

# **SISTEMA DE INTEGRAÇÃO DE PROJETOS DE EDIFÍCIOS: PARAMETRIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES COMPARTILHADAS**

**CORRÊA, Roberto M. (1); NAVEIRO, Ricardo M. (2)**

(1) Eng. Civil, Mestre em Engenharia, doutorando do Programa de Eng. de Produção - COPPE/UFRJ - Rua Barata Ribeiro, 655/1001, CEP: 22051-000, Rio de Janeiro - RJ. E-mail: [rmcorrae@pep.ufrj.br](mailto:rmcorrae@pep.ufrj.br). Internet: <http://www.momentus.com.br/users/siape>.

(2) Eng. Mecânico, Doutor em Arquitetura, professor do Programa de Eng. de Produção - COPPE/UFRJ - Caixa Postal: 68507, CEP: 21945-970, Rio de Janeiro - RJ. E-mail: [ricardo@pep.ufrj.br](mailto:ricardo@pep.ufrj.br). Internet: <http://www.itoi.ufrj.br/ricardo.htm>.

## **RESUMO:**

A parametrização das informações compartilhadas entre projetos visa criar elementos que irão compor um sistema à base de conhecimento informatizado que auxiliará o projetista a solucionar problemas de integração de projetos de edifício (arquitetura, estrutura e instalações). A criação deste sistema de auxílio torna-se vantajosa, neste caso, porque o fluxo de informações entre os projetos é muito dinâmico e complexo. Os parâmetros são a base de entrada e de saída de informações do sistema pelos quais este faz a análise, a avaliação e a síntese do problema e pelos quais o sistema se comunica com o usuário.

## **ABSTRACT:**

The parametric definition of projects' shared information aims the making of elements which can work as part of a knowledge based system that will help the designer in the solution of building projects' (architecture, structure, support systems) data exchange problems. This assistance system is convenient, in this particular case, because of the dynamic and complex projects' data exchange flow. The parameters are the basis of the system's information input and output, which makes the problem's synthesis, evaluation and analysis and intermediates the system-user communication.

## 1. INTRODUÇÃO:

Um dos maiores problemas na construção civil brasileira é o desperdício que, segundo o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade, pode chegar a 30%. Os estudos de Picchi (Picchi, 1993) indicam que as deficiências na etapa de projeto são as maiores responsáveis por patologias nas construções. Isto ocorre porque as soluções de projeto exercem maior influência no custo global da solução, e esta influência vai diminuindo no decorrer da projetação e da execução da obra.

Um projeto de um edifício é composto de outros projetos, tais como: arquitetura, estrutura e instalações. Cada um destes três projetos são constituídos por desenhos, planilha orçamentária, cronograma e especificação técnica de materiais e de procedimentos. Muitas dessas informações são compartilhadas por dois ou mais projetos. A integração dos projetos ocorre com a necessidade de se compartilhar essas informações comuns a dois ou mais projetos. É neste contexto de compartilhamento de informações que as tomadas de decisões dos projetos ficam muito vulneráveis a desacertos.

A integração dos projetos é feita através de reuniões entre as equipes. A reunião é um tipo de tarefa recorrente necessária para o desenvolvimento dos projetos. Mas, em alguns casos, a tarefa reunião passa a ser excessivamente empregada para resolver conflitos entre projetos como, por exemplo, incompatibilidade técnica no procedimento das estruturas do edifício com o que foi determinado no projeto arquitetônico.

Como a integração dos projetos de edifícios demandam um fluxo de informações bastante dinâmico e complexo, tornam-se necessários os empregos de ferramentas que possibilitem a apropriação e o controle dessas informações para melhor gerenciar os projetos. Uma dessas ferramentas empregadas é o Sistema à Base de Conhecimento que vem sendo utilizado no setor industrial dos países desenvolvidos. Este Sistema, que é um especialista artificial, possui excelentes vantagens em relação aos especialistas humanos:

Tabela 1: Comparação entre os dois tipos de especialistas.

