolvimento e impediram que a conclusão deste trabalho coincidissem com a disseminação do Processo EPUSP-TEBAS no mercado.

5.3.1 DOUTRINA

A formulação da doutrina metodológica foi o princípio de todo o processo de criação da metodologia, sendo que suas diretrizes normativas é que balizaram e conduziram a concepção da estratégia. Sempre consideramos que a doutrina detém o principal papel quando do emprego da metodologia. A própria conceituação desta, definindo-a como um conjunto de preceitos orientativos para o direcionamento e a condução de uma pesquisa (ver 2.4) enfatiza e apoia este nosso julgamento. De fato, a metodologia se distingue de um método por ter uma doutrina, por deixar explícito os princípios que justificam os procedimentos do método, por fundamentar e instrumentar a tomada de decisões e em uma atividade de geração de inovações isto tudo nos parece mais importante que uma sequência de procedimentos, por mais completa que esta seja.

Assim, aplicar a metodologia significa, em grande parte, adotar e seguir de forma coerente os

princípios doutrinários pré-es-tabelecidos. E no caso da pesquisa de desenvolvimento do processo EPUSP-TEBAS destaca-se justamente a efetividade desta adoção.

A real assunção do princípio axiomático da máxima racionalização construtiva, que na doutrina é o fundamento das diretrizes balizadoras, pode ser verificada pela descrição das características do processo (item 5.2.1) e do detalhamento das fases de concepção e avaliação (itens 5.3.2 e 5.3.3). A busca da otimização dos recursos disponíveis alavancou todas as fases do processo e refletiu-se nas decisões assumidas ao longo dos trabalhos.

A adoção das diretrizes balizadoras - construtibilidade e desempenho, foi de importância vital para a consecução da pesquisa. Em primeiro lugar porque, em conjunto, estas duas diretrizes serviram como um excelente referencial para a manutenção continuada de uma visão global, durante todas as etapas e por todos os pesquisadores. Visão esta, que possibilitou a obtenção de um processo com partes perfeitamente integradas no todo, com inter-relações bem definidas e com uma proposta de organização da produção coerente com a máxima racionalização construtiva.

Em segundo lugar, as diretrizes foram essenciais para a condução da pesquisa, por consequência da efetiva orientação que proporcionaram. Todos os participantes imbuíram-se dos preceitos básicos e utilizaram os conceitos para o balizamento de suas ações. Com base nas diretrizes estruturou-se a formulação dos objetivos, dos critérios, dos condicionantes, do problema enfim. Elas alicerçaram todas as decisões, pontuais e globais, exercendo uma decisiva influência no capital processo decisório. Estimularam o refinamento das soluções, através da indução dos ciclos iterativos e estabeleceram o momento do encerramento destes, definindo a suficiência da solução obtida.

A construtibilidade foi a ferramenta que permitiu a seleção das técnicas e dos detalhes construtivos mais convenientes. O mérito desta diretriz pode ser reconhecido pela abrangência e intensidade do seu emprego na pesquisa, ilustrado pelos exemplos seguintes. A solução escolhida para um dado problema, dentre as de desempenho funcional satisfatório, era a resposta da questão: Qual a que apresenta a maior construtibilidade? O nível de praticidade das soluções era avaliado sempre à luz do conceito de construtibilidade e com a óptica da visão do conjunto introduzida por este conceito. A criação dos componentes e das diversas técnicas foi balizada pela preocupação em obter a máxima construtibilidade. As deficiências nas operações construtivas, observadas durante a construção dos protótipos, foram as que provocaram as maiores alterações nos projetos originais e, a detecção dos problemas e a eficácia das soluções substitutivas podem ser creditados ao fato de o processo de desenvolvimento estar sendo conduzido pela diretriz da construtibilidade. Enfim, consideramos que a necessidade do emprego desta diretriz no desenvolvimento de MPSCConst. justificou-se totalmente nesta particular aplicação da metodologia e os resultados serviram para confirmar nossa convicção inicial da sua importância para a atividade de criação de inovações tecnológicas neste campo.

O desempenho como diretriz também foi responsável pela ponderação das decisões ao longo de todo o processo. A sua orientação principiou a ser efetivada já na primeira etapa da pesquisa, na definição dos objetivos, no equacionamento do problema e na concepção de suas soluções. Foi possível estabelecer com coerência, nesta etapa, os parâmetros adequados para uma definição do padrão de qualidade esperado. Com a evolução do processo, o conceito de desempenho permeou por todas as etapas fornecendo

condicionantes objetivos para avaliar-se a potencialidade de cada uma das possíveis soluções em termos de desempenho funcional, de modo a direcionar objetivamente a seleção dos materiais, dos componentes e elementos, das técnicas e detalhes construtivos. Os participantes da pesquisa de desenvolvimento utilizaram o desempenho como uma ferramenta indispensável para a tomada de decisões conseguindo, através dela, definir com um mínimo de subjetividade a posição, dentro de uma escala de níveis de qualidade, de todas as soluções para os problemas analisados. Na realidade, o emprego do desempenho como diretriz permitiu mais do que avaliações corretas porque, graças a ele, foi possível ampliar o elenco de opções, desmistificando preconceitos arraigados, e possibilitando trazer para a análise soluções até então não imaginadas. Isto influenciou decisivamente na condução da pesquisa pois, o fato de esta estar voltada para o aperfeiçoamento de processos construtivos requer uma postura perscrutante, exploratória, inovadora, postura esta que deve ser assumida com toda a segurança que o domínio do conhecimento técnico suscita. E neste quadro inseriu-se satisfatoriamente a diretriz de desempenho propiciando ao mesmo tempo a segurança e a percepção para buscar novas soluções para problemas mal resolvidos e estimulando o processo a direcionar-se para horizontes não trilhados.

5.3.2 FASE DE CONCEPÇÃO

A estratégia proposta foi o cordão condutor da pesquisa. O seu plano geral, serviu como um marco de referência fundamental para a definição, a todo instante, de onde estávamos, quais os próximos passos que deveriam ser executados e principalmente, onde queríamos chegar.

O planejamento da pesquisa refletiu exatamente o modelo operacional recomendado pela estratégia metodológica. O direcionamento e a execução dos trabalhos obedeceram a estrutura hierárquica das fases e etapas, exposta no Capítulo 4. Deste modo, iremos descrever como se processou o desenvolvimento segundo a sequência principal da estratégia e sub-dividi-lo de acordo com as fases nas quais esta se ordena: concepção, verificação, descrição e comercialização.

A primeira fase, de concepção, assume em uma pesquisa dirigida para a criação de novos MPSCConst., uma complexidade muito grande: as etapas que ela contém são extensas; a quantidade de fatores condicionantes é bastante ampla; as linhas de realimentação são em grande número; os ciclos iterativos são compostos de muitos laços até a estabilização; a interação entre sub-etapas são intrincadas, etc.

Entretanto, quando o objeto da pesquisa é o aperfeiçoamento de um MPSCConst. já existente, a fase de concepção é geralmente menos complexa e menos extensa. Em princípio porque os condicionantes são em menor número, os problemas são melhor definidos e muitos já estão equacionados e, o refinamento das soluções é mais simples, devido à experiência prévia com o MPSCConst. que está sendo aperfeiçoado, tornando os ciclos iterativos mais breves.

O desenvolvimento do processo EPUSP-TEBAS, que se enquadra na situação anterior, apresentou efetivamente uma fase de concepção inicial limitada. No cronograma da pesquisa, a fase de verificação começou após transcorridos três meses do início do projeto (em um total de trinta e seis, sem contar as três primeiras sub-etapas dos estudos iniciais - ver 5.2.3.1). No entanto, retornou-se constantemente às etapas 3 e 4 da fase de concepção para o refinamento das soluções primitivas, em função dos dois principais ciclos

iterativos: da produção experimental de componentes e elementos e o da concepção-verificação (ver 4.2.2.1.3).

5.3.2.1 ESTUDOS INICIAIS

A etapa de estudos iniciais pode ser dividida em dois estágios bastante distintos: antes e depois da ratificação do Convênio EPUSP-TEBAS. Antes, medraram as sub-etapas de identificação da necessidade; problematização e análise da viabilidade do desenvolvimento do processo construtivo. Após a validação do convênio os trabalhos iniciaram-se com a formulação técnica do problema. A seguir descrevemos sucintamente as sete sub-etapas da etapa de estudos iniciais.

A) IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE

O reconhecimento da necessidade não foi o resultado de uma intuição súbita, surgida de uma reflexão isolada e momentânea ou de uma solicitação formal de um organismo do mercado. Mas sim, a consequência de um processo lento, de reflexões encadeadas e queacompanharam naturalmente a evolução profissional do autor no trato com MPSCConst. inovadores. A ideia, até a sua maturação, evoluiu por cerca de sete anos e teve por principais indutores os trabalhos de análise e diagnóstico dos problemas patológicos dos PCAE existentes e de pesquisa para a dissertação de mestrado [Sabbatini, 1984], levados a efeito naquele período.

A ideia pode ser sintetizada em - Desenvolver localmente, segundo uma metodologia pré-definida, um novo processo construtivo de alvenaria estrutural, adequado às características regionais (de São Paulo) em termos de mão de obra; condições ambientais e recursos materiais disponíveis e apropriado para a construção de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos.

A necessidade, identificada em 1985, em São Paulo, que conduziu ao equacionamento da ideia, pode ser estruturada em - A industrialização da construção de edifícios é uma sólida exigência da sociedade brasileira; a industrialização passa necessariamente, em países com as características do Brasil, por processos construtivos racionalizados; o mercado não dispõe de processos racionalizados para a construção de edifícios habitacionais que, tendo sido desenvolvido para as nossas condições, apresentem, por isto, grau adequado (às características locais) de racionalização e nível apropriado de desempenho; o mercado exige processos, nos quais a ocorrência de problemas patológicos apresentem um nível muito inferior aos dos PCAE em uso; a sociedade não tem experiência no desenvolvimento de MPSCConst. e por consequência não dispõe de recursos humanos e instrumental adequados e não sabe como estimular, avaliar e solidificar este desenvolvimento. Por não ter pleno senso desta problemática, não sabe como induzir o processo que conduza à soluções e precisa ser conscientizada.

