

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPES - UM PROTÓTIPO  
DE SISTEMA ESPECIALISTA PARA A SELEÇÃO DE  
EQUIPAMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DE  
EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS ANDARES**

*Mariana Petrova Boudinova*

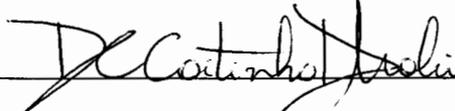
Dissertação de mestrado apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em engenharia.

Porto Alegre

1997

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador:   
Prof. Carlos Torres Formoso, PhD

  
Prof. Denise Carpena Coitinho Dal Molin,  
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil

**BANCA EXAMINADORA:**

- Prof. João Luiz Calmon Nogueira da Gama,  
Dr. Ing. pela Universidade Politécnica da Catalunha
- Prof. Ruy Alberto Cremonini,  
Dr. pela Universidade de São Paulo
- Prof. Oscar Fernando Osório Balarine,  
Dr. pela Universidade Federal de Santa Catarina

Porto Alegre, abril de 1997

## ***AGRADECIMENTOS***

Ao professor Carlos Torres Formoso, pela orientação, dedicação e motivação ao longo do trabalho.

Aos demais professores, em especial os professores Hélio Adão Greven, Denise Dal Molin, Ronaldo Duarte, Luis Carlos Bonin e José Luis Ribeiro pela receptividade, dedicação e pelo ótimo ambiente de trabalho propiciado por eles.

Aos colegas do NORIE, especialmente Maurício Bernardes, Aguinaldo dos Santos, Lucília Bernardino da Silva e Adriano Costa pela amizade, compreensão e colaboração.

Ao colega, auxiliar de pesquisa, Marcelo Kipper da Silva, pelo empenho e a valiosa colaboração.

Aos engenheiros e técnicos das empresas construtoras que colaboraram para o desenvolvimento do presente trabalho.

À Maria Elizabete de Souza, pela amizade, incentivo e colaboração.

Aos meus pais e à minha família, especialmente ao marido e melhor amigo, Henri Boudinov, pelo incentivo, carinho e constante apoio.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	x
<b>RESUMO</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii

## **1 INTRODUÇÃO**

1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3. MÉTODO DE PESQUISA.....	4
1.4. LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	4
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5

## **2 GERENCIAMENTO DE EQUIPAMENTOS NA CONSTRUÇÃO..... 6**

2.1. CONCEITOS BÁSICOS.....	6
2.2. MECANIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO.....	8
2.2.1. Papel da mecanização na inovação.....	8
2.2.2. Dificuldade de mecanização na construção.....	9
2.2.3. Vantagens da mecanização.....	10
2.2.4. Tendências de mecanização da construção no Brasil.....	11
2.2.5. Manutenção de máquinas e equipamentos.....	12
2.3. PLANEJAMENTO DA UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	14
2.3.1. Estratégia de seleção dos equipamentos.....	14
2.3.2. Fatores que afetam a seleção de equipamentos.....	15
2.3.3. Processo de planejamento dos equipamentos.....	17
2.4. ECONOMIA DOS EQUIPAMENTOS.....	19
2.4.1. Formas de aquisição dos equipamentos.....	19
2.4.2. Método de análise de investimentos.....	20
2.4.3. Componentes do custo de equipamentos.....	20
2.4.4. Cálculo do custo dos equipamentos.....	22
2.4.5. Custo do método de execução.....	24
2.5. INFORMÁTICA EM AJUDA NO TRABALHO COM EQUIPAMENTOS.....	25
2.5.1. A Informática como instrumento gerencial.....	25

2.5.2. Funções da Informática em apoio às atividades que incluem equipamentos de construção .....	27
2.5.3. Formas de aplicação da Informática.....	28
<b>3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....</b>	<b>29</b>
3.1. APRESENTAÇÃO DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	29
3.1.1. Descrição.....	29
3.1.2. Sistemas especialistas na construção.....	31
3.1.3. Sistemas especialistas para seleção de equipamentos na construção .....	32
3.1.4. Métodos de desenvolvimento .....	33
3.1.5. Desenvolvimento através de prototipagem .....	35
3.2. MÉTODO PROPOSTO PARA DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EQUIPES. ....	36
3.2.1. Apresentação do método.....	36
3.2.2. Fase de conceitualização .....	38
3.3. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA EQUIPES .....	44
3.3.1. Aquisição do conhecimento.....	44
3.3.2. Técnicas de aquisição do conhecimento.....	45
3.3.3. O papel do “semi-especialista” .....	46
3.3.4. Aquisição do conhecimento de múltiplos especialistas .....	47
3.3.5. Aquisição do conhecimento para o protótipo inicial.....	49
3.3.6. Aquisição do conhecimento para o segundo protótipo.....	50
3.3.7. Representação intermediária.....	53
<b>4 MODELO DE CONHECIMENTO PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS.....</b>	<b>57</b>
4.1. MODELO CONCEITUAL GERAL .....	57
4.1.1. Modelo da tarefa de seleção de equipamentos em nível empresarial .....	57
4.1.2. Definição das sub-tarefas de seleção de equipamentos em nível operacional.....	58
4.1.3. Modelo da tarefa de escolha do método de movimentação de materiais .....	59
4.1.4. Estrutura geral do modelo do conhecimento.....	61
4.2. EQUIPAMENTOS PARA DIFERENTES ATIVIDADES NA CONSTRUÇÃO .....	63
4.3. EQUIPAMENTOS PARA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS .....	65
4.3.1. Materiais condicionantes do sistema de movimentação .....	65
4.3.2. Equipamentos para movimentação de materiais e componentes .....	68

4.3.3. Equipamentos viáveis para movimentação de materiais em obras de edifícios de múltiplos andares .....	72
4.3.4. Equipamento adequado para movimentação de um dado material .....	73
4.4. ESCOLHA DO MÉTODO DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS .....	74
4.4.1. Métodos de movimentação diferentes.....	74
4.4.2. Variáveis para escolha do método .....	76
4.4.3. Roteiro para escolha do método .....	84
4.5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS .....	85
4.5.1. Custo horário da mão-de-obra.....	85
4.5.2. Relação entre custo horário da mão-de-obra e custo horário dos equipamentos .....	85
4.5.3. Comparação dos métodos de movimentação alternativos em termos de tempo e custo.....	86
4.5.4. Estudo de tempos e movimentos .....	88
<b>5 SISTEMA IMPLEMENTADO NO COMPUTADOR.....</b>	<b>89</b>
5.1. DESCRIÇÃO INICIAL DO SISTEMA EQUIPES .....	89
5.2. BANCO DE DADOS EQUIP .....	91
5.3. MODELO FUNCIONAL DO SISTEMA EQUIPES.....	94
5.3.1. Função informativa .....	94
5.3.2. Função consulta .....	98
5.3.3. Cálculo comparativo .....	100
5.4. MODELO FÍSICO DO SISTEMA .....	101
5.4.1. Base de conhecimento.....	101
5.4.2. Mecanismo de inferência no EQUIPES .....	107
5.4.3. Interfaces no EQUIPES .....	109
<b>6 AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO.....</b>	<b>113</b>
6.1. TERMOS DA AVALIAÇÃO .....	113
6.1.1. Verificação e validação .....	114
6.1.2. O papel do usuário na avaliação da aplicação .....	115
6.2. TÉCNICAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DO EQUIPES .....	116
6.2.1. Verificação da estrutura do sistema .....	116
6.2.2. Validação do protótipo .....	117