Especialistas Humanos	Especialistas Articiais
Conhecimento Perecível	Conhecimento Permanente
Dificuldade de Transferência	Rápida Transferência
Dificuldade Para Documentação	Rápida Documentação
Conhecimento Inconstante	Conhecimento Consistente

Para a análise, a avaliação e a síntese do problema da integração entre projetos, o Sistema à Base de Conhecimento necessita dos parâmetros, que são recursos pelos quais o problema é equacionado. Através dos parâmetros é que ocorre a entrada e saída de informações, onde o Sistema se comunica com o usuário.

As formas de como se equaciona um problema, de como são escolhidos os parâmetros e de como o Sistema à Base de Conhecimento processa as informações de integração de projeto são explicadas passo a passo. Concluindo a explicação geral, um exemplo de aplicação faz uma simulação simplificada de como o Sistema à Base de Conhecimento analisa as funções paramétricas, avalia e sintetiza o problema de viabilidade e de integração entre arquitetura e estrutura.

## 2. TIPOS DE VARIÁVEIS:

A criação dos parâmetros para equacionar o problema depende dos tipos de variáveis a serem consideradas e da realidade a ser estudada. As variáveis podem ser de dois tipos:

- variáveis numéricas - são aquelas que assumem valores numéricos (exemplo: dimensão  $d_1 = 5,00$  m);
- variáveis lingüísticas - são aquelas que assumem valores conceituais estabelecidos pelas pessoas e que representam um determinado intervalo (exemplos: padrão= alto, médio ou baixo; custo= alto, médio ou baixo).

Nem todas as variáveis assumem valores precisos, como é o caso das variáveis lingüísticas que devem ter um tratamento diferenciado de análise e de avaliação das variáveis numéricas. Por exemplo, para um apartamento de padrão médio pode representar um custo alto para uma pessoa da classe média-baixa, mas também pode representar um custo baixo para uma pessoa da classe alta; logo a variável padrão apresenta incerteza.

Para o caso da variável que apresenta incerteza, a análise, a avaliação e a síntese do problema podem ser feitas através da lógica difusa, que apura o grau de verdade do valor conceitual dessa variável. Este grau varia de 0 a 1, sendo 1 representado como a verdade aceita por 100% das pessoas.

## 3. ESCOLHA DAS FUNÇÕES:

A escolha dos parâmetros depende do problema que será estudado. A tabela 2 mostra um exemplo de escolha de parâmetros para o caso de casas e edifícios de apartamentos. Cada parâmetro está associado a uma função. Um mesmo parâmetro pode estar associado a mais de uma função, como é mostrado na figura 1 (no caso  $x$  e  $y$  são funções e  $t$  é o parâmetro. Pode-se dizer que o parâmetro é o elo de ligação entre duas ou mais funções e que ele estabelece a interdependências entre elas).

Reta: $y = x + 2$ onde $x \geq 0$		Equação Paramétrica: $\begin{cases} x = t ; \quad t \geq 0 \\ y = t + 2 \end{cases}$ onde $t$ é o parâmetro.
---	--	---

Fig. 1: Exemplo de parametrização: caso de uma reta.

Deve-se, portanto, escolher os parâmetros baseando-se no relacionamento entre as funções e de que forma cada função influencia sobre a outra. Conforme a complexidade

do caso, as vezes é interessante montar-se uma rede onde se é possível visualizar a troca de informações e as influências que cada função exerce sobre a outra.

Tabela 2: Parâmetros para a viabilidade e para a integração entre arquitetura e estrutura.