A identificação desta complexa necessidade situou-se, portanto, em duas instâncias. A primeira, no desenvolvimento local de um PCAE com características melhoradas em relação aos existentes e a segunda, na criação de uma sistemática de pesquisa de MPSCConst. que estimulasse a conscientização da sociedade para a necessidade de desenvolvimento no campo. O processo EPUSP-TEBAS foi criado para ser uma

resposta à primeira instância da necessidade e é o objeto central da problematização. A metodologia é uma proposta que se encaixa na segunda instância e deve ser encarada como uma pequena contribuição para aquela conscientização.

B) PROBLEMATIZAÇÃO

O problema, em essência, é o descrito anteriormente como a ideia. Entretanto, para ser submetido a uma análise de viabilidade ele precisava ser melhor definido. O primeiro passo foi o de definir de modo mais preciso os objetivos. Estabeleceu-se, então, que o novo processo deveria:

- a) Aumentar substancialmente o grau de racionalização construtiva (medido através da redução dos desperdícios);
melhorar sensivelmente o desempenho estrutural e das vedações;
diminuir drasticamente a probabilidade de ocorrência de problemas patológicos e apresentar um custo, se possível, inferior ou, no mínimo, equivalente.

O referencial empregado foi o conjunto dos PCAE existentes e, em particular, o PCAE de blocos vazados de concreto (parcialmente armada), o de uso mais difundido no mercado paulista.

Foi também determinado nesta etapa que o critério primordial a balizar o desenvolvimento deveria ser - aumentar a qualidade e o desempenho. E que o condicionante principal seria - custo predeterminado .

Foram também identificados os mais destacados limitantes do novo processo:

- a) Não exigência de uma mudança muito drástica na estrutura organizacional das empresas construtoras que o iriam utilizar, para não dificultar a sua implantação no mercado;
- b) necessidade da existência de parque produtor já implantado com capacidade para produzir os componentes básicos;
- c) adequar-se a um baixo custo de desenvolvimento, apropriado a um mercado pouco disposto a investir em uma atividade de risco desconhecido;
- d) possuir grande potencial de aceitação pelos usuários diretos (meio-técnico, órgãos financiadores de habitações, construtoras, etc), baseado em uma tecnologia que diferencie-se o suficiente para criar facilmente uma imagem de novo-processo (para não incorporar os desgastes da imagem dos PCAE existentes entre estes usuários) mas que não seja tão diferente a ponto de criar uma imagem revolucionária (para não inibir os usuários pouco afeitos a se tornarem "cobaia de experimentos acadêmicos") ou seja, ter adequada confiabilidade inicial;
- e) possuir grande potencial de aceitação pelo usuário final, respeitando alguns conceitos que, mesmo sem base técnica, estão enraizados na opinião pública e são, por isto, de difícil aceitação;
- f) incorporar apenas inovações que se adequem às características da mão de obra local, sem implicar (pelo menos em um estágio inicial de implantação) em alterações substanciais nas técnicas construtivas, ou seja, ter a necessária adaptabilidade às condições locais de mão de

- obra;
- g) não ser estanque a ponto de não permitir um aperfeiçoamento continuado, auto-estimulado e auto-induzido, altamente desejável para processos racionalizados, que apresentam congenitamente um baixo grau de industrialização, ou seja, ter flexibilidade construtiva e
 - h) incorporar um grande potencial e utilização em outras tipologias de edificações (flexibilidade de uso) para não depender comercialmente de um único segmento de mercado. Além destes limitantes foi ressaltado também que o processo teria de ser desenvolvido de uma forma global, para representar uma inovação tecnológica válida e para justificar a necessidade de uma pesquisa metodológica bem definida.

Muitas outras restrições secundárias foram ainda identificadas nesta etapa, não tendo sido, porém, consideradas. Isto porque relacionavam-se mais com a formulação técnica do problema, estágio este que é posterior à análise de viabilidade prévia e à escolha do parceiro de desenvolvimento, o qual iria naturalmente introduzir, pelas suas características ligadas aos fatores de produção e de mercado, limitações mais restritivas que as imaginadas.

C) ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA-FINANCEIRA DO DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO CONSTRUTIVO

A estruturação do problema com o nível de detalhamento exposto permitiu analisar-se a sua viabilidade técnico-econômica, formular um plano de pesquisa e propô-lo a quem caberia a análise financeira - o futuro parceiro em um convênio.

Da análise da exequibilidade técnica surgiu a definição do material constituinte do componente de alvenaria. Esta definição era essencial nesta etapa, devido ao fato de que o caminho a seguir dela dependeria, pois implicava na escolha do futuro parceiro da pesquisa.

Em uma primeira volta de uma espiral de análise com níveis crescentes de refinamento, decidimos por um PCAE não armada (em detrimento de um PCAE de alvenaria parcialmente armada ou armada), por dois motivos principais: a) é o que apresenta o maior potencial de racionalização construtiva devido a sua maior simplicidade e maior produtividade na inversão de todos os recursos (materiais, mão de obra, tempo, etc.) e b) porque, na região, não necessitam ser considerados no dimensionamento os esforços que obrigariam a opção pelos outros PCAE na construção de edifícios com a tipologia pré-estabelecida (habitacionais de até 5 pavimentos) terremotos e ventos de grande intensidade (velocidades superiores a 50 m/s).

Na segunda volta da análise técnico-econômica, optamos por um PCAE de blocos cerâmicos por este se apresentar como o processo de maior potencial para atender de forma otimizada os objetivos iniciais. Evidentemente, nas circunstâncias daquele momento e em atenção aos limitantes impostos.

As principais razões que fundamentaram esta opção foram: a) as paredes resistentes de blocos cerâmicos apresentavam-se como as que possuíam o mais baixo potencial de deformação intrínseca (esta era a principal causa das fissuras nos PCAE existentes) e por consequência a menor probabilidade de fissuras entre os PCAE não armados e a mais alta probabilidade de atender ao terceiro objetivo; b) a

alvenaria estrutural cerâmica era a que mostrava aparentemente o maior potencial de aceitação pelo usuário final (devido a: aspectos culturais; tradição; preconceitos contra o bloco de concreto, etc.) e pela mão de obra (tradição construtiva e domínio da técnica); c) o desenvolvimento dos PCAE não armados de blocos cerâmicos apresentava-se como o de menor custo provável pois representaria um aperfeiçoamento de processos já existentes (um PCAE de blocos de concreto não armado era inédito no país), além do que, face ao baixo nível de racionalização construtiva dos PCAE cerâmicos no mercado seria mais factível atingir-se o primeiro e o quarto objetivos anteriormente relacionados; d) existia um parque industrial com capacidade produtora e patente disposição de investir (frente a uma indisposição histórica dos fabricantes de blocos de concreto e de blocos de silicatos de cálcio) e e) bom potencial de aceitação pelos usuários diretos, face à clara possibilidade de obter-se uma tecnologia com a imagem pré-concebida.

Como esta foi uma etapa que se iniciou antes da decisão de implantar-se um pesquisa de desenvolvimento de MPSConst., ou seja antes da estruturação completa da estratégia, vieram a influenciar também na escolha do PCAE outros condicionantes relativos ao ambiente de pesquisa pré-existente no Laboratório de Construção Civil (que voltava-se para o estudo das alvenarias cerâmicas) e às convicções pessoais dos pesquisadores sobre a oportunidade e a importância de contribuir para um aproveitamento adequado da cerâmica vermelha no país (material extremamente mal aproveitado entre nós).

De qualquer forma, a sub-etapa de análise prévia da exequibilidade técnico-econômica, voltada primordialmente para a seleção de ideias e na qual trabalha-se com estimativas aproximadas e condicionantes pouco definidos, permite avaliações sumárias e decisões fundadas na experiência prévia e em convicções de caráter intuitivo. Caso os pressupostos não sejam corretos, eles deverão ser detectados na sequência da estratégia metodológica (sub-etapas 1D à 1G), reavaliados e corrigidos.

A conclusão pela viabilidade técnico-econômica do desenvolvimento de um PCAE de blocos cerâmicos foi relativamente simples pois a partir do momento que se optou por um aperfeiçoamento de processos reconhecidamente deficientes, com elevado desperdício de recursos, mal organizados, mal definidos e mal planejados e ainda assim viáveis economicamente no mercado consumidor de São Paulo, ficou evidente que, mesmo com ações restritas (que não era, entretanto, o objetivo), teríamos possibilidade de fazê-los evoluírem significativamente e de traduzir esta evolução em ganhos de qualidade, desempenho e custo.

Este estágio coincidiu com o amadurecimento da decisão de criar-se a sub-área de tecnologia de processos construtivos (ver 5.1.1) e resultou na procura de um parceiro para financiar conjuntamente o desenvolvimento do processo construtivo e da metodologia de pesquisa e a infra-estrutura de pesquisa da sub-área. Um plano de pesquisa foi elaborado, o qual incorporou às conclusões da análise prévia de viabilidade, com uma proposta do valor dos investimentos necessários e dos cronogramas de execução e desembolso. A análise de viabilidade financeira foi feita pela Tebas Cerâmica que concluiu positivamente. Com a ratificação do convênio a pesquisa consolidou-se e o desenvolvimento evoluiu em paralelo com a estratégia proposta.

D) FORMULAÇÃO TÉCNICA DO PROBLEMA

Até este estágio trabalhou-se com ideias. Com o início formal da pesquisa passou-se a lidar com o problema. A estratégia preconizada estabelece uma sequência de procedimentos, deste ponto até o início da concepção, bastante complexa e alerta para a fundamental importância em dedicar-se o tempo e a atenção devidas a esta etapa de modo que seja possível obter-se um conjunto das melhores soluções para um problema muito bem definido.

Entretanto, a metodologia foi criada de modo a adequar-se tanto para o aperfeiçoamento de métodos quanto para a criação de sistemas construtivos totalmente novos. Esta abrangência obriga a que as recomendações estejam sempre dirigidas para o degrau mais elevado de um desenvolvimento de MPSCnst. - a criação de um novo sistema. Para os outros admite-se geralmente um caminhar mais breve e simples.

É o que acontece com a presente aplicação, voltada para o aperfeiçoamento de um processo. Neste nível a amplitude do problema é relativamente mais restrita, o que reduz a abrangência das sub-etapas de concepção, análise e formulação de soluções, que podem por sua vez confundirem-se em alguns aspectos com a própria concepção do processo.