6.3. TESTE DO PROTÓTIPO EM CONDIÇÕES REAIS.....	119
6.3.1. Objetivos do teste .....	119
6.3.2. Exemplo A.....	120
6.3.3. Exemplo B.....	128
6.3.4. Análise dos resultados do teste.....	130
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>132</b>
7.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	132
7.2. CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS .....	133
7.2.1. Desenvolvimento do Banco de dados .....	133
7.2.2. Desenvolvimento do protótipo do sistema EQUIPES .....	133
7.3. CONCLUSÕES FINAIS .....	135
7.4. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS NA ÁREA.....	136
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXO - DEMONSTRAÇÃO DO PROTÓTIPO.....</b>	<b>144</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Método proposto para o desenvolvimento da aplicação .....	37
Figura 3.2	Lógica geral do protótipo inicial do sistema EQUIPES.....	51
Figura 4.1	Estrutura do processo decisório empresarial sobre a aquisição de equipamentos na construção.....	57
Figura 4.2	Modelo da tarefa da escolha de método de movimentação de materiais no canteiro da obra pelo engenheiro da obra .....	60
Figura 4.3	Classificação dos materiais pelo percentagem do peso movimentado na obra.....	68
Figura 4.4	Carrinho porta- <i>pallet</i> .....	69
Figura 4.5	Girica.....	69
Figura 4.6	Pá carregadora de pequenas dimensões (Bobcat).....	69
Figura 4.7	Dumper.....	70
Figura 4.8	Empilhadeira .....	70
Figura 4.9	Elevador de obra.....	70
Figura 4.10	Guindaste móvel .....	71
Figura 4.11	Grua torre estacionária.....	71
Figura 4.12	Grua torre ascensional.....	71
Figura 5.1	Lógica geral do Segundo protótipo do sistema EQUIPES .....	90
Figura 5.2	Tela inicial do sistema EQUIPES .....	91
Figura 5.3	Estrutura geral do banco de dados EQUIP .....	92
Figura 5.4	Tabela do banco de dados EQUIP .....	93
Figura 5.5	Formulário do banco de dados EQUIP .....	94
Figura 5.6	Lógica da consulta no Módulo A do sistema EQUIPES .....	95
Figura 5.7	Tela com a resposta do sistema EQUIPES ao fim do Módulo A.....	96
Figura 5.8	Lógica da consulta no Módulo B do sistema EQUIPES.....	97
Figura 5.9	Exemplo da estrutura do diálogo entre o sistema e usuário .....	97
Figura 5.10	Lógica do Módulo C do sistema EQUIPES.....	98
Figura 5.11	Imagem de uma possível resposta do sistema ao fim do Módulo C .....	99

Figura 5.12	Lógica do Módulo D do sistema EQUIPES.....	100
Figura 5.13	Resposta do sistema ao fim da consulta no Módulo D .....	101
Figura 5.14	Uma regra do sistema EQUIPES.....	102
Figura 5.15	Exemplos de representação do conhecimento através de rede semântica e através de frame .....	103
Figura 5.16	Exemplo de método no sistema EQUIPES .....	105
Figura 5.17	Exemplo de <i>slot</i> no sistema EQUIPES .....	106
Figura 5.18	Hierarquia dos objetos (equipamentos) no Módulo B do sistema .....	107
Figura 5.19	Exemplo de função no sistema EQUIPES.....	108
Figura 5.20	Um exemplo de interface de desenvolvimento.....	110
Figura 5.21	Tela da interface com o usuário.....	111
Figura 6.1	Resultados da pesquisa sobre a importância dos assuntos dos quatro módulos do protótipo do sistema EQUIPES .....	118
Figura 6.2	Tela com a resposta do sistema EQUIPES no Exemplo A .....	122
Figura 6.3	Tela com resposta do sistema EQUIPES no módulo D (Exemplo A).....	123
Figura 6.4	Tela com a resposta do sistema EQUIPES para a consulta no exemplo B ....	129

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Valor residual e vida útil dos veículos, equipamentos e edifícios .....	23
Quadro 2.2	Vida útil estimada dos diferentes equipamentos .....	24
Quadro 3.1	Lista das características básicas de avaliação.....	41
Quadro 3.2	Lista das características convenientes .....	41
Quadro 3.3	Cálculo para o sistema.....	42
Quadro 3.4	Lista dos fatores que afetam a escolha dos equipamentos na construção de edificações.....	55
Quadro 3.5	Forma matricial de apresentação do conhecimento para geração de regras no sub-módulo de movimentação de materiais com decomposição das direções.....	56
Quadro 4.1	Modelo geral do conhecimento sobre os equipamentos na construção de edificações.....	62
Quadro 4.2	Relação entre fases, atividades e equipamentos.....	64
Quadro 4.3	Exemplo de Ficha técnica para apresentação de um tipo de equipamento.....	66
Quadro 4.4	Resumo dos dados das máquinas para acabamento de pisos .....	67
Quadro 4.5	Equipamentos viáveis para movimentação de materiais e componentes em obras de edifícios de múltiplos andares .....	74
Quadro 4.6.	Equipamentos participantes nos diferentes métodos (para cada material movimentado).....	76
Quadro 4.7	Tempo máximo disponível para movimentação de concreto em função do ciclo de execução da laje.....	78
Quadro 4.8	Fator de eficiência dos equipamentos para construção .....	80
Quadro 4.9	Comparação entre grua estacionária e grua ascensional.....	83
Quadro 6.1	Dados de entrada para a consulta no módulo C (exemplo A) .....	121
Quadro 6.2	Dados de entrada para a consulta no módulo D (exemplo A) .....	

Quadro 6.3	Valores-padrão dos tempos e custos do sistema EQUIPES.....	122
Quadro 6.4	Cálculo do custo horário da grua.....	125
Quadro 6.5	Transporte de concreto com caçamba pela grua.....	125
Quadro 6.6	Transporte de argamassa com girica pela grua.....	125
Quadro 6.7	Transporte de blocos cerâmicos com carrinho-plataforma pela grua.....	126
Quadro 6.8	Transporte de aço pela grua.....	126
Quadro 6.9	Comparação de tempos padrão com tempos reais do Exemplo A.....	127
Quadro 6.10	Comparação de custos padrão com custos reais do Exemplo A.....	127
Quadro 6.11	Dados de entrada para a consulta no exemplo B.....	128

## RESUMO

Um dos problemas enfrentados pelos gerentes de produção na construção é a escolha de equipamentos e dimensionamento do sistema de movimentação de materiais. A disseminação de informações sobre equipamentos é pequena e existem poucos especialistas na seleção de equipamentos. Os profissionais com limitada experiência têm necessidade de apoio na decisão quando executam a tarefa de escolha de equipamentos e métodos de movimentação de materiais. Com o desenvolvimento da Informática e, em especial, seu ramo Inteligência Artificial tornou-se possível a resolução destes problemas, usando programas computacionais denominados sistemas especialistas, que capacitam um computador a atuar de forma semelhante a um consultor na tomada de decisões. Através desta pesquisa procurou-se utilizar os recursos da Informática para oferecer informação sobre os equipamentos disponíveis e para apoio na decisão das pessoas com pouca experiência sobre seleção destes equipamentos no canteiro da obra. Este trabalho propõe um modelo do conhecimento de alguns especialistas sobre seleção de equipamentos para construção de edificações, enfocando a fase de movimentação de materiais no canteiro da obra, implementado num protótipo de sistema especialista, que possa ser empregado no apoio da decisão em solução de problemas reais.

## **ABSTRACT**

One of the problems faced by production managers in the building industry is the choice of equipment and the design of the materials transport system. The dissemination of information on equipments is limited and a few experts in the field of equipment selection exists. The equipment selection process normally requires complex managerial decision and the less experienced personnel needs some support in reaching it. With the development of Computer Science, especially Artificial Intelligence, expert systems have been created, which enable computers to be used like a consultant. The present research work, using the computacional facilities, offers information about the equipment available in the building industry and assistance for the less experienced personnel in the selection decision. This work proposes a model of the knowledge used by some experts in the task of equipment selection in building, focusing on the materials handling at the construction site. A system prototype which can be used for real problem solutions have been created.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

No presente capítulo procura-se justificar o tema da pesquisa e a abordagem adotada no presente trabalho, como também estabelecer o objetivo principal e os objetivos secundários do estudo. São estabelecidas as limitações do trabalho e apresentada a estrutura da dissertação.

### 1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Desde o início da sua atividade construtiva, o homem tem procurado inventar vários dispositivos que reduzam seus esforços e possibilitem a construção de obras pesadas, impossíveis de serem realizadas só com a força humana. Os equipamentos usados na construção nos dias de hoje são bem variados - desde o simples carrinho de mão, até as guias pesadas, usadas na montagem industrial. Os equipamentos são usados nas diversas atividades na obra - para escavação, movimentação dos materiais, produção dos componentes, aplicação dos materiais e componentes, acabamentos, etc.

Ao contrário da Europa e dos Estados Unidos, onde o uso de equipamentos na construção é intenso, no Brasil apenas recentemente passou-se a empregar equipamentos de forma mais frequente, principalmente pela necessidade de elevar a produtividade e melhorar as condições de higiene e segurança no trabalho.

Um dos principais problemas enfrentados pelos gerentes de produção na construção civil é a escolha de equipamentos e o dimensionamento do sistema de movimentação de materiais. A disseminação de informações sobre equipamentos é pequena e existem poucos especialistas na escolha e dimensionamento de equipamentos para movimentação de materiais. Os profissionais com limitada experiência de trabalho em canteiros tem necessidade de apoio na decisão quando executam a tarefa de escolha de equipamentos e métodos de movimentação de materiais.