Função	Domínio	Variável	
Viabilidade (perfil)	Padrão de acabamento	baixo, médio, alto	Ling. Inc.
	A classe a que se destina	baixa, média-baixa, média-média, média-alta, alta	Ling. Inc.
	Área do terreno	$AT \geq 0; AT \in \mathbb{R}$	Ling.
	Área edificada	$AE \geq 0; AE \in \mathbb{R}$	Num.
	Área construída	$AC \geq 0; AC \in \mathbb{R}$	Num.
	Número de unidades	$NU \geq 0; NU \in \mathbb{N}$	Num.
	Tipo de unidade	Conjugado, sala e quarto, sala e 2 quartos, ...	Ling.
	Custo da unidade	baixo, médio, alto	Ling. Inc.
	Local do terreno	cidade, campo, praia, montanha	Ling.
	Topografia do terreno	Plana, pouco acidentada, meio acidentada, muito acidentada.	Ling. Inc.
Integração entre Arquitetura e Estrutura	Solo do terreno	Presenças e faixas de Argila, silte, areia, pedregulho, ...	Ling. Inc.
	Acesso	fácil, médio, difícil	Ling. Inc.
	Fundação	Sapata, baldrame, radier, estaca, parede diafragma	Ling.
	Tipo de laje	maciça, pré-moldada, nervurada, protendida	Ling.
	Dimensões da laje	$DL1a \geq 0; DL1a \in \mathbb{R}$ $DL1b \geq 0; DL1b \in \mathbb{R}$	Num.
	Parede autoporante	sim, não	Ling.
	Espaço entre paredes	$EPA \geq 0; EPA \in \mathbb{R}$	Num.
	Tipo de viga	Concreto armado, concreto protendido, aço, madeira	Ling.
	Comprimento da viga	$DV1 \geq 0; DV1 \in \mathbb{R}$	Num.
	Tipo de pilar	concreto armado, concreto protendido, aço, madeira	Ling.
Estrutura	Comprimento do pilar	$DP1 \geq 0; DP1 \in \mathbb{R}$	Num.
	Carga transmitida ao solo	$PP1 \geq 0; PP1 \in \mathbb{R}$	Num.
	Espaço entre pilares	$EP \geq 0, EP \in \mathbb{R}$	Num.
	Resistência do concreto	$F_{ck} \geq 9, F_{ck} \in \mathbb{R}$	Num.
	Mistura do concreto	manual, betoneira, caminhão betoneira	Ling.
	Nível técnico da mão-de-obra	simples, médio, alto	Ling. Inc.
	Profissional mais especializado na obra	pedreiro, mestre-de-obras, técnico, engenheiro	Ling.

Tipos de variáveis: Numérica (Num.) e Lingüística (Ling.). Caso de Incerteza (Inc.)

#### 4. REDE DE DEPENDÊNCIA ENTRE AS FUNÇÕES:

Após a escolha das funções que irão compor o equacionamento do problema, monta-se a rede que estabelece a dependência entre as funções, a fim de se determinar os parâmetros comuns a duas ou mais funções e de se estabelecer restrições entre as mesmas.