Assim ocorreu neste caso, pois a formulação técnica do problema restringiu o elenco de soluções a uma única. Esta, por sua vez, admitia diversas sub-soluções, as quais só poderiam ser analisadas nas etapas 2, 3 e 4 da fase de concepção, em virtude de diferenciarem-se ou pela geometria dos componentes ou pelas técnicas de assentamento ou por algum outro aspecto bastante específico.

Os objetivos iniciais foram, em essência, mantidos. A principal alteração surgiu ao serem estabelecidos os fatores que os limitavam, por referência explícita aos PCAE existentes: 1) O custo da solução deveria ser avaliado por metro quadrado de parede de alvenaria, para efeito comparativo com os dos demais processos pois, o custo global do edifício (que se apresenta como o mais correto por abranger todas as ações racionalizadas), não é praticado pelo usuário direto. Nesta situação o custo deveria ser, no mínimo, equivalente, para que pudesse atender ao condicionante escolhido - o custo pré-determinado;

O custo inferior da solução não poderia ser obtido através da diminuição da margem de lucro (por tonagem de massa cerâmica produzida) do fabricante do bloco. Isto impunha que o preço de venda do bloco estava limitado inferiormente pela relação em massa com o do PCAE cerâmico "portante" (já fabricado pela Tebas). Era desejável que a margem de lucro fosse aumentada, para justificar mais facilmente o investimento em pesquisa;

A probabilidade de ocorrência de problemas patológicos, teoricamente menor em relação aos PCAE de blocos de concreto e de blocos sílico calcário, além de ser confirmada em relação a estes, deveria ser garantida também em relação aos PCAE cerâmica "portante" através da criação de detalhes construtivos específicos e de alterações na concepção estrutural;

O desempenho estrutural superior deveria ser garantido pelo estrito cumprimento das exigências internacionais, o que não ocorre com outros processos. Especificamente as da norma britânica [BSI, 1978] e as do CIB [CIB, 1980]);

O desempenho superior das vedações, devido à ausência de especificações regionais precisas, deveria ser garantido por comparação. Isto implicava em que o desempenho global das paredes de alvenaria do novo processo fosse superior ao dos demais PCAE existentes;

O aperfeiçoamento da qualidade dos edifícios deveria ser garantido por aperfeiçoamentos na produção dos componentes, pela adoção de métodos de controle de qualidade adequados (na fábrica e no canteiro) e por técnicas construtivas particularizadas e voltadas para esta finalidade;

7) O incremento no grau de racionalização deveria ficar bastante evidente através de valores paramétricos comparáveis e facilmente demonstráveis. Por exemplo, pelo aumento da produtividade dos recursos aplicados (maior produtividade da mão de obra, diminuição no volume de materiais por metro quadrado de alvenaria, etc). Ou seja, ao processo não bastaria incorporar detalhes, técnicas e controles, que por si só aumentassem o grau de racionalização. Isto deveria ser provado com números e argumentos insofismáveis. Em resumo, os fatores limitantes dos objetivos foram elaborados de modo a facilitar a introdução do novo processo no mercado, não só pela incorporação de qualidades superiores, mas também por possibilitar que estas se tornassem facilmente demonstráveis por evidências muito relevantes, e utilizando-se de argumentos que o mercado "entende" e "compra".

As especificações de desempenho não foram quantitativamente estabelecidas, com exceção da de desempenho estrutural. Esta, que teve por base as especificações da norma britânica [BSI, 1978], impôs como limite inferior para a resistência característica da alvenaria à compressão (f_{mk}) o valor de 2,0 N/mm².

As principais fontes de condicionantes foram as que se relacionavam com os objetivos de incrementar a construtibilidade e melhorar o desempenho de um PCAE cerâmico e as dependentes dos fatores de produção e de mercado.

E) CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA O PROBLEMA

A concepção das possíveis soluções para o problema ficou sensivelmente bloqueada pelos limitantes impostos. Para um PCAE existem, em princípio, incontáveis soluções resultantes de combinações dos seguintes fatores: tipo da alvenaria; tipo do componente (material constituinte, bloco ou tijolo); tipo do material de junta (argamassa, "cola", por encaixe, etc); forma do componente (dimensões, geometria, se é vazado ou maciço, etc). A espessura das paredes resistentes é um fator dependente da forma do componente.

Ao impor-se o tipo de alvenaria (não armada), o tipo do componente (bloco cerâmico) e o tipo do material de junta (argamassa) sobrou como única variável a forma do componente. A necessidade de garantir que o processo tivesse um desempenho superior (como vedação) ao dos PCAE existentes impôs como espessura mínima da parede resistente externa a mesma das dos PCAE de blocos de concreto 14 cm. E ainda, a limitante da margem de lucro inalterável impôs que o bloco fosse de uma geometria tal que a parede tivesse a mesma densidade superficial das do PCAE cerâmica "portante".

Deste conjunto de restrições resultaram duas possíveis soluções. Um PCAE não armada cujo componente básico era um bloco cerâmico com largura de 14 cm. Ou um outro, com um bloco de menor densidade aparente (para ter mesma densidade superficial) e maior largura. Este bloco para obedecer às regras de coordenação modular em vigor deveria ter no mínimo 19 cm de largura. Estas soluções são as que foram submetidas à etapa analítica seguinte.

F. ANÁLISE DE EXEQUIBILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICO-FINANCEIRA DAS SOLUÇÕES

A segunda solução, com paredes resistentes de 19 cm, iria apresentar seguramente um desempenho superior como vedação. No entanto, face a sua menor densidade aparente, iria conter um volume de vazios excessivos (cerca de 70%). A análise de viabilidade técnica, utilizando como condicionantes de análise os provenientes dos fatores de produção e da tecnologia internacional sobre os PCAE, levaram ao descarte desta solução. Também empregou-se na análise fatores condicionantes advindos do mercado, tais como o conceito arraigado que considera uma deseconomia a utilização de um bloco de maior largura em substituição a um outro de largura inferior pela perda de área útil que isto representa,

A solução restante, ao ser submetida a todas as análises, foi aprovada. Nesta etapa foram introduzidos novos limitantes, após a confrontação com um amplo espectro de condicionantes:

o bloco deveria ter dimensões nominais 15 x 15 x 30 cm (pelas razões descritas mais adiante);

o bloco deveria admitir a opção pela alvenaria aparente, sob determinadas condições ambientais, na face externa das paredes exteriores (criaria uma condição de exclusividade, altamente desejável) e

o processo deveria admitir o embutimento total e racionalizado das instalações elétricas nos vazios dos blocos.

A imposição das dimensões do bloco resultou da consideração conjunta das seguintes condições limitantes (elas só admitem como solução o bloco de 15 x 15 x 30 cm):

O bloco deveria ter modularidade total (ver 5.2.1.3.2), preponderantemente para racionalizar o projeto de edifícios e a construção dos mesmos (de modo a manter a amarração de meio bloco nos cantos sem o emprego de blocos complementares);

O bloco, como condição mercadológica fundamental, deveria ter "personalidade própria" obtível, principalmente, por dimensões distintas dos demais blocos existentes no mercado. Entretanto, deveria ter a relação altura/comprimento idêntica à da tradição construtiva local (1/2) e

c) as dimensões deveriam ser compatíveis com o módulo decimétrico (admitindo-se o meio módulo) normalizado no Brasil.

Além disto, seria muito desejável que as dimensões modulares fossem as mais coerentes com as das esquadrias e dos componentes de revestimentos cerâmicos comercializados em São Paulo. E o bloco com as dimensões 15 x 15 x 30 cm possui esta coerência.

G) FORMULAÇÃO DO CONJUNTO DAS SOLUÇÕES EXEQUIVEIS

A solução foi descrita [Sabbatini et alii, 1986-1988] com o nível de detalhamento possível nesta etapa. Na realidade, este estágio confundiu-se com a etapa de concepção pois, foram descritas várias sub-soluções, diferenciadas por empregarem blocos com um padrão de perfuração diferente. O que relaciona-se mais com o projeto de componentes (etapa 3).

5.3.2.2 CONCEPÇÃO DO PROCESSO EPUSP-TEBAS

A estratégia preconiza um estágio inicial de seleção das soluções para a etapa de concepção. Como neste caso existia uma única solução, a etapa iniciou-se com a estruturação global do processo construtivo. Foram identificados os componentes essenciais, e os complementares e os procedimentos operacionais básicos (assentamento dos blocos com bisnaga, emprego de escantilhões, técnica de acoplamento entre paredes, etc.) Para o aperfeiçoamento do conjunto de técnicas construtivas foram feitos estudos visando simplificar as operações usuais na alvenaria de modo a eliminar todo o trabalho desnecessário e criar procedimentos inovadores que possibilitassem um incremento na produtividade operacional. Foi também definido que o processo admitiria qualquer tipo de laje.

Desta etapa resultou um projeto preliminar [Sabbatini et alii, 1986-1988] do processo denominado a partir deste momento de Processo EPUSP-TEBAS, que já tinha razoavelmente bem definidos: a sua identidade (ver 5.2.1.1); o projeto de modulação global para edifícios que empregassem o processo; as dimensões dos componentes principais (com propostas prévias dos padrões de perfuração para o componente básico); um esboço do método construtivo e as diretrizes básicas para o projeto estrutural (com as especificações para as resistências de projeto das paredes, as características das lajes, a tipologia das ligações laje-parede, parede-parede, parede-fundações, etc). Além de um estudo aprofundado sobre as características físico-mecânicas de diversas misturas argilosas que tinham potencial de utilização como matéria prima, realizado em caráter preliminar na Escola de Cerâmica do Senai, para um melhor conhecimento e definição dos condicionantes relativos aos fatores de produção.

5.3.2.3 PROJETOS DOS COMPONENTES, DA PRODUÇÃO DE COMPONENTES E DA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS

As etapas 3 e 4 da estratégia proposta foram desenvolvidas em paralelo. O maior volume de trabalho concentrou-se nos projetos do componente básico e de sua produção. Apesar de o bloco já ter as suas dimensões definidas, a determinação do seu padrão de perfuração, à nível apenas teórico, mostrou-se ser um problema complexo e intrincado. Um projeto deste tipo pode conduzir, muitas vezes, a insucessos práticos, decorrentes do fato de que a tecnologia de produção empregada na planta industrial exerce uma marcante influência e pode tornar inviável um padrão de perfuração que na prancheta apresentava-se como ideal. Além disto, o insucesso pode ocorrer na fase de verificação em função de não se conseguir atingir as resistências mecânicas adequadas, nos ensaios de paredes, empregando um bloco com um dado padrão de perfuração que, em tese mostrava-se apropriado.