A indústria da construção difere da indústria manufatureira pelo seu *layout* posicional, isto é, o produto (edifício) fixo, com materiais, equipamentos e mão de obra se movimentando para a sua elaboração. Esta movimentação é superior às ocorridas em outros tipos de *layout* e permite afirmar que a maior parte do tempo produtivo é dispensado em atividades relacionadas com a movimentação (LICHTENSTEIN, 1987).

Segundo LICHTENSTEIN (1987), estudos do IMAM (Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais) estimam o tempo destinado à movimentação na construção em 80% do tempo total gasto. Considerando que os equipamentos de movimentação possuem um custo horário geralmente maior que os demais utilizados em obras, o custo da mão-da-obra e equipamentos para movimentação tem uma fatia pesada em relação ao total.

A aquisição de equipamentos muitas vezes envolve elevados investimentos, devendo haver uma cuidadosa escolha das máquinas e ferramentas adequadas para cada atividade. Este tipo de decisão tem forte ligação com o projeto e com o planejamento da obra, devendo haver uma preocupação com a ocupação contínua e a conservação cuidadosa dos mesmos.

Por outro lado, a necessidade de utilização de equipamentos tem aumentado significadamente no setor, principalmente entre aquelas empresas interessadas em modernizar seus processos produtivos, aumentar a qualidade e a produtividade, reduzir prazos e melhorar a qualidade de trabalho de seus operários.

Na verdade, as empresas construtoras tem buscado se tornar cada vez mais competitivas, lutando para a sobrevivência na realidade atual. Em tempos de recessão, quando a possibilidade de crescimento é pequena, a necessidade de manter a lucratividade leva à redução de custos, aumento da eficiência, busca de qualidade total e valorização do dinheiro (POWEL & NEWLAND, 1995).

Portanto, a condução de qualquer empreendimento até o sucesso no futuro, requer uma mudança nas atitudes do pensamento humano e uma estratégia para pensamento sistêmico, baseado na integração dos valores humanos (DE BONO, 1993).

A integração dos valores humanos pode tornar-se a nova direção para um sucesso empresarial. Por isso, os futuros sistemas informatizados devem oferecer valores integrados. As pessoas irão utilizar novas ferramentas para apoio na decisão, com objetivo de aumentar sua conectividade com bases de dados apropriados e conhecimento especializado (POWEL & NEWLAND, 1995).

O assunto de seleção dos equipamentos na construção de edificações é caracterizado por um gargalo na distribuição do conhecimento. Nesta área o conhecimento é mal distribuído e difícil para manuseio, renovação e organização sem ajuda da Informática.

Uma pessoa com pouca experiência no assunto precisa de apoio quando executa a tarefa de escolha de equipamentos adequados na obra, pois não é familiarizada com os equipamentos disponíveis no mercado e com suas condicionantes de uso.

Com o desenvolvimento da Informática e, em especial, do seu ramo Inteligência Artificial tornou-se possível a resolução destes problemas, usando programas computacionais

denominados sistemas especialistas, que capacitam um computador a atuar de forma semelhante a um consultor na tomada de decisões.

Os sistemas especialistas tendem a se tornar um recurso importante para a engenharia civil, na qual a resolução de grande parte dos problemas depende do conhecimento especializado, da experiência do especialista, e de dados muitas vezes incompletos e/ou imprecisos. A gama de sistemas especialistas já desenvolvidas é bastante ampla, embora nem todos estejam sendo utilizados comercialmente (BERNARDI & SARDINHA, 1992).

Os sistemas especialistas trouxeram um novo enfoque ao desenvolvimento de *software* para a solução de problemas que antes não eram tratados pelo computador. Sua disseminação está facilitada pela disponibilidade cada vez maior de ferramentas voltadas ao seu desenvolvimento (BERNARDI & SARDINHA, 1992).

Segundo BETTS et al.(1991), só as novas tecnologias, usando bancos de dados informatizados, computação gráfica e imagens computadorizados, como também sistemas baseados em conhecimento (sistemas especialistas), possuem o potencial de possibilitar um efetivo acesso e troca de informação e conhecimento na indústria da construção.

Através desta pesquisa procurou-se utilizar os recursos da Informática para oferecer informação sobre os equipamentos disponíveis na construção de edificações e para apoio na decisão das pessoas com pouca experiência sobre seleção destes equipamentos no canteiro da obra.

## 1.2. OBJETIVOS

Objetivo geral do presente trabalho é verificar a possibilidade de se desenvolver um modelo do conhecimento de alguns especialistas sobre seleção dos equipamentos para construção de edificações, enfocando a fase de movimentação de materiais no canteiro da obra, e implementar este modelo em um protótipo de sistema especialista, que possa ser empregado no apoio da decisão em solução de problemas reais.

Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos para o presente trabalho:

- a) oferecer a informação disponível sobre os equipamentos para construção de edificações, como também seus possíveis fabricantes e fornecedores, em forma de um banco de dados informatizado, forma mais rápida e fácil de usar do que um manual escrito;
- b) identificar as variáveis principais e secundárias que afetam o processo de escolha dos equipamentos de movimentação de materiais e componentes no canteiro da obra;
- c) desenvolver um protótipo de sistema especialista para apoio na decisão sobre escolha do equipamento e os métodos de movimentação de materiais no canteiro da obra, interligado com o banco de dados dos equipamentos.

### **1.3. MÉTODO DE PESQUISA**

O presente trabalho dá continuidade a uma pesquisa sobre levantamento de equipamentos para a indústria da construção civil (OLIVEIRA et al., 1994), desenvolvida no NORIE - Núcleo orientado pela inovação da edificação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em convênio com o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Rio Grande do Sul (SEBRAE/RS), o Sindicato das Indústrias da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul (SINDUSCON/RS) e a Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC). A informação sobre os equipamentos, incluída no banco de dados informatizado e no protótipo do sistema especialista EQUIPES baseia-se neste estudo.

Com a finalidade de que os objetivos estabelecidos sejam atingidos, foram percorridas as seguintes etapas:

- a) sistematizar o conhecimento especializado disponível sobre o domínio de máquinas e equipamentos na construção de edificações;
- b) adquirir o conhecimento de alguns especialistas em obras de edificações e das empresas que oferecem máquinas na construção para modelar este conhecimento;
- c) estabelecer fatos, regras e procedimentos que descrevam o processo decisório e construir um modelo do conhecimento disponível sobre o domínio;
- d) implementar o conhecimento adquirido em um ambiente computacional, utilizando microcomputador;
- e) efetivar uma ligação entre o protótipo de sistema especialista desenvolvido e o banco de dados informatizado sobre equipamentos para construção de edificações.

### **1.4. LIMITAÇÕES DO TRABALHO**

O sistema desenvolvido é aplicado a um domínio de conhecimento bem determinado - construção de edifícios de vários pavimentos com tecnologia tradicional, ou seja: estrutura em concreto armado moldado “in loco”, fechamento em alvenaria de tijolos e revestimento em argamassas. Esta limitação refere-se ao fato de que o sistema tradicional é o mais amplamente usado no Brasil, na área de construção habitacional, e que cada vez mais o mercado habitacional brasileiro dirige-se à construção de apartamentos, em vez de casas. O sistema especialista admite algumas variações do sistema tradicional, como uso de alguns elementos pré-fabricados: escadas e vigas de concreto, formas metálicas, etc.

Embora o banco de dados desenvolvido inclua equipamentos para diversas atividades, o enfoque do sistema especialista é dado para os equipamentos destinados à fase de movimentação de materiais e componentes no canteiro da obra. É estudada a possibilidade de entrega de materiais paletizados na obra.

Tendo em vista a realidade nas empresas de construção, foi decidido como mais conveniente desenvolver o sistema especialista para rodar em um microcomputador PC.

Devido ao tempo limitado disponível para execução do presente trabalho, o sistema especialista encontra-se em fase de protótipo. Para atingir uma fase de sistema comercial é necessário um trabalho mais aprofundado na validação do conhecimento embutido no sistema, ampliação deste conhecimento e possibilidade de manutenção regular da informação utilizada.

## **1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação consiste em sete capítulos com o seguinte conteúdo:

No primeiro capítulo procurou-se justificar o tema da pesquisa e a abordagem adotada no presente trabalho, como também estabelecer o objetivo principal e os objetivos secundários do estudo. Foram estabelecidas as limitações do trabalho e apresentada a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo foi feita uma revisão bibliográfica sobre o assunto de gerenciamento de equipamentos na construção: uso, planejamento e economia de equipamentos na construção de edificações. Foi destacado o papel da Informática no gerenciamento de equipamentos.