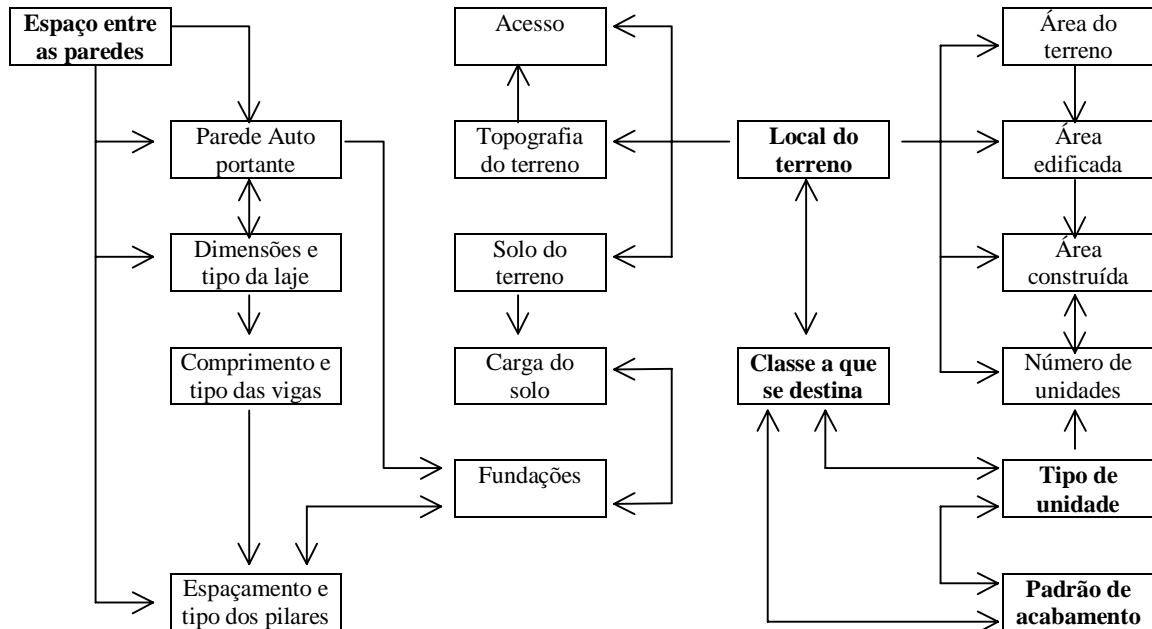


Fig. 2: Dependência entre as funções: fluxo de informações técnicas.

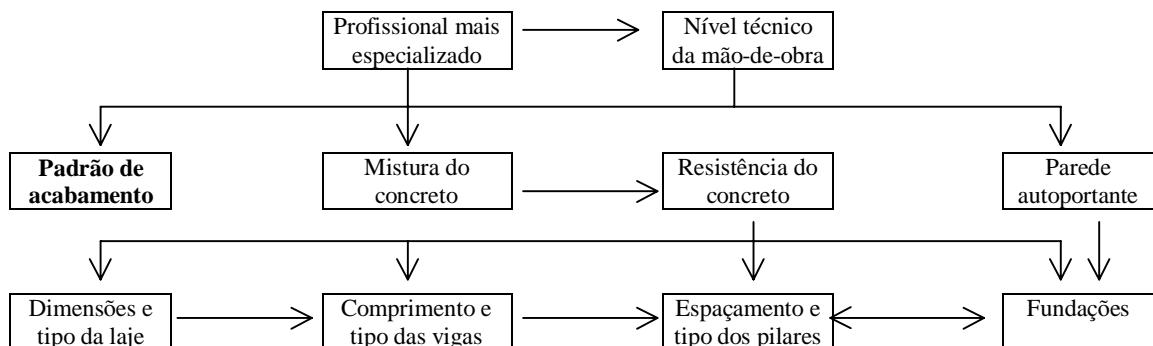


Fig. 3: Dependência entre as funções: fluxo de informações técnicas da mão-de-obra.

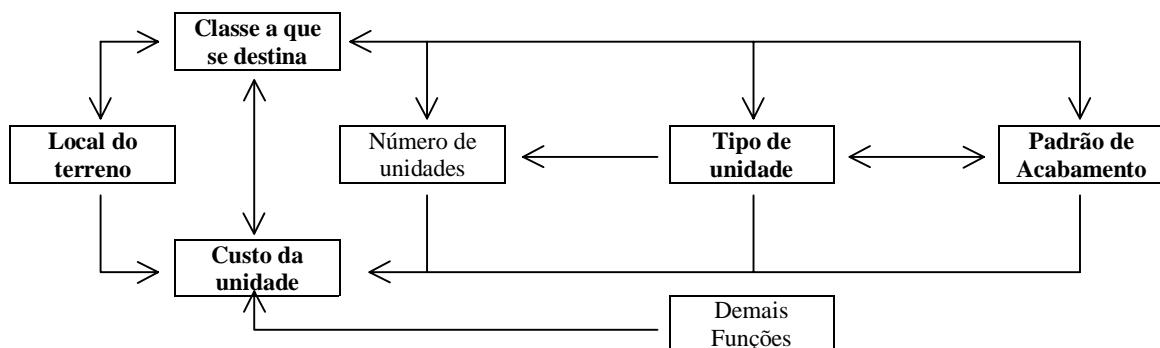


Fig. 4: Dependência entre as funções: fluxo de informações de interesse do cliente: especificação técnica e custos.

## 5. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS:

Estabelecidas as dependências entre as funções através dos fluxogramas de informações (redes), passa-se para a definição dos parâmetros que representarão essas dependências.