Deste modo, após percorrerem-se as sub-etapas 3A a 3F da etapa 3, em sucessivos ciclos iterativos para refinamento das soluções, projetou-se três padrões de perfuração associados a quatro diferentes tipos de misturas argilosas, destinados a serem produzidos na planta industrial e submetidos a todas as avaliações pertinentes (na etapa 5).

Como exemplo da complexidade da etapa de projeto dos componentes, descrevem-se a seguir as condições limitantes estabelecidas para a definição dos blocos com padrões de perfuração potencialmente

adequados [Sabbatini et alii, 1986-1988].

O bloco deveria apresentar tal volume de vazios de maneira que sua massa máxima estivesse em torno de 6 kg (critério ergonómico) ;

na face de assentamento, as perfurações deveriam ter dimensões tais que impedissem a penetração de argamassa nos furos (critério de racionalização construtiva);

as regiões da face de assentamento sobre as quais seria colocada a argamassa deveriam ter dimensões tais que: possibilitassem a racionalização da operação de assentamento (permitissem, talvez, até mesmo uma mecanização parcial); favorecessem a estanqueidade da parede pela adoção de uma junta de argamassa com uma descontinuidade transversal; não reduzissem a resistência à compressão da parede, que está relacionada com a área efetiva da seção da junta de argamassa, a patamares inadequados (critérios de racionalização construtiva e de desempenho) ;

as paredes externas do bloco deveriam ter espessuras limitadas inferiormente a valores tais de modo a minimizar a quebra e o lascamento por choques no manuseio;

O posicionamento das perfurações deveria ser estabelecido de maneira a manter o mais inalterado possível o processo de fabricação empregado na planta industrial, sem que fosse obrigatoriamente necessário alterar-se, por exemplo, o tempo de secagem, o tempo e a temperatura de queima, a pressão de extrusão, etc. ;

as perfurações deveriam permitir o embutimento vertical de eletrodutos, canalizações de água e tubulações secundárias de esgoto (critério de racionalização construtiva) e

a disposição e o formato das perfurações deveriam ser tais que minimizassem o desgaste da boquilha e não influíssem significativamente no custo de produção desta (devido a uma complexidade excessiva).

Os três padrões de perfuração projetados estão ilustrados na Figura 5.7. Os projetos e os planejamentos da produção dos blocos e da avaliação experimental dos componentes e de paredinhas de alvenaria (sub-etapa 3H) foram também elaborados nesta etapa.

O projeto de produção de edifícios (etapa 4) evoluiu pouco em relação ao já estabelecido no primeiro projeto preliminar, em decorrência do grau de indefinição do componente essencial. No entanto, evoluiu-se no projeto da técnica básica e projetaram-se as técnicas de embutimento das tubulações elétricas e hidráulicas, face à necessidade para o projeto das perfurações.

5.3.3 FASE DE VERIFICAÇÃO

A fase de verificação prolongou-se por um período muito maior do que estava inicialmente planejado. Problemas surgidos na planta industrial, na alteração das jazidas de matéria prima e na redução do fluxo de investimento, ampliaram muito além do previsto o desenvolvimento da etapa 5 - Produção Experimental de Componentes.

Outros problemas, além dos citados, contribuíram também para um prolongamento excessivo da etapa 6 - Projeto e Construção de Edifícios Protótipos. Assim, um cronograma inicial de 24 meses foi prorrogado para 36 meses e não se completou totalmente.

Nesta situação, repleta de condições adversas, a importância do emprego da estratégia metodológica no direcionamento da pesquisa destacou-se. Ele permitiu manter o desenvolvimento dentro de uma linha pré-fixada, sem desvios e totalmente coerente com o planejado, apesar de a pesquisa atravessar situações que poderiam naturalmente ter causado dispersões de esforços, perdas de conteúdo, queima de etapas, simplificações dos objetivos, etc.

Os ciclos iterativos de retro-alimentação tiveram destacada influência na evolução coerente do processo de aperfeiçoamento sucessivo, permitindo a manutenção da visão do conjunto em uma situação na qual, pelo lento ritmo evolutivo, poder-se-ia facilmente derivar para abordagens restritas, parciais, anti-sistêmicas.

De qualquer forma, a dilatação dos prazos permitiu que as sub-etapas de avaliação da fase de verificação fossem ampliadas e reforçadas, possibilitando um acúmulo de dados e experiências extremamente positivos para a pesquisa e para a sub-área de tecnologia de processos construtivos da EPUSP.

5.3.3.1 PRODUÇÃO EXPERIMENTAL DOS COMPONENTES E ELEMENTOS

A etapa 5, de produção experimental dos blocos e paredes, foi a que mais se adequou à estratégia genérica proposta, cumprindo todas as sub-etapas e todas as sequências de realimentação. Podemos identificar cinco laços no ciclo iterativo da produção experimental (ver 4.2.2.1.3 e Figura 4.11) que promoveram a produção de doze diferentes tipos do bloco-básico.

Inicialmente foram selecionados, no estágio de produção exploratória (sub-etapas 5A a 5C), quatro tipos com o bloco modelo-1 (Figura 5.7), variando a composição da mistura básica. Outros tipos foram descartados na sub-etapa 5B devido a problemas com a produtividade dos mesmos. Os quatro tipos foram produzidos (1000 peças de cada tipo), na sub-etapa 5D e após a avaliação e seleção (sub-etapas 5F e 5G) foi escolhido um tipo para produção em escala. No entanto, a utilização de uma nova jazida de matéria prima e o abandono daquela que forneceu as argilas para a produção inicial, obrigou a um re-projeto de produção dos blocos (primeiro laço).

Na segunda rodada de produção (na sub-etapa 5D) foi fabricado um novo tipo com o modelo-1. A avaliação do desempenho das paredes construídas com este bloco concluiu pela sua inadequabilidade (resistência à compressão inferior ao limite pré-fixado). Modificou-se então o modelo-1 pela alteração do seu padrão de perfuração, dando como resultado o modelo-3 e re-projetou-se a produção do modelo-2 em dois novos tipos (segundo laço).

Após a produção dos três tipos em uma nova rodada, seguida da etapa de avaliação, concluiu-se também pela inadequabilidade de todos eles. Isto provocou um novo retorno à etapa 3 (terceiro laço) para re-projeto do modelo-3, alterando-se novamente o padrão de perfuração (modelo-4), e reprojeto da produção do modelo-2. Seguiram-se novas rodadas de produção e de avaliação, na qual concluiu-se pela adequabilidade de ambos os modelos. Foi então escolhido o bloco modelo-4, em detrimento do modelo-2, em função de seu melhor desempenho.

No entanto, mudanças na fabricação dos blocos (temperatura de queima e tempo de secagem) obrigaram ao re-projeto da produção do modelo-4 (quarto laço) para só então encerrar-se a etapa 5 (duração

de 8 meses) com a produção de 20.000 blocos para a construção do edifício protótipo na EPUSP.

A produção em escala para o edifício protótipo em Jundiaí, feita 14 meses após a produção para a torre hidráulica, obrigou, por problemas de produtividade, a um novo re-projeto (quinto laço) do modelo-4, modificando-se mais uma vez o padrão de perfuração e criando-se o modelo-5.

A definição do modelo-4 e a sua produção em escala criaram a consistência necessária para a conclusão da concepção do Processo EPUSP-TEBAS, com um retorno às etapas 2, 3, e 4 através do fluxo de realimentação do ciclo iterativo da fase de concepção. Durante os cinco últimos meses do projeto EP/TC-1 foi feita a consolidação do projeto preliminar, com a especificação final de todos os componentes essenciais e complementares e com a definição total dos procedimentos operacionais, da estrutura organizacional para a produção de edifícios com o processo, das recomendações para projeto, etc.

Entretanto, a etapa 5 não se encerrou com a definição do modelo-4. Ela permaneceu ativa, através das sub-etapas 5E e 5F, por toda a pesquisa de desenvolvimento até setembro de 1988, sendo que algumas atividades estavam pré-programadas e outras foram introduzidas, aproveitando-se do prolongamento dos prazos e a consequente disponibilidade de tempo para novas atividades. Neste período foram implantados os programas de:

Caracterização continuada dos componentes produzidos (cerca de 2.000 ensaios);
avaliação do desempenho estrutural dos elementos paredes (36 paredes), de paredinhas (aproximadamente 300 corpos de prova) e de prismas;

avaliação do desempenho da parede como vedação, no qual foram projetados e executados os ensaios de desempenho acústico e de resistência ao fogo de paredes, no IPT;

caracterização continuada na planta industrial, que se constituiu em um projeto piloto para o estabelecimento de um programa de controle de qualidade de produção e

"Pesquisas de Objetivos Limitados", para o desenvolvimento de aspectos específicos relacionados com o Processo Construtivo. Incluem-se neste último programa as seguintes pesquisas:

- e.1) avaliação do risco potencial de eflorescência;
- e.2) aderência de revestimentos;
- e.3) rigidez e monolitismo do acoplamento de paredes, com o emprego de tela expandida; e.4) método para dosagem de argamassas de assentamento; e.5) resistência à tração de telas metálicas e sintéticas e e.6) comportamento estrutural em modelos em escala 1:5.

5.3.3.2 PROJETO E CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

A construção do primeiro edifício protótipo, a torre hidráulica era para ter início em janeiro de 1987 e o segundo, o edifício habitacional em Jundiaí, em abril de 1987. Entretanto, estas construções iniciaram-se em julho de 1988 e em novembro de 1987 respectivamente, por problemas extrínsecos ao contexto da pesquisa e que independeram dos limitantes previstos no planejamento da mesma.

A etapa 6, porém, iniciou-se dentro do cronograma original, concomitantemente com a

consolidação do projeto preliminar. A torre hidráulica foi integralmente projetada (sub-etapas 6A e 6B) no Laboratório de Construção Civil da EPUSP, no âmbito da pesquisa. O edifício de Jundiaí teve a maioria dos seus projetos construtivos e o estrutural executados na EPUSP e os demais pela Tebas. Estas sub-etapas de projeto permitiram, através do ciclo iterativo verificação-concepção da estratégia (Figura 4.12), o desenvolvimento de inúmeros detalhes e técnicas construtivas e diversos componentes especiais que foram incorporados à concepção geral do Processo EPUSP-TEBAS.