O capítulo 3 discorre sobre sistemas especialistas e a metodologia de seu desenvolvimento. Este capítulo contém também o método proposto para o desenvolvimento do protótipo do sistema especialista EQUIPES.

O capítulo 4 apresenta o modelo de conhecimento para seleção de equipamentos e de métodos para movimentação de materiais na construção de edificações.

O capítulo 5 começa com a descrição inicial do protótipo de sistema e do banco de dados sobre equipamentos na construção de edificações. Mais adiante discorre-se sobre a funcionalidade e a estrutura do protótipo do sistema especialista EQUIPES, implementado no ambiente computacional.

No capítulo 6 é apresentada a avaliação do protótipo, discutindo inicialmente os termos de verificação e validação e o papel do futuro usuário na avaliação. Mais adiante é apresentado o teste da aplicação em condições reais.

A dissertação é concluída com o capítulo 7, que apresenta algumas conclusões referentes à pesquisa realizada e, finalmente, são listadas algumas sugestões para futuros estudos na área.

## CAPÍTULO 2

### **GERENCIAMENTO DE EQUIPAMENTOS NA CONSTRUÇÃO**

No presente capítulo é feita uma revisão bibliográfica sobre o assunto de gerenciamento de equipamentos na construção: uso, planejamento e economia de equipamentos na construção de edificações. No final, é destacado o papel da Informática no gerenciamento de equipamentos.

#### **2.1. CONCEITOS BÁSICOS**

Inicialmente serão definidos alguns conceitos básicos, destacando os que serão usados no presente trabalho.

É necessário fazer uma diferenciação entre os termos máquina, ferramenta e equipamento. No dicionário LUFT (1995) os termos citados acima possuem as seguintes definições:

a) máquina - um aparelho ou dispositivo (elétrico, eletrônico ou mecânico) formado por um conjunto de mecanismos, que trabalham juntos para transformar movimento, energia ou força;

b) ferramenta - instrumento ou utensílio usado na execução de trabalhos manuais ou mecânicos;

Equipamento é um termo genérico, que engloba os demais.

Quando uma máquina faz parte de um equipamento, geralmente existe também uma estrutura complementar imóvel, que auxilia o funcionamento da máquina, formando um conjunto. Por exemplo, um elevador de obra além do guincho inclui também: torre, plataforma e ponto de guincheiro. Existem na construção alguns equipamentos bastante específicos, como: andaimes, formas, equipamento de segurança, etc.

O presente trabalho restringe-se a um conjunto de equipamentos usados na construção de edificações. Não fazem parte do trabalho os seguintes equipamentos:

a) equipamentos usados na execução de fundações - por serem específicos a empresas que executam, em geral, somente este tipo de serviço;

b) formas, andaimes e ferramentas leves - em função da sua grande especificidade e variedade, estes itens merecem trabalhos específicos;

c) equipamentos de segurança - por existir uma legislação própria sobre o assunto e por não se constituírem em equipamentos de produção propriamente ditos;

Os equipamentos na construção podem ser classificadas segundo diversos fatores como:

a) tamanho - pequeno, médio, grande porte;

b) forma de acionamento - manual, energia elétrica, diesel, gasolina, pneumático;

c) capacidade produtiva - unidade de produção por tempo;

d) natureza do uso - transporte, aplicação de materiais, produção de componentes, etc.;

e) serviço no qual são aplicados - estrutura, elementos divisórios, pavimentação, forros, etc.;

f) material manipulado - terra, água, cimento, tijolos, ferro, concreto, etc.

Uma grande parte dos equipamentos na obra são destinados a movimentação de materiais e componentes e poderiam ser classificadas segundo:

a) terreno sobre o qual é executada a movimentação - o transporte térreo pode ser dividido em transporte externo (até o canteiro da obra) e transporte interno (dentro dos limites do canteiro). O transporte externo é realizado geralmente em boas condições nas vias rodoviárias. O transporte interno é efetuado em condições mais difíceis, já que o terreno pode ter pouca capacidade de suporte ou ser acidentado;

b) natureza das máquinas de transporte - manuais ou motorizadas (sobre rodas ou sobre trilhos);

c) distância - curta, média e longa distância;

d) direção de movimentação - linear (vertical), bidimensional (horizontal) e tridimensional (espacial), como, por exemplo: elevador de obra (vertical); caminhão, dumper, carrinhos (horizontal); grua e bomba (espacial).

Diversos autores como LINGER (1973), VALLINGS (1976), NUNNALLY (1977), HARRIS (1981), JOHNSTON (1981), ILLINGWORTH (1993), OLIVEIRA et

al. (1994), etc., descrevem os equipamentos básicos para construção. Alguns deles abordam especificamente equipamentos destinados a movimentação de materiais e componentes na obra (LICHTENSTEIN, 1987). Outros, como REICHEL & GLATTE (1980), enfocam as máquinas utilizadas no processo de concretagem.

## **2.2. MECANIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**

### **2.2.1. Papel da mecanização na inovação**

Segundo BENES et al. (em BONIN, 1987), a inovação é uma tradução de invenções em uso social, considerando neste processo o ambiente físico e institucional do fenômeno inovado. COSTA et al. (1992) considera a inovação ligada a uma nova mentalidade, pela qual se entende que todos os métodos e sistemas são suscetíveis de serem melhorados e, portanto, são provisórios e transitórios.

Em relação ao termo inovação, BONIN (1987) comenta, que enquanto as invenções podem ser entendidas como alterações puramente técnicas ou conceituais, a inovação incorpora um caráter eminentemente social, através da vinculação do fenômeno inovado com sua realidade social.

Segundo GRAZIA (em BONIN, 1987), no processo de inovação na construção de edificações podem ser distinguidos dois mecanismos principais:

a) ação inovadora tecnológica - que representa a substituição física de materiais, componentes e técnicas do processo produtivo da edificação por outras, que realizam a mesma função, porém com redução no consumo de recursos ou com ganho de qualidade;

b) ação inovadora organizacional - que significa alteração da estrutura de relações internas do processo produtivo da edificação com objetivo de obter um fluxo estável de comunicação ao longo do andamento do processo e aproveitar melhor a capacidade produtiva de seus participantes.

BONIN (1987) comenta, que nos últimos 60 anos a industrialização tem sido a estratégia de inovação mais acentuada da edificação. O mesmo autor, baseando-se na literatura, define o termo de industrialização como uma soma de racionalização, mecanização e automação. Ele constata que as inovações organizacionais são representadas pelo termo de racionalização, o qual está relacionado com uma revisão conceitual do processo produtivo da edificação com objetivo de criar condições favoráveis ao desenvolvimento do processo e viabilizar a utilização de novos materiais, técnicas construtivas ou procedimentos de controle. Por outro lado, as inovações tecnológicas são consideradas através dos termos de mecanização e automação, que se

referem diretamente à substituição de técnicas construtivas artesanais por técnicas construtivas mecanizadas, mas indiretamente expressam quaisquer alterações tecnológicas incorporadas ao processo.

No Brasil, a noção de racionalização da construção aparece, com frequência, na literatura sobre o setor, contrapondo-se à noção de industrialização. Nesse sentido, a racionalização consiste essencialmente na busca de ganhos de produtividade através da introdução de modificações na organização do trabalho. A etapa de execução - do canteiro de obras - é o alvo privilegiado das intervenções (FARAH, 1988).

O presente trabalho, preocupa-se, antes de tudo, com a mecanização na construção, como também com a racionalização dos processos na construção de edificações relacionada ao uso de máquinas e equipamentos.

### **2.2.2. Dificuldades de mecanização na construção**

Nas fábricas modernas, máquinas sofisticadas são usadas para movimentar ou processar materiais e componentes nos diferentes estágios da produção, eliminando trabalhos manuais. Isso é possível porque a saída dos produtos tem caráter contínuo e o projeto é altamente ligado com a produção.

Na construção, cada canteiro de obra é uma nova instalação que opera por curto período de tempo e o equipamento tem que ser desmobilizado no final do contrato. Várias atividades tem que ser executadas simultaneamente em diferentes pontos no canteiro. Para mecanizar este processo, em geral, não é possível enviar o trabalho para a máquina, mas a máquina tem que ser transportada para o local do trabalho. Outra dificuldade é que o processo de construção não é contínuo e em muitos casos o processo não pode prosseguir antes que certas atividades sejam executadas. Além disso, quando começa a execução da obra, em muitos casos, o projeto já está concluído e a organização responsável pela execução não tem oportunidade de adequá-lo ou alterá-lo de modo a facilitar a execução.