Por exemplo: suponhamos que o custo de uma viga protendida seja três vezes maior que o de uma viga em concreto armado de mesmo vão. Assim podemos parametrizar o termo custo da seguinte forma:

$CVP = 3.t$	$CVP$ - Custo da viga protendida
$CVCA = t$	$CVCA$ - Custo da viga de concreto armado
	$t$ - parâmetro de custo

Assim, associamos o parâmetro de custo  $t$  a todas as funções que exercem uma influência no custo final do produto. Da mesma forma, associamos os outros parâmetros às funções, como o parâmetro de posição que se refere à posição das paredes, lajes, vigas e pilares. Pode haver mais de um tipo de parâmetro de posição conforme o problema e a complexidade da arquitetura a serem estudados. Os parâmetros de posição serão um dos mais importantes para a integração dos projetos de arquitetura e estrutura.

## 6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO: UM CASO DE ESCOLHA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS BASEANDO-SE NA ARQUITETURA:

Para a casa da figura abaixo, analisar as funções de viabilidade e de integração entre arquitetura e estrutura, determinando os seus valores.

Fonte: Própria.

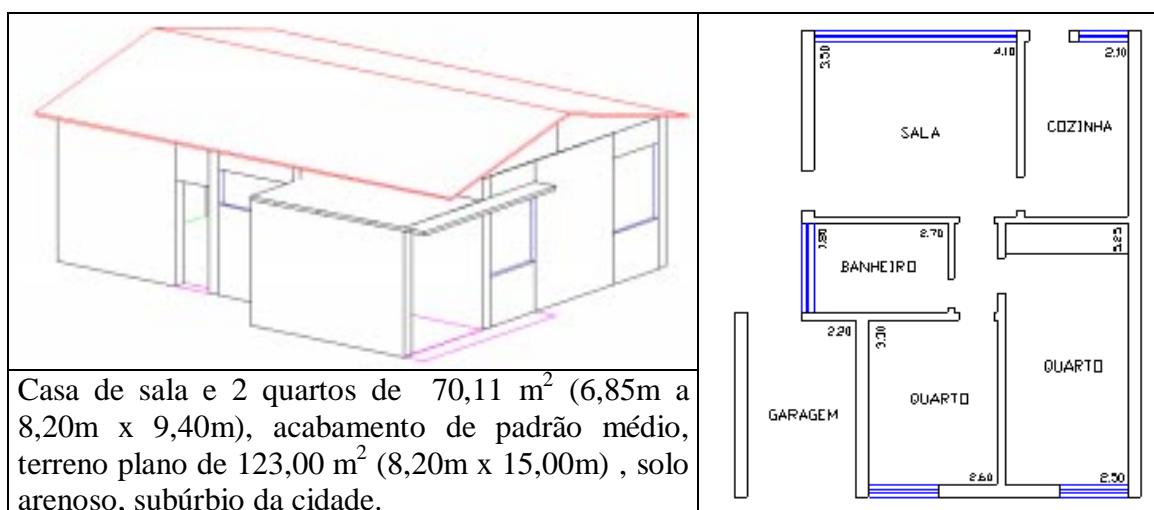


Fig. 5: Projeto básico de uma casa.

Acompanhe a solução do problema observando as funções escolhidas na tabela 2 e as redes de dependência entre as funções contidas nas figuras 2, 3 e 4.

Solução:

As funções área do terreno, área edificada e área construída dizem respeito ao código de obras da cidade. Se a taxa de ocupação permitida for superior a 57% ( $70,11\text{m}^2/123,00\text{m}^2=0,57$ ) , o projeto será aprovado pela divisão de edificações da prefeitura.

O padrão de acabamento (médio), o tipo de unidade (sala e 2 quartos), o local do terreno (subúrbio da cidade) o número de unidades (1) indicam que esse imóvel pode ser destinado à classe média-baixa ou média-média, dependendo do custo da unidade.

O local do terreno (subúrbio da cidade) e a topografia do terreno (plana) indica que o acesso é fácil e, portanto, o custo da unidade pode ser baixo.

Para a estrutura, as paredes autoportantes (sim) são uma solução bastante econômica e as distâncias entre elas ( $1,80\text{m} \leq \text{EPA} \leq 4,10\text{m}$ ) permitem o uso de lajes do tipo pré-moldado que, neste caso, se apresenta como uma solução econômica. Estas duas soluções estruturais dispensam o uso de pilares e vigas estruturais. As funções tipo, comprimento e carga do pilar, espaço entre pilares e tipo e comprimento da viga ficam automaticamente anuladas.