Os protótipos foram construídos em uma cadência coerente com o seu caráter experimental (o de Jundiaí em 10 meses e o de São Paulo em 8 meses). A decisão de construir a torre hidráulica, que foge da tipologia de edifícios mais adequada para o emprego do Processo EPUSP-TEBAS, justificou-se inicialmente pela oportunidade que oferecia de experimentação em escala real, no "Campus" da USP e, por consequência a possibilidade de aceleração e de enriquecimento da pesquisa. Entretanto, o atraso verificado no seu início invalidou em parte os objetivos esperados, de maneira que o mais importante canteiro experimental acabou sendo o de Jundiaí.

O projeto e a construção dos protótipos adquiriu, como era previsto, uma importância fundamental para a pesquisa de desenvolvimento. Com a estruturação das atividades de avaliação (na etapa 7) e a implementação do ciclo iterativo concepção-verificação (Figura 4.12) foi possível aperfeiçoar sistemática e continuamente o processo construtivo, por realimentação constante com dados precisos e pertinentes. Por outro lado, a interação continuada laboratório-canteiro permitiu o desenvolvimento em paralelo de soluções apropriadas e sistêmicas para problemas surgidos durante a construção. De modo a aprimorar efetivamente a atividade pela correção imediata, tanto das deficiências existentes no processo e não detectadas em outras etapas, como as circunstanciais e específicas aquelas obras.

5.3.3.3 AVALIAÇÃO DOS PROTÓTIPOS E DO PROCESSO CONSTRUTIVO

Esta é uma etapa da estratégia que, além de contribuir decisivamente para a evolução do MPSCConst., para o aumento do seu grau de confiabilidade e para o aprimoramento da sua construtibilidade, concentra enorme potencial para solidificar uma estrutura de pesquisa nesta área e formar recursos humanos. Isto pela rara ocasião de exercitamento profundo da capacidade de análise e da dinâmica decisional e de aprimoramento da visão holística de problemas complexos.

No desenvolvimento do Processo EPUSP-TEBAS esta etapa teve grande abrangência. Iniciou-se com os esboços do primeiro edifício protótipo (torre-hidráulica em agosto de 1986) e prolongou-se até o término do mesmo (fevereiro de 89). As modificações, as alterações e a criação de novas soluções, feitas após o projeto preliminar consolidado, foram adequadamente guiadas pela ação balizadora da etapa e caminharam segundo os fluxos da sequência prevista no ciclo iterativo concepção-verificação (no qual a etapa é a concentradora dos dados e a geradora das decisões.)

Na sub-etapa 7B - Construção de Protótipos, foi criado um programa de controle de qualidade de produção de alvenaria baseado em avaliações no canteiro e em ensaios laboratoriais de corpos de prova de alvenaria moldados no local pelos operários da obra. Em ambas as etapas 7A e 7B foram executadas inúmeras atividades pelos diferentes pesquisadores, estruturadas em uma sequência metódica planejada

(baseada nas sequências de decisão, ver 4.2.1.2): apreensão de dados (por meio de observações, ensaios, medições e controles sistemáticos, etc); reconhecimento do problema, discernimento e análise, decisão e retro-alimentação de uma etapa anterior (para alterar um procedimento, apresentar uma solução, incrementar a tecnologia, eliminar soluções ineficientes, etc). Para exemplificar, relacionamos a seguir alguns dos resultados destas atividades no protótipo de Jundiaí: alterações de detalhes arquitetônicos (esquadrias, vãos, alvenaria aparente, formas arquitetônicas, etc); alterações nas técnicas construtivas (juntas verticais, frisamento, prumo, assentamento de componentes especiais, embutimento de canalizações, acoplamento de paredes, moldagem das lajes, colocação de esquadrias, conformação dos vãos, confecção de "shafts", etc); criação de componentes especiais (peitoris, componentes de rampa, peças de proteção, etc); criação de equipamentos ("Fábrica de Pré-Moldados", equipamento de transporte de componentes de rampa, gabaritos de vãos, etc); alterações nos projetos de instalações; criação do programa de controle de qualidade; criação de índices de produtividade; alterações na concepção estrutural (juntas de trabalho), etc.

Na sub-etapa de avaliação do desempenho do protótipo foram realizados ensaios e observações diversos. Os ensaios experimentais, em número restrito, refletiram a limitação de recursos da pesquisa. Mesmo assim resultaram em dois inéditos métodos de avaliação de desempenho: o de estanqueidade "in loco" e o de determinação das tensões de trabalho no edifício [Sabbatini et alii, 1986-1988]. A avaliação do desempenho por observações sistemáticas foi bastante praticada. Cita-se como exemplo: o controle da evolução e de eliminação das eflorescências; o controle do aparecimento de fissuras e o controle do nível de infiltração geral. Um outro método de avaliação de desempenho inicialmente planejado que não pode ainda ser implementado é o da "avaliação da eficácia da ventilação do ático por efeito chaminé em "shafts".

Na sub-etapa de análise crítica (7D) todo o processo foi revisado e procurou-se detectar as deficiências ainda existentes e promover uma otimização por compatibilização de procedimentos operacionais. Por exemplo, foi nesta etapa detectado a ineficiência de dois componentes complementares (substituídos pelo bloco "L") e identificada a necessidade de aperfeiçoamento das técnicas de aprumamento das paredes e de nivelamento da primeira fiada, e do programa de controle de qualidade da produção.

O re-projeto (sub-etapa 7E) substituiu o projeto preliminar consolidado e serviu de base para a elaboração da versão preliminar do pacote para projeto e construção, na etapa 8.

5.3.4 FASES DE DESCRIÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO

Estas são as fases incompletas do desenvolvimento do Processo EPUSP-TEBAS. Principalmente em função dos atrasos citados em 5.3.3, não foi possível compatibilizar a conclusão deste trabalho com, pelo menos, o término da etapa 10. O convênio EPUSP-TEBAS em vigor e com atividades programadas devesse permitir a completção das etapas 8, 9 e 10 e possibilitar a manutenção da etapa 11 interagindo com a construção em escala de mercado (etapa 12).

A etapa 8 - Consolidação da Tecnologia, em andamento (sub-etapa 8A) apresenta como resultado parcial uma primeira versão do pacote para projeto e construção redigida em caráter provisório para orientar a implementação da obra piloto (construída também pela Tebas Construtora Ltda.) e para servir de

fundamento para a confecção, pela Tebas Cerâmica, de catálogos técnicos simplificados. As sub-etapas de planejamento (8B e 8C) deverão ser completadas neste semestre (primeiro de 1989) .

A etapa 9 - Divulgação, vem sendo conduzida de forma assistemática desde outubro de 1987. Nesta data foi feita a apresentação ao meio técnico da pesquisa de desenvolvimento e do Processo EPUSP-TEBAS no 6Q Simpósio de Tecnologia da Construção Civil - O Uso da Alvenaria como Estrutura, realizado na Escola Politécnica [EPUSP, 1987] . Daquela data até o presente foram apresentados trabalhos em congressos [Franco & Sabbatini, 1988] , [Aly & Franco, 1988] , [Sabbatini, Franco & Aly, 1988] e realizadas algumas palestras e cursos de extensão e pós-graduação nos quais o processo passou a ser divulgado ao meio acadêmico. Outras atividades neste campo estão planejadas para serem executadas na continuidade desta pesquisa de desenvolvimento tecnológico.

A etapa 10 iniciou-se em dezembro de 1988 com a construção da obra piloto - Condomínio Parque das Flores, em Jundiaí, SP, com duração prevista de 18 meses. Esta obra, que será acompanhada pela equipe de pesquisadores do Laboratório de Construção Civil da EPUSP, será avaliada em conformidade com os procedimentos utilizados na avaliação do protótipo de Jundiaí e os resultados obtidos serão incorporados na etapa 11 - Aperfeiçoamento da Tecnologia.

CAPITULO 6

CONCLUSÕES

As empresas construtoras de edifícios estão hoje em uma posição crítica e em um impasse, de difícil solução. Elas são indústrias terminais, montadoras de materiais e componentes fornecidos pelo setor de indústrias de materiais de construção. São indústrias de transformação que empregam meios de produção essencialmente artesanais, ineficientes e de baixa produtividade, e dependem de uma mão de obra especializada que, progressivamente, torna-se mais rara, mais cara, de pior qualificação e de menor produtividade. São geralmente indústrias classificadas como pequenas ou médias, de caráter não-capital-intensivo que têm, por isto, baixa capacidade de investimentos. Concorrem em um mercado difícil, viciado, conservador e cada vez mais exigente (na medida em que os consumidores estão aprendendo a exigir e conquistar seus direitos) .

Ou seja, as empresas construtoras estão subordinadas a uma estrutura caótica e desorganizada com origem, entre outros fatores, no emprego de processos construtivos inadequados, nas imposições dos produtores de materiais de construção e nas características da mão de obra empregada e submetidas às pressões dos consumidores e sob o manto do descrédito da opinião pública (que não acredita que elas queiram mudar efetivamente esta situação).

A procura de soluções desemboca sempre no reconhecimento de que outros meios de produção precisam ser empregados, em substituição aos métodos e processos tradicionais. Isto significa que novos métodos, processos e sistemas construtivos precisam ser criados. Devido ao complexo quadro descrito, estes novos MPSCConst. têm, ainda, que se adequar a uma situação de transição, que permita o ajuste progressivo de todos os componentes do sistema, de modo que este possa se estruturar coerentemente.

Mas, como criar novos MPSCConst., se os construtores não dispõem de capital para investir? E, no caso de os fabricantes de materiais de construção criarem novos MPSCConst. como fazer para que estes se adequem às características do setor, se os construtores não dispõem de força para organizar a produção daqueles fabricantes? E, como impor um novo MPSCConst. aos consumidores, se os construtores estão hoje sob um clima de desconfiança, são tratados com suspeição e acusados de não assumirem devidamente suas responsabilidades para com o mercado?

Acreditamos que o problema possa ser equacionado a partir do desenvolvimento de MPSCConst. por organismos que não se situem nem entre os construtores, nem entre os fabricantes de materiais de construção. Evidentemente, a solução para uma situação tão complexa não será obtida apenas com a introdução de MPSCConst. assim desenvolvidos que, além de ter um poder limitado para mudá-la, abrange apenas o aspecto técnico da questão. No entanto, seria uma forma de contornar as restrições traduzidas naquelas indagações e poderia deste modo criar as condições para que o processo caminhasse na direção de soluções satisfatórias.