OLIVEIRA et al. (1994) determinam alguns fatores, que concorrem para a baixa utilização de máquinas e equipamentos na indústria da construção, como:

- a) falta de continuidade da demanda e flutuações no mercado de edificações;
- b) custos fixos relativamente elevados de alguns equipamentos;
- c) pouca disponibilidade de capital, principalmente das empresas de pequeno porte, para financiar instalações fixas;
- d) inexistência de eficácia gerencial para utilização econômica de determinados equipamentos em muitas empresas de construção;

e) elevado índice de ociosidade de alguns equipamentos empregados na construção;

f) parcela significativa do tempo produtivo de determinados equipamentos gasta para mobilização, preparo e manutenção dos mesmos;

g) redução dos prazos das obras, muitas vezes não devidamente valorizados pela sociedade, clientes e construtores;

h) muitos equipamentos não eliminam a necessidade de mão-de-obra qualificada.

Todos esses fatores dificultam a aplicação intensiva de equipamentos nos canteiros da obra.

### **2.2.3. Vantagens da mecanização**

As principais razões para a indústria usar máquinas, segundo VALLINGS (1976), são: aumentar a produção; reduzir prazos e custos; executar tarefas que não possam ser executadas a mão; eliminar trabalho manual pesado ou trabalho monótono; manter a produção, quando existe falta de mão de obra.

No que se refere à indústria de construção de edificações, OLIVEIRA et al., (1994) identificam um conjunto de fatores que justificam o emprego de máquinas e equipamentos, entre os quais se destacam os seguintes:

a) alguns equipamentos são capazes de substituir total ou parcialmente a mão-de-obra qualificada na realização de determinadas tarefas;

b) há empreendimentos nos quais a exigência de reduzidos prazos de execução por parte do cliente requer a utilização de equipamentos;

c) o emprego de equipamentos pode reduzir o custo final do produto, tornando a empresa mais competitiva;

d) em alguns casos, a exigência de um padrão de qualidade superior não pode ser atendida através do processo tradicional de construção;

e) alguns equipamentos proporcionam melhorias nas condições de higiene e segurança no trabalho, aumentando a motivação da mão-de-obra e, conseqüentemente, criando um ambiente mais propício à melhoria da qualidade e produtividade;

f) o emprego de determinados equipamentos torna possível o estabelecimento de um ritmo de produção que dificilmente poderia ser atingido pelo processo tradicional;

g) alguns equipamentos possibilitam aumentar a escala de produção e a diversidade de obras por parte das empresas de construção.

#### 2.2.4. Tendências de mecanização da construção no Brasil

A mecanização da construção no Brasil teve seu crescimento maior na década de 70, quando o Banco Nacional da Habitação reorientou sua política habitacional para as faixas de baixa renda, através da construção de grandes conjuntos habitacionais. Esta reorientação levou a indústria da construção civil a buscar novas tecnologias e maior taxa de mecanização do processo construtivo, na busca de diminuição dos prazos e custos.

À medida que a política governamental desmantelou o Sistema Financeiro de Habitação, houve uma retração no uso das novas tecnologias por parte das empresas construtoras, tornando as inovações tecnológicas pontuais e localizadas. É neste quadro que aparecem os sinais de estabelecimento de novas estratégias empresariais, orientadas para minimização de custos e maximização de qualidade e produtividade através de racionalização (FARAH, 1988).

Quanto às técnicas de execução, a produção de edificações no Brasil têm apresentado pouca evolução de um modo geral. SILVA (1991) ressalta a baixa incidência do emprego de equipamentos na construção, tanto na execução de operações propriamente ditas, quanto nas atividades de apoio, como o transporte em obra, e também a falta de adequação de instrumentos e ferramentas de trabalho. As exceções à essas constatações, em alguns casos, são: o emprego de guias, guindastes e equipamentos de bombeamento de concreto em obras verticais, o desenvolvimento de equipamentos apropriados de produção de concreto e argamassa (betoneiras e argamasseiras com dosadores de água), o emprego de equipamentos de aplicação de argamassa em revestimentos, o desenvolvimento de equipamentos e ferramentas adequados como carrinhos para transporte de materiais.

Diferentemente da industrialização, a racionalização não envolve grandes investimentos em equipamentos, mas procura encontrar soluções práticas e relativamente baratas. HEINECK (1995) e SCARDOELLI (1994) sistematizaram as melhorias desenvolvidas por algumas empresas construtoras na busca por melhor produtividade e qualidade no processo de produção. No que tange ao uso de equipamentos para movimentação de materiais no canteiro da obra, as melhorias citadas por aqueles autores são:

- a) retro-escavadeira com múltiplos usos em obra: escavação, transporte de materiais, içamento de cargas, etc.;
- b) dumper em obras espalhadas;
- c) tubo de descarga de lixo desmontável;

- d) carrinho de mão adequadamente redimensionado, com caçamba regular para transporte de componentes na construção;
- e) carrinho porta-*pallet*;
- f) carrinho de mão com estrado reto;
- g) girica com três rodas;
- h) gaiola para transporte de tijolos pela grua;
- i) guincho de coluna adaptado em torres metálicas para transporte de materiais em pequenas quantidades;
- j) masseiras em caixa plástica, metálica ou de pneus;
- l) carrinho com rodas para colocação de masseiras;
- m) misturador de argamassa nos pavimentos;

Pode-se observar que a maioria dos equipamentos empregados reduz esforço físico, mas não altera significadamente a organização do trabalho. Por exemplo, não reduz a necessidade de mão-de-obra qualificada.

No estudo de SCARDOELLI (1994) observou-se também a ocorrência de vários equipamentos leves, desenvolvidos nas próprias oficinas de empresas de construção, indicando um relativo subdesenvolvimento do setor produtor de equipamentos, se comparado a outros países.

### **2.2.5. Manutenção de máquinas e equipamentos**

O uso das máquinas é muito importante para aumentar a produtividade, mas muito importante também é considerar as conseqüências de suas quebras. Uma avaria em grua, elevador de obra ou betoneira pode prejudicar seriamente o ritmo do trabalho.

A conservação das máquinas é o conjunto de operações aplicadas sistematicamente para manter as máquinas em condições de funcionamento eficiente, com disponibilidade máxima e custos mínimos. Parte da conservação das máquinas é a manutenção delas, que pode ser dividida em:

- a) manutenção corretiva, quando o conserto é feito depois do aparecimento da avaria;
- b) manutenção preventiva, que inclui procedimentos de prevenção das avarias como lubrificação e inspeções periódicas;

c) manutenção preditiva, quando algumas peças são trocadas no fim da sua vida útil.

Existe, nos últimos anos, uma nova visão sobre a manutenção preventiva. Segundo NAKAJIMA (1988), o equipamento lentamente se deteriora com o tempo, e panes ocorrem com o desenvolvimento da fadiga. Por isso, como comenta HARMON (1993), melhorar a qualidade da manutenção preventiva não garante a redução da frequência das panes, ainda que resulte em melhorias. A alternativa é uma restauração bem planejada e de uma só vez da máquina. Isso significa reformar completamente a máquina e substituir todas as peças sujeitas à deterioração, independentemente de seu grau de deterioração. Não há evidências de que este tipo de procedimento seja aplicado em empresas de construção no Brasil.

Outra alternativa, que se aplica melhor nas condições específicas da construção é a filosofia de produção TPM (*Total Productive Maintenance*), proposta por NAKAJIMA (1988), que implica em uma manutenção espontânea e de baixo custo, na qual os operadores de equipamentos realizam a sua própria manutenção preventiva, nos tempos ociosos. Orientados pelos especialistas em manutenção, os operadores podem rapidamente aprender a realizar tarefas de reparo simples e rotineiras, em vez de permanecerem ociosos, esperando os especialistas em manutenção.

Um operário adequadamente treinado tem condições de realizar pequenos ajustes, sendo habilitado a identificar defeitos ou problemas e a manter sua máquina limpa e bem lubrificada. Para as operações de conservação e lubrificação é necessário que as máquinas estejam limpas, para poderem ser bem observadas no que tange a peças perdidas, desgaste, descoberta antecipada de problemas, etc.

A limpeza, que na indústria de construção é um problema, é uma questão cultural. Os efeitos da limpeza podem ser físicos ou psicológicos. Como efeitos físicos podem ser considerados a descoberta antecipada de problemas, prevenção de desgaste das peças, aumento da vida útil do equipamento, prevenção de erros de operação. Os efeitos psicológicos estão relacionados a motivação dos operários, ao sentimento de cuidar bem das coisas e orgulho de trabalhar em uma empresa organizada. A limpeza na obra pode ser executada com lavadoras de alta pressão, com água fria ou quente ou de vapor e com adição ou não de detergentes.