O solo do terreno (arenoso) e o carregamento das paredes autoportantes a ser transmitido ao solo permite uma fundaçao em baldrames que é uma solução econômica que reduz o custo da unidade.

Dadas as soluções estruturais e o perfil do empreendimento, podemos fazer uma concretagem manual, com uma equipe de nível técnico simples, acompanhada por um pedreiro experiente (profissional especializado), que garantirá um concreto com resistência superior a 9Mpa ( $F_{ck} \geq 9$ ). Observação: apesar de o pedreiro ser considerado o profissional especializado na concretagem, o responsável técnico continua sendo o autor do projeto que pode ser um arquiteto, um engenheiro ou um técnico em edificações, que responderá por tudo o que acontecer na obra.

Após a análise dos valores de todas as funções acima, pode-se concluir que o custo da unidade será relativamente baixo, podendo o imóvel ser destinado a uma família de classe média-baixa.

Outra solução:

No caso de se utilizar pilares e vigas estruturais ao invés de paredes autoportantes, devem ser analisadas as posições dos pilares durante o lançamento da estrutura. Para o problema em questão, utilizando a mesma mão-de-obra e os mesmos recursos técnicos para a concretagem, é aconselhável que o espaçamento entre pilares seja menor do que o usual. Por exemplo, para a estrutura abaixo (fig. 6a) pode-se suprimir alguns pilares, pois a tecnologia do concreto armado permite vigas não muito robustas de até 7,00m. Tudo vai depender da confiança que o projetista tem na equipe que executará o serviço. Esta confiança está ligada à função "profissional mais especializado na obra".

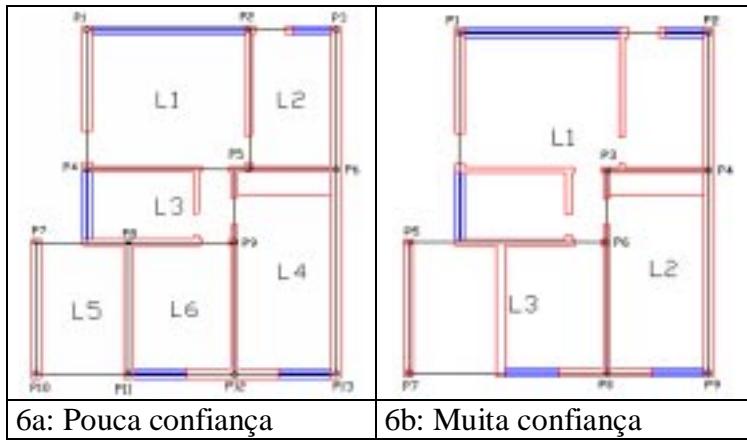


Fig. 6: Lançamento da estrutura: confiança na equipe que executará a obra.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A parametrização facilita a representação do conhecimento num sistema informatizado e a tradução da linguagem computacional para o usuário.

Alguns aspectos construtivos são complicados de serem representados por parâmetros, mas podem ser aproximados para encontrar soluções que sejam consideradas boas. As soluções ótimas geralmente demandam maior tempo de processamento, como também tornam a parametrização e o equacionamento do problema muito complexos.

Na solução do exemplo da aplicação, foi escolhida a técnica de busca por satisfação de restrições. As escolhas de técnicas de inteligência artificial devem sempre se basear no tipo de problema e nos parâmetros empregados, visando a eficiência do sistema.

## 8. BIBLIOGRAFIA:

COSTA, L.C.S. Sistema Inteligente de Apoio ao Projeto de Peças Plásticas. Dissertação de Mestrado, PEP/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.

NAVEIRO, R.M. - The Role of Computer Support for Integrated Product Design. International Conference on Engineering Design - ICED'97, Tampere, Finlândia, agosto de 1997.

PICCHI, F.A. - Sistemas da qualidade: uso em empresas de construção de edifícios. Tese de Doutorado, PCC/EPUSP, São Paulo, 1993.