A ideia é desenvolver MPSCConst. em organismos de perfil cooperativo (ver 3.1.2) e fornecê-los prontos à indústria de construção de edifícios. Organismos que, com competência, criem os meios de produção apropriados e, com idoneidade, possibilitem a sua implantação de forma adequada no mercado.

Organismos que, estruturados como "fábricas de tecnologia", saibam empregar com propriedade uma metodologia adequada para a produção de tecnologia, que disponham de pessoal técnico capacitado, que dominem os conhecimentos técnico-científicos necessários, que tenham disposição e postura ética para considerar todos os condicionantes que interferem e limitam o projeto de soluções.

Com certeza, as soluções não serão encontradas em situações intempestivas, que se repetem de tempos em tempos, como as que ocorreram recentemente em experiências como a do projeto modelar da COHAB-SP [Construção SP, 1986], nas quais os construtores, ainda praticando uma construção artesanal, sem recursos de qualquer espécie, sob pressão de organismos governamentais (que se utilizam do poder que têm de "criar mercado" como instrumento de pressão), são obrigados a "descobrir" intuitiva e empiricamente, do dia para a noite, soluções "inovadoras" e improvisadas para problemas mal equacionados. Sem que tenham competência para isto.

A existência de uma estrutura organizacional apropriada é fundamental para o equacionamento do problema e criação de soluções factíveis. Estrutura que deve contar com instituições capacitadas, que possam propor e efetuar desenvolvimentos tecnológicos oportunos e coerentes com a realidade da sociedade como, por exemplo, os organismos cooperados anteriormente citados. Em um contexto como este é que se insere a metodologia proposta.

Acreditamos ser essencial no trato de problemas complexos, como o é o desenvolvimento de MPSCConst., a utilização de uma metodologia específica. Uma metodologia que considere todos os aspectos da questão, por destinar-se a uma finalidade perfeitamente definida; que oriente efetivamente a condução dos trabalhos, por possuir uma estratégia voltada para um problema bem determinado; que induza corretamente a tomada de decisões, por incorporar uma doutrina consentânea com o objeto tratado; que conduza à melhor solução, por estar direcionada por objetivos peculiares ao problema. Enfim, que se amolde precisamente ao seu objeto, por ter sido desenvolvida exatamente para isto.

Entendemos que uma metodologia de pesquisa direcionada para o desenvolvimento de MPSCConst. deve ter uma estrutura adequada para lograr a obtenção de efetivas inovações tecnológicas e não de ideias mágicas, invenções e "descobertas miraculosas", que não se consubstanciam como produtos reais e de utilidade para o grupo social local. Para isto é essencial que a metodologia tenha etapas que forcem a consideração de todos os condicionantes, premissas, critérios que têm importância para o particular contexto em que o MPSCConst. deverá ser implantado. É fundamental que estejam previstos mecanismos que promovam um desenvolvimento progressivo através de ciclos iterativos de realimentação, de modo a conduzir a soluções intrinsecamente evoluídas e que, portanto, desestimulem a aceitação do lampejo criador como solução definitiva. Uma metodologia neste campo deve prever obrigatoriamente a execução de protótipos e etapas de avaliação que impeçam a comercialização apressada de ideias e a utilização do usuário como cobaia de experimentos, muitas vezes inconsequentes e, seguramente, com defeitos não resolvidos. É também essencial que a metodologia incorpore a sua estrutura etapas de construção em escala piloto e em escala de mercado e preveja o aproveitamento das informações originárias destas etapas no aperfeiçoamento do MPSCConst. objeto do desenvolvimento. Deve ficar claro na metodologia de pesquisa que uma inovação tecnológica neste campo só efetivar-se-á com a sua implantação com sucesso no mercado. E, por conseguinte, o desenvolvimento tem de acompanhar, avaliar e interagir com esta

implantação, como condição básica para garantir que a inovação atenda aos condicionantes pré-estabelecidos e para promover o seu natural aperfeiçoamento. Uma metodologia nesta área deve ainda adotar mecanismos, explicitados na sua estratégia, que prevejam a consolidação da tecnologia desenvolvida, e a sua conseqüente incorporação ao "estado da arte" local sobre MPSCConst., bem como de todo o processo de desenvolvimento, para que a experiência adquirida seja também incorporada ao "know how" .

A escolha de uma metodologia não é um problema simples. De acordo com Thiollent [1983] , além da especificidade do problema abordado, "...entram em jogo os interesses de quem pretende conhecer ou agir, as características intelectuais e políticas dos pesquisadores e das instituições a que pertencem. Interfere o quadro institucional no qual a pesquisa é realizada e financiada. O quadro institucional e os interesses determinam as condições de acesso aos enfoques e aos dados relevantes e interferem na própria relevância que lhes é atribuída no decurso da interpretação."

O emprego de uma metodologia hermética, obscura, pouco explícita, permite que facilmente os interesses particulares sobrepujem os interesses coletivos. A metodologia a ser empregada deve ser transparente, principalmente, quanto a sua doutrina. Deve ter todos os seus passos explicitados, para não dar margem à manipulação de dados e a desvios nos enfoques pré-estabelecidos. Deve ter claramente colocados seus objetivos, suas premissas, sua ideologia, para que interesses individuais não conduzam a resultados que não lhe dizem respeito.

Ou seja, a formulação de uma metodologia destinada a orientar o desenvolvimento de novos meios de produção de edifícios e a maneira como ela deve ser empregada, assumem uma responsabilidade que transcende a sua própria competência para atingir seus objetivos. Isto porque, ela precisa também representar um instrumento apropriado para contribuir na mudança da situação caótica descrita e para desacreditar o conceito negativo que impera, de que a indústria de construção civil não quer mudanças numa situação que lhe é favorável. O que só vem a enfatizar a necessidade de metodologias de cunho essencialmente técnico-científico, com clareza de princípios e estruturada de modo a impedir manipulações perniciosas que conduzam a soluções que não interessam ao conjunto da sociedade.

A tese que nos propuzemos defender com este trabalho é justamente a de que o desenvolvimento de novos MPSCConst. deve ser conduzido tendo a orientá-lo uma metodologia de pesquisa específica e adequada a este fim, para que o resultado represente uma evolução tecnológica válida para a sociedade. No capítulo introdutório (ver 1.1) estabelecemos a seqüência de raciocínio que desenvolveríamos para a comprovação desta tese.

Acreditamos que as concepções essenciais, no que concerne à demonstração das premissas ali colocadas foram discutidas e analisadas durante o decorrer do texto.

Assim é que procuramos, nos capítulos 2 e 3, definir e delimitar o amplo cenário que serve de pano de fundo para o desenvolvimento de MPSCConst. e discutir os conceitos que se relacionam com este desenvolvimento e com o emprego de uma particular metodologia de pesquisa. Esta foi apresentada no capítulo 4. Procuramos fundamentar a doutrina que a caracteriza em princípios que justifiquem a responsabilidade que estamos querendo lhe atribuir, como instrumento de mudanças na construção de edifícios. Nos alongamos na descrição da estratégia metodológica, para não deixar margem a dúvidas sobre

como conduzir o processo de desenvolvimento, segundo nossa concepção de como ele deve ser direcionado. A criação da metodologia foi feita em paralelo com o desenvolvimento de um inovador processo construtivo. A apresentação deste, no capítulo 5, teve por objetivos demonstrar a aplicabilidade da metodologia proposta e, pelos resultados obtidos, comprovar a sua importância para a obtenção de inovações tecnológicas que representem uma evolução válida, não apenas para o construtor e para o fabricante de materiais de construção, mas para toda a coletividade.

Acreditamos que os objetivos iniciais, enunciados em 1.1, foram plenamente atingidos.

Os diversos conceitos debatidos nos capítulos 2 e 3, foram colocados no texto com o intuito de atender ao primeiro objetivo, definir os condicionantes do Processo de Desenvolvimento Tecnológico na Construção Civil. Além de circunstanciar o cenário, no qual deve se dar o desenvolvimento de MPSCConst., procuramos, com a discussão destes conceitos, estabelecer uma referência inicial para outras pesquisas na área, abrir o debate sobre temas importantes relacionados com aquele Processo (a estruturação de um particular setor de desenvolvimento, a formação de recursos humanos para este setor, a atividade de pesquisa na Engenharia Civil, etc.) e subsidiar a definição de uma Linha de Pesquisa em Tecnologia de Processos Construtivos, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

O segundo e principal objetivo, a criação de uma metodologia de pesquisa para o desenvolvimento de MPSCConst. foi atendido. Acreditamos que a metodologia que propuzemos neste trabalho possui as condições necessárias para ser empregada com sucesso na criação de novos MPSCConst. e no aperfeiçoamento daqueles em uso. Essencialmente porque ela foi desenvolvida especificamente com esta finalidade, é transparente nos seus objetivos e clara na definição de suas premissas, possui uma estratégia totalmente explicitada e mostrou-se ser amplamente adequada quando posta à prova, no desenvolvimento do processo construtivo descrito. Ela incorpora todos aqueles aspectos anteriormente colocados como essenciais para estruturar uma metodologia neste campo: estudos iniciais que obriguem a consideração dos condicionantes que importam; sistemática centrada no emprego de ciclos iterativos que promovam uma evolução equilibrada e constante até a obtenção de soluções otimizadas; etapas de construção de protótipos e de avaliações que antecedam obrigatoriamente a comercialização do MPSCConst. e forcem o seu aperfeiçoamento antes de sua primeira utilização; etapas que incorporem ao processo de desenvolvimento as comercializações em escalas piloto e de mercado e de divulgação técnica, de modo que, por interação com o mercado, o MPSCConst. evolua e se firme como uma inovação tecnológica válida; mecanismos de consolidação da tecnologia de modo a não permitir que esta e todo o processo de desenvolvimento percarnem-se ou fiquem restritos a umas poucas pessoas.

A implementação da metodologia proposta por organismos do SDTS abre perspectivas claras para que o desenvolvimento de novos MPSCConst. seja coerente com a realidade brasileira pois, entendemos que ela impõe uma disciplina de trabalho objetiva e rigorosa, uma abordagem sistêmica e abrangente e adota uma linha direcionada para a obtenção de meios de produção mais racionais, que promovam um aproveitamento otimizado dos recursos existentes, que são escassos no País, e não devem ser desperdiçados.