Uma parte muito importante num sistema de manutenção é guardar registros. Se cada máquina possui um histórico, mencionando tempos realmente trabalhados, reparos, consumo de combustível, lubrificantes, etc., é possível controlar o custo dessa máquina e prever seu comportamento. HARMON (1993) descreve algumas novas técnicas de identificação de máquinas defeituosas, como “cerejeira em flor” - um exemplo de visibilidade rápida e de baixo custo, usada em fábricas japonesas. A cada vez que uma

máquina quebra, ela é carimbada com uma mancha rosa, grande e brilhante. Como quase todas as máquinas são de cor verde (no caso do exemplo), as mais problemáticas logo se assemelham a cerejeiras em flor e podem ser destacadas com facilidade. Através de uma tinta brilhante podem ser destacados também os pontos de lubrificação e outros componentes, sujeitos à inspeção e manutenção preventiva.

A gestão de estoque de peças de reposição tem como finalidade assegurar peças em tipo e quantidade suficientes para a adequada conservação e conserto das máquinas e fixar os parâmetros que permitem o reaproveitamento e controle de peças existentes com custo mínimo. As grandes empresas construtoras têm facilidade de suplementar uma manutenção para suas máquinas e fazer inspeções regulares. No caso das pequenas empresas, que possuem alguns equipamentos, mas não têm um departamento específico, estas poderiam estabelecer um contrato com empresas especializadas para manutenção e reparos das máquinas.

Os equipamentos que permanecem inativos por longo período de tempo devem ser conservados cuidadosamente, o que em muitos casos não se faz. Uma falta de conservação pode implicar a necessidade de efetuar consertos caros quando se quer voltar a utilizar uma máquina.

Enfim, uma boa conservação das máquinas, inspeções frequentes e cuidadosas, reposição imediata das peças desgastadas e defeituosas, constituem excelentes meios de elevar a produtividade e prevenir a ocorrência de acidentes.

## **2.3. PLANEJAMENTO DA UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS**

### **2.3.1. Estratégia de seleção dos equipamentos**

A consideração da necessidade de equipamentos em uma obra deve começar nas fases iniciais do empreendimento. Por isso, é necessário obter conhecimentos sobre equipamentos disponíveis, sua aplicação, desempenho e custos fixos e operacionais (VALLINGS, 1976).

A informação sobre máquinas disponíveis no mercado pode ser recebida na empresa construtora através de:

- a) revistas especializadas;
- b) representantes dos fornecedores, encarregados de visitar as empresas construtoras;
- c) demonstrações das máquinas para uma ou mais empresas construtoras;
- d) exposições técnicas.

Segundo LINGER (1973), uma vez conhecido o mercado, a escolha é orientada em geral pelos seguintes critérios:

- a) robustez: uma máquina complexa está sujeita, em geral, a avarias mais frequentes e mais difíceis de consertar do que uma máquina simples;
- b) durabilidade: pode ser avaliada em horas de funcionamento possíveis sem grandes consertos. Evidentemente uma máquina se amortizará mais facilmente e criará maiores benefícios quanto maior sua utilização em boas condições de funcionamento;
- c) flexibilidade de utilização: é preferível escolher uma máquina de maior flexibilidade que pode trabalhar praticamente em todas as obras, qualquer que sejam as condições particulares de execução;
- d) qualidade: deve-se considerar os atributos próprios da máquina como motor, rendimento, facilidade de manobrar e conduzir, economia de funcionamento, etc.;
- e) preço: em igualdade de qualidade de serviço, naturalmente será escolhida a máquina mais barata.

Sempre que possível, é desejável uma padronização dos equipamentos. Na prática, é difícil alcançar este objetivo, em função das flutuações relativas dos preços, que podem dificultar a avaliação das vantagens e das inovações introduzidas pelos fabricantes. A escolha de um equipamento não padronizado pode ser influenciado também por condições financeiras atrativas, ligadas a uma produção local. Às vezes, a escolha também é influenciada por considerações políticas ou protecionistas, obrigando o usuário comprar uma máquina de produção local, mesmo que não seja a mais adequada a suas necessidades (WORLD BANK, 1984).

O processo de escolha de equipamentos deve estar vinculado à estratégia de produção da empresa. De acordo com a meta e os objetivos da empresa de construir, por exemplo, com maior rapidez ou com menor custo, devem ser escolhidos os equipamentos adequados.

### **2.3.2. Fatores que afetam a seleção de equipamentos**

NUNNALLY(1977) considera importantes os seguintes fatores para a seleção dos equipamentos:

#### **1. Fatores básicos:**

- a) atividade: depende do processo específico a ser executado e da quantidade de unidades a serem processadas por unidade de tempo. Pode-se ter diferentes alternativas,

tais como uma máquina com alta capacidade ou maior número de equipamentos com capacidade menor, trabalhando juntos;

b) equipamento disponível: a escolha pode ser limitada pelo capital disponível, tempo necessário para fornecimento do equipamento, serviços de manutenção disponíveis, etc.;

c) materiais: deve-se considerar o tipo, dimensão e a quantidade dos materiais a serem processados;

d) fluxo de materiais: usando análise metodológica (ver item 2.3.3) e a técnica de diagramas de fluxo, determinar a quantidade, tipo e dimensão do equipamento necessário.

## 2. Fatores ligados com as particularidades do canteiro da obra:

a) localização dos materiais e componentes e meio de transporte até o local da obra;

b) localização das entradas e saídas no canteiro: quando possível, deve-se escolher uma posição do equipamento que minimize os requisitos de transporte dos materiais e componentes;

c) terreno: as características do terreno vão afetar o custo da montagem e desmontagem do equipamento, como também seu serviço;

d) vias de acesso e vias internas: os equipamentos devem ser acessíveis para entrega de materiais e componentes;

e) suprimentos: a disponibilidade de água, eletricidade, combustíveis, etc. também afeta o tipo de equipamento possível a ser empregado.

## 3. Fatores ligados com a posição do equipamento no canteiro:

a) drenagem: uma falta de drenagem adequada pode prejudicar o funcionamento do equipamento;

b) armazenagem: espaço e local adequados devem ser providenciados para armazenamento de materiais;

c) facilidades de suporte: infra-estrutura de suporte para o pessoal e para os equipamentos deve ser assegurada;

d) tráfego: o fluxo de tráfego no canteiro e as velocidades permitidas devem ser considerados.

### **2.3.3. Processo de planejamento dos equipamentos**

#### **2.3.3.1. Abordagem sistêmica**

A tendência natural na tarefa de escolha do equipamento na construção, freqüentemente é utilizar o equipamento disponível na empresa ou a maneira de operação já usada com sucesso numa outra obra. É possível que esta atitude conduza a resultados satisfatórios, mas em muitos casos melhores resultados podem ser obtidos usando técnicas de planejamento de equipamentos. Um alto investimento em equipamento maior ou mais produtivo poderia produzir maior retorno do investimento, quando aplicado um planejamento cuidadoso.

No processo de planejamento de uma atividade na construção, todos os equipamentos ocupados na execução desta atividade devem ser analisados sob um enfoque sistêmico.

Segundo RAMO (em BONIN, 1987), a abordagem sistêmica é uma técnica para a aplicação de um enfoque científico na solução de problemas complexos, concentrando-se na análise do problema como um todo, observando-o sob todos aspectos relevantes e considerando todas as suas variáveis.

BONIN (1987) define dois tipos de modelos, utilizados na abordagem sistêmica: modelo esquemático e modelo dinâmico. O modelo esquemático é um diagrama bidimensional, onde são mostrados os subsistemas constituintes de um sistema mais amplo e suas relações. O objetivo deste modelo é descrever qualitativa e quantitativamente as relações significativas entre os subsistemas. O modelo dinâmico permite a observação de processos em desenvolvimento. Os elementos básicos do modelo dinâmico são: entrada, processo e saída.

No presente trabalho foi adotada a abordagem sistêmica, buscando apresentar os equipamentos utilizados numa obra como um sistema. Foram identificados subsistemas de equipamentos para preparação, movimentação e aplicação de materiais e componentes, para acabamento e limpeza. O subsistema de equipamentos para movimentação de materiais e componentes foi analisado em maiores detalhes, buscando vários aspectos de relações entre os participantes do processo.

LICHTENSTEIN (1987) desenvolveu um modelo de seleção do sistema de transporte de materiais na construção de edificações, considerando várias alternativas de movimentação com equipamentos diferentes e avaliando o processo como um todo. Este modelo foi um dos elementos nos quais foi baseado o presente estudo.

Os dois tipos de modelos da abordagem sistêmica da produção de edificações, identificados por BONIN (1987), estão presentes também no processo de escolha de equipamentos na construção de edificações:

a) modelo esquemático: considerando o conjunto de diversos componentes (equipamentos), elaborados para funcionar como um sistema;

b) modelo dinâmico: referindo-se às processos realizados para produzir a edificação, concentrando atenção sobre as relações presentes no processo de movimentação de materiais.

### **2.3.3.2. Abordagem metodológica**

A abordagem metodológica é uma outra forma de análise no processo de planejamento dos equipamentos.

Na indústria manufatureira o uso de análise metodológica vem sendo empregada desde o início do século. Embora na indústria da construção a análise metodológica ainda não seja adotada plenamente, alguns exemplos indicam que esta abordagem poderia ser aplicada com sucesso.

Segundo KRICK (1967), a engenharia de métodos preocupa-se com a integração do ser humano dentro do processo de produção. A tarefa consiste em decidir onde se encaixa o ser humano no processo de converter matérias-primas em produto terminado e como o homem pode desempenhar efetivamente suas tarefas.

A palavra método significa o modo de ordenar a ação segundo certos princípios. Análise metodológica no processo de planejamento de equipamentos constitui-se em analisar a tarefa e seu desempenho de forma a minimizar o tempo e o esforço para a execução da mesma (BURBIDGE, 1983).

As ferramentas usadas na execução de análise metodológica, são: diagramas de fluxo, diagramas de processo, cartas de mão de obra e desenhos com *layout* das máquinas e instalações no canteiro (NUNNALLY, 1977). Várias observações e medições dos tempos e movimentos das máquinas e dos operários são necessárias para a aplicação destas ferramentas.

No presente trabalho a abordagem metodológica foi aplicada para elaboração dos valores dos tempos e custos dos diferentes métodos para movimentação de materiais, quando o protótipo foi testado em condições reais (capítulo 6 da dissertação).

## 2.4. ECONOMIA DE EQUIPAMENTOS

### 2.4.1. Formas de aquisição dos equipamentos

Diferentes são as formas de aquisição dos equipamentos - eles podem ser comprados diretamente (com capital próprio ou de agentes financeiros), adquiridos através de *leasing* (arrendamento mercantil) ou alugados.

Capitais próprios são aqueles colocados à disposição da empresa a longo prazo pelos sócios ou acionistas, devendo os mesmos valorizarem-se à medida que a empresa gera lucros. Já os capitais de terceiros são aqueles fundos obtidos através de empréstimos ou créditos de terceiros, que exigem reembolso em datas específicas (normalmente a curto prazo), acrescidos da remuneração pactuada (custos financeiros).

Os capitais próprios também geram um tipo de custo financeiro, chamado custo de oportunidade, que pode ser definido como a maior remuneração alternativa de um capital. Em outras palavras, o capital próprio da empresa se não estivesse sendo aplicado dentro dela (em estoque de materiais de construção, equipamento, etc.), poderia estar investido num ativo financeiro (CDB, Caderneta de Poupança, etc.), rendendo juros e correção monetária. Neste caso é justo que, investido na empresa, renda pelo menos um retorno igual. (BALARINE, 1990)

Em certos casos pode ser mais interessante alugar uma máquina. Às vezes a empresa tem necessidade de uma máquina muito específica para determinada obra, sem poder assegurar um uso posterior. Neste caso o aluguel pode ser o mais conveniente.

As máquinas podem ser alugadas das empresas especializadas em locação, ou de empresas de construção que, dispondo as máquinas para próprio uso, não estão utilizando-as no momento.

As máquinas alugadas não são novas na maioria dos casos. É preciso examiná-las antes de acertar o contrato de aluguel. Por este motivo é muito conveniente o aluguel da máquina incluir a sua operação e manutenção. No caso de aluguel, o usuário talvez não tenha interesse de cuidar do equipamento, o que pode trazer uma rápida deterioração.

Um modelo de contrato de aluguel que é freqüentemente usado é na forma de subcontratação. Neste caso, o fornecedor aluga o equipamento junto com o operador, assegurando combustível, lubrificantes e serviço.

O contrato tipo *leasing* iniciou-se nos Estados Unidos no início dos anos sessenta. Este é um contrato de arrendamento com prazo fixo de 18 a 48 meses, com financiamento completo, pequeno desembolso inicial - em torno de 5% - e desembolsos mensais relativamente maiores do que aluguel. Normalmente inclui uma possível compra do equipamento no fim do prazo, no valor residual do equipamento, o que implica maior preocupação com a conservação do mesmo (LINGER, 1976). No Brasil, uma das

principais vantagens do leasing é a característica de, através desse tipo de operação, 100% do valor do equipamento ser financiado.

#### **2.4.2. Métodos de análise de investimentos**

Existem inúmeros métodos de análise de viabilidade econômica e financeira. apresentados na farta bibliografia disponível sobre engenharia econômica, tais como HIRSCHFELD (1979) e EHRILCH (1979). Alguns são métodos de análise econômica (método de valor presente, método do valor atual, método do valor futuro, método do benefício-custo e método da taxa interna de retorno), enquanto outros de análise financeira (método da vida de retorno do investimento e método do período de retorno do capital).

Não é objetivo deste trabalho descrever e comparar tais métodos. Em geral, num estudo de viabilidade, vários destes métodos são aplicados simultaneamente.

A rigor, sempre que possível, os custos de equipamentos devem ser estimados a partir da elaboração de um fluxo de caixa, no qual são considerados os diferentes itens, nos períodos nos quais os mesmos efetivamente incidem. BALARINE (1990) apresenta um exemplo de cálculo comparativo, através dos fluxos de caixa diferenciados, aplicado na escolha do método de aquisição de equipamento na construção, comparando as opções de compra com recursos próprios, financiamento a prazo e *leasing*.

#### **2.4.3. Componentes do custo de equipamentos**

Segundo BALARINE (1990), os custos dos equipamentos assumem três formas de incidência:

a) custos fixos: são aqueles custos de capital (custos financeiros) e de depreciação do equipamento (custos efetivos e contábeis);

b) custos de operação: são custos decorrentes da utilização e manutenção do equipamento;

c) custos de mobilização e desmobilização: incidem em função da distância da obra, natureza e porte do equipamento (transporte, instalação e remoção).

Os custos fixos incluem:

a) investimento inicial: para compra ou aluguel do equipamento;

b) seguro: custo com seguros contra acidentes do equipamento;

c) juros do capital investido: dependem da origem dos recursos destinados a aquisição do equipamento, capital próprio ou de terceiros;

d) armazenamento: custo com lugar, estabelecimento, meios e pessoal de segurança quando o equipamento não está em funcionamento;

e) depreciação: a perda de valor de um equipamento ocorrida ao longo de sua vida útil. Pode ser calculada pelos diferentes métodos, tais como o método da linha reta, método da soma dos dígitos, método da taxa de depreciação constante ou método de capitalização, descritas por NUNNALLY(1977).

Os custos de operação incluem:

a) consumos: itens relacionados com o consumo de energia elétrica, combustível, lubrificantes, graxas, filtros, etc.;

b) manutenção: variam segundo a natureza do equipamento, podendo referir-se a ajustes, revisões gerais, reformas, reposição de peças, mão-de-obra de oficina, etc.;

c) mão-de-obra: custos com os operadores dos equipamentos. Alguns equipamentos necessitam de mão-de-obra altamente especializada, pela sofisticação ou pelo risco de acidentes que oferecem;

Os custos de mobilização e desmobilização são aqueles, referentes ao transporte do equipamento até o local de uso, sua instalação e sua remoção da obra.

Os custos de aquisição caracterizam-se por incidirem independente do equipamento estar parado. Já os custos de operação guardam proporcionalidade com o número de horas trabalhadas. Quanto aos custos de mobilização e desmobilização, ocorrem apenas uma vez ao longo da obra (BALARINE, 1990).

Para estimar o custo de um equipamento na execução de um determinado serviço, é necessário estimar a vida útil do mesmo, assim como conhecer os tipos de custos incluídos e o momento em que estes ocorrem. A avaliação dos custos, segundo OLIVEIRA et al. (1994), pode ser dividida nas etapas seguintes:

a) estimar a vida útil do equipamento;

b) verificar as taxas de juros praticadas no mercado;

c) conhecer os serviços de manutenção necessários para cada tipo de equipamento;

d) relacionar todos os tipos de custos de operação.

Depois de calculado o custo horário das máquinas, o custo por item de produção pode ser encontrado dividindo o custo horário do equipamento por quantidade manipulada por uma hora.