O objetivo de desenvolver um novo processo construtivo de alvenaria estrutural foi também preenchido. Concluir pelo sucesso do processo EPUSP-TEBAS enquanto inovação tecnológica não nos parece coerente em vista do conceito de inovação que adotamos, pois o produto ainda não atingiu a

comercialização em escala de mercado. Porém, enquanto proposta podemos considerá-lo um inegável êxito face a comparação (apresentada no item 5.2) dos resultados obtidos com as características dos processos existentes no mercado.

Além de comprovarmos a aplicabilidade da metodologia proposta e de criarmos uma inovação com validade social procuramos demonstrar com o desenvolvimento de um novo processo construtivo que a pesquisa de caráter cooperativo entre um núcleo acadêmico e empresas privadas é uma forma racional, eficaz e legítima de atuação da Universidade. Tanto para a assunção de seu papel de indutora do desenvolvimento tecnológico do País, como para a aferição constante do seu trabalho com a realidade e as necessidades da sociedade que a mantém.

Acreditamos que a imagem que muitos setores da sociedade têm da Universidade, de que ela esteja voltada apenas para os seus específicos interesses e por isto se fecha intra-muros, em uma redoma de cristal, desvinculando-se da atividade produtiva do país, deve ser desfeita não com discursos, mas com fatos. E a realização continuada de profícuos trabalhos em cooperação com outros setores da sociedade é um fato indiscutível que, ao invés de macular a pureza dos ideais da Universidade, só vem a comprovar a sua importância social e o seu papel na liderança do processo de desenvolvimento do País.

O trabalho desenvolvido tinha como objetivo complementar o de definir o campo de atuação e a abrangência de uma linha de pesquisa na pós-graduação da Engenharia Civil em Tecnologia de Processos Construtivos. Ficou-nos claro, após estes anos de trabalho, que nesta específica área é fundamental que a pesquisa acadêmica e a formação de recursos humanos no quarto grau estejam inseridas no sistema produtivo nacional. Em primeiro lugar porque a área se propõe a estudar e a fazer evoluir os meios de produção e portanto o canteiro de obras deve ser um dos cenários de pesquisa. Em segundo porque o país é absolutamente carente de recursos humanos que possam conduzir um processo desenvolvimentista neste campo e esta realidade nos obriga a formar estes recursos em tempo reduzido e portanto devemos queimar etapas, envolvendo o aluno já durante o seu processo de formação com os problemas reais da área. E também porque acreditamos que a Universidade deve estar ativamente presente na solução dos problemas da sociedade da qual ela faz parte.

A pesquisa cooperativa descortinou o caminho, em termos de inserir a linha de pesquisa no sistema produtivo e indicou o rumo, abrindo um amplo espaço de trabalho, no que se refere ao desenvolvimento de novos processos e sistemas construtivos. Em 1988 e neste início de 1989 outras empresas do setor de construção de edifícios procuraram a Universidade com este intuito e pudemos efetivar três outros convênios voltados essencialmente para a criação de novos processos construtivos. Por outro lado, a procura de alunos de pós-graduação e de alunos de graduação interessados em bolsas de iniciação científica multiplicou-se, em decorrência das novas proposições estabelecidas para a atuação na linha.

A linha de pesquisa tende, portanto, a consolidar uma postura fundamentada em trabalhos cooperados com o sistema produtivo. Não são devido aos êxitos obtidos mas, principalmente, devido a oportunidade criada de os pós-graduandos atuarem em pesquisas acadêmicas voltadas para o desenvolvimento tecnológico do País e ao significativo enriquecimento do ensino induzido por aquela postura. Hoje os projetos de pesquisa em andamento, do mesmo modo que o do convênio EPUSP-TEBAS, encaixam-se perfeitamente dentro da estrutura de ensino da pós-graduação. Cremos que esta situação

permite à Universidade utilizar-se da pesquisa como meio de formação de recursos humanos altamente capacitados para a sociedade (além de estar contribuindo na resolução dos problemas desta mesma sociedade) .

Acreditamos enfim, que é possível concluir pela ampla viabilidade de emprego da metodologia. Esta certeza nos é dada pelo êxito da pesquisa que nela se fundamentou (o qual transparece nos resultados apresentados) e no interesse demonstrado pelos meios de produção do País (que dela tomaram

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, H. S. Um Estudo do Vínculo Tecnológico Entre: Pesquisa, Engenharia, Fabricação e Consumo. São Paulo, EPUSP, 1981. Tese de Doutorado.
- ALY, V. L. C. & FRANCO, L. S. Estudo de Componentes e Elementos de Alvenaria Estrutural em Escala Reduzida. Ciência e Cultura, São Paulo, 40 (7):52, 1988. Suplemento.
- ARCHER, L.B. An Overview of the Structure of the Design Process. In: Emerging Methods in Environmental Design and Planning. Cambridge, MIT Press, 1970. p.285-307
- ARCTANDER, P. Future Development of Building Research. In: The Impact of Research on the Built Environment. Budapest, CIB, 1974. v.2, p.392-395. Anais do 6Q Congresso do CIB.
- ASIMOW, M.. Introduction to Design - Fundamentals of Engineering Design. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1962.
- BARROS, A. J. P. & LEHFELD, N. A. S. Fundamentos de Metodologia. São Paulo, McGraw-Hill, 1986.
- BEAKLEY, G. & CHILTON, E. G. Design Serving the Needs of Man. New York, MacMillan, 1974.
- BII - BUILDING INFORMATION INSTITUTION. PLS-80 - An Open Modular Column-Slab Component Building System. Helsinki, BII, 1972.
- BNH - BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO. Sistema de Racionalização da Construção Habitacional. Rio de Janeiro, BNH, 1978.
- BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Estimation of Thermal and Moisture Movements and Stresses: Part 2. London, HMSO, 1979. Digest nQ 228.
- BSI - BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Code of Practice for Structural Use of Masonry - Part 1: Unreinforced Masonry. London, BSI, 1978. BS-5628 (Part 1).
- Code of Practice for Walling - Part 1: Brick and Block Masonry. London, BSI, 1973. CP-121 (Part 1).
- Glossary of Building and Civil Engineering Terms - Part 1 - General and Miscellaneous. London, BSI, 1984. BS-6100/1.0.
- BROADBENT, G. Design in Architecture. London, John Wiley & Sons, 1973.

- BRUNA, P.J.V. *Arquitetura Industrialização e Desenvolvimento*.
São Paulo, EDUSP/Perspectiva, 1976. Coleção Debates nQ 135.
- CIB - CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT. Discussion. In: *Building Research and Documentation*. Rotterdam, Elsevier, 1961.
Anais do 1Q Congresso do CIB.
The SfB System. Rotterdam, CIB, 1973. CIB Report nQ 22.
The Performance Concept and Its Terminology. Paris, Centre Scientifique et Technique du Batiment, 1975. CIB Report
Recommendations for Masonry Structures. Rotterdam, CIB, 1980. CIB Report no. 58.
Glossary of Terminology in Organization and Management of Construction. Rotterdam, CIB, 1985. CIB Report no 83.
- CONSTRUÇÃO SÃO PAULO, A. Chegou a Hora da Verdade da Política da Casa Popular. *A Construção São Paulo*. São Paulo, n.1572, p.8-39,1978.
A COHAB Industrializa. *A Construção São Paulo*. São Paulo, n.1992, p.12-17, 1986.
- CROSS, N. *Understanding Design: The Lessons of Design Methodology*. Design Methods and Theories. San Luis Obispo (EEUU), 20 (2):409-438, 1986.
- CSTC - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. *Guide des Performances du Batiment dans son Ensemble*. Bruxelles, CTSC, 1979.
- CUTLER, L.S & CUTLER, S.S. *Handbook of Housing System for Designers and Developers*. New York, Van Nostrand Reinhold, 1974.
- DAVISON, C.H. *Industrialized Construction - A Commentary*. In: *Industrialization in Concrete Building Construction*. Detroit, American Concrete Institute, 1975. p.1-6 Special Publication SP-48.
- DIETZ, G.A. & CUTLER, L. Introduction. In: *Industrialized Building Systems for Housing*. Cambridge, MIT Press, 1971. p.1-9.
- DIXON, J. *Design Engineering: Inventiveness Analysis and Decision Making*. New York, McGraw-Hill, 1966.
- EPUSP - ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SAO PAULO. *O Uso da Alvenaria como Estrutura*. São Paulo, EPUSP, 1987. Anais do VI Simpósio Nacional de Tecnologia da Construção (São Paulo), Outubro de 1987).
- FERREIRA, A.B.H. *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1975.

- FLEURY, A.C.C. A Questão da Tecnologia e a Organização da Engenharia na Empresa Industrial Brasileira. São Paulo, EPUSP, 1983. Tese de Livre Docência -Comportamento Tecnológico das Instituições Atuantes na Área de Tecnologia Industrial Básica. São Paulo, Faculdade de Economia e Administração - USP, 1987.
- FOSTER, J.S. Structure and Fabric - Part 1. London, B.T. Batsford, 1973.
- FRANCO, L. S. & SABBATINI, F. H. Estudo Experimental da Distribuição de Tensões em Edifícios de Alvenaria Estrutural. Ciência e Cultura. São Paulo, 40 (7):53, 1988. Suplemento.
- FREIRE, L. Dicionário da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro, A Noite, 1943. 5 volumes.
- GAMA, R. Engenho e Tecnologia. São Paulo, Duas Cidades, 1983.
- A Tecnologia e o Trabalho na História. São Paulo, FAUUSP, 1987. Tese de livre docência.
- GIBSON, J.E. Introduction to Engineering Design. New York, Holt, Rinehart & Winston, 1968.
- GRIFFITH, A. Buildability - The Effect of Design and Management on Construction. In: Advancing Building Technology. Gaithersburg (EEUU), CIB/NBS, 1986. v.8, p.3504-3512. Anais do 10Q Congresso do CIB.
- HATTIS, D.B. The Relationship of the Performance Concept to the Planning Process. In: Performance Concept in Buildings. Washington, National Bureau of Standards, 1972. v.1, p. 73-82. NBS Special Publication nQ 361.
- HED, S. R. Manual de Planificaton y Control de Proyetos. Genebra, Sven Hed, 1981.
- HEGENBERG, L. Etapas da Investigação Científica. São Paulo, EPU/EDUSP, 1976. v.2
- HERTZ, D.B. The Theory and Practice of Industrial Research. New York, McGraw Hill, 1950.
- HILL, C.T. Technological Innovation: Agent of Growth and Change. In: Technological Innovation for a Dynamic Economy. New York, Pergamon Press, 1983. Pergamon Policy Studies no. 50.
- HILL, P.H. The Science of Engineering Design. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1970.
- HOBBS, C. The Formulation and Management of Building Research. In: Construction Research International. Lancaster (GB), CIB, 1977. v.1, p.343-349. Anais do 7Q Congresso do CIB.
- INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Engenharia de Sistemas : Planejamento e Controle de Projeto. 2.ed. Petrópolis, Vozes, 1972.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos empregados em Canteiro Experimental da Cohab-São Paulo. São Paulo, IPT, 1984. Relatório Técnico nQ 19816. (não publicado). Formulação de Critérios para Avaliação de Desempenho de Habitações. São Paulo, IPT, 1981. Relatório Técnico nQ 16277. (não publicado).
- IF - INDUSTRIALIZATION FÓRUM. Developing the Hardware of a Building System. Industrialization Fórum. Cambridge, 1(3)123-28, 1970.
- Quality Assessment and Responsibility: A Glossary. International Fórum. Cambridge, 3(3):57-58, 1972.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Performance Standards in Building: Principies for their Preparation and Factor for Inclusion. London, ISO, 1981. Draft Proposal

ISO/DP-6241.

JONES, J.C. Design Methods. London, John Wiley & Sons, 1970.

KRICK, E.V. An Introduction to Engineering and Engineering Design. New York, John Wiley & Sons, 1965.

KRIUKOV, R.V. Principles of Development and Selection of Building Systems for Civil and Housing Construction. In: Construction Research International. Lancaster (GB), CIB, 1977. v.AN, p.137-150. Anais do 7Q Congresso do CIB.

LONGO, W.P. Tecnologia e Soberania Nacional. São Paulo, Nobel/Promocet, 1984.

LOWE, J.G. Alternative Approaches to the Definition of Productivity in the Construction Industry. In: Advancing Building Technology. Gaithersburg (EEUU), CIB/NBS, 1986. v.9, p.3943-3950. Anais do 10Q Congresso do CIB.

LUCINI, H.C. Desenvolvimento de Novos Sistemas Construtivos (Estudo de Caso). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1985. Dissertação de Mestrado. MAJZUB, I.E. Evaluation of Mass Housing Techniques, Optimization Proposals. In: Housing Problems in Developing Countries. New York, Wiley & Sons, 1978. v.2, p. 397-403.

MARKUS, T.A. et alii. Building Performance. London, Applied Science Publishers, 1972.

McLOUGHLIN, W.G. Fundamentals of Research Management. s.l. American Management Association, 1970.

MITIDIERI FILHO, C.V. & CAVALHEIRO, W. Desenvolvimento de Sistema Construtivo em "Painéis Cerâmicos". A Construção São Paulo. São Paulo, n.1973, p.17-20, 1985.

O'CONNOR, J.T. Impacts of Constructability Improvement. Journal of Construction Engineering and Management - ASCE. New York, 111(4):404-410, 1985.

O'CONNOR, J.T., RUSH, S.E & SCHULTZ, M.J. Constructability Concepts for Engineering and Procurement. Journal of Construction Engineering and Management - ASCE. New York, 113(2):235-248, 1987.

O'CONNOR, J.T. & TUCKER, R.L. Industrial Project Constructability Improvement. Journal of Construction Engineering and Management - ASCE. New York, 112(1) :69-82, 1986.

ORDONEZ, J.A.F. et alii. Pre-Fabrication - Teoria y Pratica. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1974. v.I.

ORLANDI, S.A.F. A Industrialização da Construção: Alguns Conceitos Voltados para o Edifício Atual. São Paulo, EPUSP/DECC, 1979. Apostila, (não publicado) . A Interação Projeto-Obra para a Construção do Edifício (Enfoque Sistêmico). São Paulo, EPUSP/DECC, 1986. Apostila.(não publicado).

- PARSONS, D.J. Performance: The New Language of Design. In: Performance Concept in Buildings. Washington, National Bureau of Standards, 1972. v.1, p.131-140. NBS Special Publication n° 361.
- PICARELLI, M. Habitação e Transferência de Tecnologia. In: Anais do Simpósio Latino-Americano sobre Racionalização da Construção e sua Aplicação às Habitações de Interesse Social. São Paulo, IPT, 1981. v.2, p.721-734. Habitação, Desenho Industrial e Tecnologia. São Paulo, FAU-USP, 1982. Tese de livre docência.
- RATTNER, H. Mecanismos de Incentivos à Inovação Tecnológica. Revista Politécnica. São Paulo, n.197, p.14-16, 1987.
- ROSENBLUETH, A.E. Tecnologia e Filosofia. In: Epistemologia, de Bunge M. (coord.). São Paulo, T.A. Queiroz/EDUSP, 1980.
- SABBATINI, F.H. O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Sílico-Calcária. São Paulo, EPUSP, 1984. Dissertação de Mestrado. Processos Construtivos de Alvenaria Estrutural - Técnicas e Materiais Adequados. In: Anais do IV Simpósio Nacional de Tecnologia da Construção, O Uso da Alvenaria como Estrutura. São Paulo, EPUSP, 1987.
- SABBATINI/ F,H et alii. Conjunto de 11 Relatórios Técnicos da Pesquisa - Desenvolvimento de Um Processo Construtivo de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos. São Paulo, EPUSP, 1986-1988. Não Publicado.
- SABBATINI, F. H., FRANCO, L. S. & ALY, V. L. C. Desenvolvimento de um Processo Construtivo de Edifícios em Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos - Fase 3 - Construção de Edifícios Protótipos, Ciência e Cultura. São Paulo, 40 (7):53. 1988. Suplemento.
- SARLI, A.C. La Racionalizacion dei Processo de Produccion y Circulation de la Vivienda. In: Aspectos Técnicos y de Produccion de Sistemas Constructivos. Caracas, Instituto Nacional de la Vivienda, s/d. v.1
- SCHMID, T. & TESTA,C. Systems Building. Zurich, Les Edition d'Ârchitecture, 1969.
- SEBESTYÉN, G. System in construction. In: Building Research World Wide. Oslo, CIB/Norwegian Building Research Institute, 1980 v.1b, p.773-776. Anais do 8Q Congresso do CIB.
- SEILER, R.E. Improving the Effectiveness of Research and Development. New York, McGraw Hill, 1966.
- SERRANO, J.S. Alojamiento y Tecnologia: Industrializacion Abierta? Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1980.
- SINGER, P. Tecnologia e Divisão do Trabalho. Revista Politécnica. São Paulo, n.197, p.18-36, 1987.
- SOUZA, R. A Avaliação de Desempenho Aplicada à Novos Componentes e Sistemas Construtivos para Habitação. In: Anais do Simpósio Latino-Americano sobre Racionalização da Construção e sua Aplicação às Habitações de Interesse Social. São Paulo, IPT, 1981. v.1, p.247-256.
- A Contribuição do Conceito de Desempenho para a Avaliação do Edifício e suas Partes. Aplicação às Janelas de Uso Habitacional. São Paulo, EPUSP, 1983. Dissertação de mestrado.
- SULLIVAN, B.J. Industrialization in the Building Industry. New York, Van Nostrand Reinhold, 1980.
- TARALLI, C.H. Mudança de Tecnologia na Habitação: Os Conjuntos Habitacionais da COHAB-

SP. São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, 1984.

TATUM, C.B. Process of Innovation in Construction Firm. *Journal of Construction Engineering and Management - ASCE*. New York, 112(2):178-191. 1986.

Improving Constructability During Conceptual Planning.

Journal of Construction Engineering and Management - ASCE. New York, 113(2):191-207, 1987.

TEIXEIRA, D. Pesquisa, Desenvolvimento Experimental e Inovação Industrial - Motivações da Empresa Privada e Incentivos do Setor Público. In: *Administração em Ciência e Tecnologia*, Marcovitch, J (coord.). São Paulo, Edgard Blucher, 1983.

TESTA, C. *The Industrialization of Building*. New York, Van Nostrand Reinhold, 1972.

THIOLLENT, M. Problemas de Metodologia. In: *Organização do Trabalho*, São Paulo, Atlas, 1983. p.54-83.

THOMAZ, E. Alvenaria para Pequenas Construções: Alguns Dados para Projeto e Execução. In: *Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini/IPT, 1988. p.215-224.

TRIGO, J. T. *Tecnologia da Construção de Habitação*. Lisboa, LNEC, 1978. Memoria nQ 507.

UTTERBACK, J.M. The Dynamics of Product and Process Innovation in Industry. In: *Technological Innovation for a Dynamic Economy*. New York, Pergamon Press, 1983. p.40-65. Pergamon Policy Studies nQ 50.

VARGAS, M. *Metodologia da Pesquisa Tecnológica*. Rio de Janeiro, Globo, 1985.

VILLET, J. The Relationship Between the Performance Concept and the Systems Concept. In: *Performance Concept in Buildings*. Washington, National Bureau of Standards, 1972.v.1, p. 207-212. NBS Special Publication nQ 361.

VILLORO, A.L. Que é, e qual a Aplicação do Método Científico? In: *Epistemologia*, de Bunge, M. (coord.) São Paulo, T.A. Quieroz/EDUSP, 1980.

WALKER, A. *Project Management in Construction*. London, Granada, 1984.

WALTERS, J.E. *Research Management: Principles and Practice*. Washington, Mac Millan, 1965.

WARSAWSKI, A. System Building - Education and Research. In: *Construction Research International*. Lancaster (GB), CIB, 1977. v.D, p.113-125. Anais do 7º Congresso do CIB.

WEBSTER. *Webster's New Twentieth Century Dictionary of the English Language (Unabridged)*. 2.ed. New York, Prentice Hall, 1983.

ZAGOTTIS, D.L. *Ciência, Método Científico, Técnica, Tecnologia e Engenharia: Conceituação*. São Paulo, EPUSP, 1987. Apostila.(não publicado).