## **2.4.4. Cálculo do custo dos equipamentos**

### **2.4.4.1. Formas simplificadas de cálculo do custo**

Existem formas simplificadas para estimar os custos dos equipamentos, tais como incluí-los como uma taxa adicional no item benefícios e despesas indiretas (BDI) dos orçamentos, ou adotar uma taxa igual para qualquer equipamento, por exemplo, 5% do valor original do equipamento a cada mês. A adoção de uma taxa fixa e igual para todas as situações é uma aproximação muito grosseira, pois os equipamentos possuem componentes de custo que incidem de diferentes maneiras e somente o conhecimento dos custos reais do equipamento permite justificar a mudança de métodos construtivos (OLIVEIRA et al., 1994).

O método de cálculo do custo horário dos equipamentos, disponíveis nas tabelas de composição de custo, também são relativamente aproximados. Nas Tabelas de composições de preços para orçamentos (TCPO, 1992) os custos de capital, a depreciação e o custo de manutenção, são considerados proporcionais ao tempo que o equipamento fica à disposição da obra, enquanto itens como combustíveis, energia, graxas, filtros e pneus são considerados proporcionais às horas efetivamente trabalhadas.

Os serviços de manutenção anuais são estimados como uma porcentagem do preço de compra do equipamento, sendo adotado 12% para equipamentos fixos, 15% para equipamentos sobre pneus e 18% para equipamentos sobre esteiras (TCPO, 1992).

### **2.4.4.2. Cálculo da depreciação pelo método da linha reta**

Existem vários métodos para prever a depreciação (queda do valor) dos equipamentos. Um dos mais simples é o método da linha reta que pressupõe uma depreciação uniforme dos equipamentos ao longo da sua vida útil. Para calcular a depreciação pelo método da linha reta é necessário conhecer a vida útil de cada equipamento e o valor residual dele. A vida útil de um equipamento pode ser estabelecida a partir de três diferentes critérios:

- a) sua vida física: período em que o equipamento mantém sua capacidade produtiva;
- b) vida tecnológica: período em que o equipamento não atinge a obsolescência até a chegada de uma tecnologia mais avançada, sendo geralmente mais curta que a vida física;
- c) vida comercial: período em que ele possui valor de troca, normalmente a mais curta.

O valor residual de um equipamento é seu valor no fim da sua vida útil.

O quadro 2.1 mostra os valores usuais para valor residual e vida útil dos veículos, equipamentos (em geral) e edifícios.

Quadro 2.1 Valor residual e vida útil dos veículos, equipamentos e edifícios

item	valor residual (% do preço inicial)	vida útil (anos)
veículos	20%	5
equipamentos (em geral)	10%	10
edifícios	4%	25

Fonte: HIRSCHFELD, 1979.

Uma estimativa do valor da vida útil para vários equipamentos, usados na construção é apresentada no quadro 2.2.

A depreciação anual de um equipamento, usando o método de linha reta pode ser calculada pela fórmula:

$$D_{\text{anual}} = \frac{CA - VR}{VU} \quad [\text{R\$/ano}], \text{ onde:} \quad (2.1)$$

$D_{\text{anual}}$  - depreciação anual de um equipamento [R\$/ano];

CA - Custo aquisição do equipamento [R\$];

VR - Valor residual do equipamento [R\$];

VU - Vida útil do equipamento [anos].

A depreciação horária pode ser encontrada, dividindo a depreciação anual por número de horas trabalhadas por ano, que normalmente é considerado 2000 horas. Então:

$$D_{\text{horária}} = \frac{D_{\text{anual}}}{2000} \quad [\text{R\$/h}], \text{ onde:} \quad (2.2)$$

$D_{\text{horária}}$  - depreciação do equipamento por uma hora;

$D_{\text{anual}}$  - depreciação do equipamento por um ano.

Quadro 2.2 Vida útil estimada dos diferentes equipamentos

<b>equipamento</b>	<b>vida útil (horas)</b>
acabadora de superfície	4500
betoneira	5000
bomba de argamassa	8000
bomba de concreto	8000
bomba de injeção de cimento	3000
caminhão betoneira	10000
caminhão carroceria de madeira	10000
compressor de ar	10000
dumper	6000
elevador	10000
ferramentas elétricas	3000
guincho	10000
guindaste	10000
máquina de cortar ferro	4500
máquina de dobrar ferro	4500
máquina para jateamento de areia	4500
misturador de argamassa	4500
placa vibratória	10000
régua vibratória	3000
rompedor de concreto	3000
serra circular	3000
talha manual	10000
vibrador de imersão	4500

Fonte: HIRSCHFELD, 1979.

#### 2.4.5. Custo do método de execução

Para comparar métodos diferentes de execução de dada tarefa, além do custo horário do equipamento, é necessário considerar também todos os trabalhos temporários adicionais como vias de acesso, base (dos elevadores ou guias), estaiamento, etc.

Para a aplicação deste procedimento é necessário, em geral, realizar um estudo de tempos e movimentos (*Work study*)(ver item 4.5.4).

Um dos pioneiros na utilização de estudos de tempos e movimentos foi Gilbreth, que em 1905 mostrou como um novo projeto de andaime com elevação progressiva pode aumentar a produtividade na execução da alvenaria (VALLINGS, 1976).

VALLINGS (1976) descreve um exemplo de estudo de tempos e movimentos aplicado na comparação dos diferentes métodos de execução de uma dada tarefa na construção, incluindo diferentes equipamentos. O autor destaca que, para comparar o desempenho de duas máquinas diferentes, cada máquina tem que ser usada em condições similares e o operário tem que trabalhar com mesmo nível de esforço. Observando as máquinas no processo de trabalho, o engenheiro da obra pode determinar o número de operários necessários para execução eficiente de uma tarefa e quando o operário necessita de esforço ou tempo adicional para completar o trabalho. Para comparar diferentes métodos de execução de uma tarefa, esta tem que ser desdobrada em operações individuais.

No estudo acima referido é citado um exemplo de movimentação de tijolos numa obra, usando três maneiras diferentes de organizar este serviço. O serviço é dividido em operações, é anotado o número dos operários que executam as tarefas e é medido o tempo necessário para a execução de cada operação. A comparação dos três métodos é feita na base da quantidade de homens-hora usados na execução da tarefa.

É importante ressaltar que as máquinas e equipes não trabalham com a velocidade máxima ao longo da execução do trabalho. Comparando o desempenho das máquinas e diferentes equipes, tem que ser considerado o tempo de preparação do lugar do trabalho e da máquina, como também o tempo de finalização - limpeza e recolhimento das máquinas e ferramentas.

As condições nas quais é executada a comparação por estudos de tempos e movimentos devem ser anotadas e consideradas assim. Quando uma troca das condições acontece, coeficientes redutores podem ser usados. Aplicar o estudo de tempos e movimentos na área de construção não é uma tarefa fácil, por causa da grande diversidade, variabilidade e incerteza existentes nas obras.

ILLINGWORTH(1993) descreve em detalhe o método de comparação, considerando inclusive casos cujos métodos de execução utilizam diferentes máquinas. Isso se torna possível definindo um coeficiente redutor entre o custo horário de cada máquina e o custo horário da mão de obra. Este método é adotado no modelo de conhecimento, apresentado no Capítulo 4.

## **2.5. INFORMÁTICA EM APOIO NO TRABALHO COM EQUIPAMENTOS**

### **2.5.1. A Informática como instrumento gerencial**

O processo de informatizar é a promoção da racionalização e automação dos processos, ou seja, é a transferência de tarefas manuais para equipamentos eletrônicos que manipulam e disseminam a informação (CAMPOS et al., 1995).

Existe a expectativa de que, nos próximos anos, a tecnologia da Informática vá ocupar um papel cada vez mais importante para aumentar a eficiência e a produtividade das empresas construtoras (ALSHAWI & AOUAD, 1993).

A Informática já ocupa um lugar definitivo entre as empresas e nenhuma delas pode escapar dos seus efeitos. É notável uma dramática redução do custo de obtenção, processamento e transmissão da informação. Segundo PORTER & MILLAR (1985), o uso da Informática afeta a competição entre as empresas de três maneiras:

- a) altera as regras da competição;
- b) cria vantagem competitiva, oferecendo para as empresas novos caminhos de ultrapassar seus concorrentes;
- c) cria em grande quantidade novos tipos de negócios, na base de atividades existentes na empresa.

A indústria de construção é altamente dependente da coleta e apresentação da informação de maneira mais útil e lógica. No entanto, é difícil de ser estimada a quantidade de informação envolvida em cada projeto. Dentro de uma empresa de construção, vários tipos de informação são necessários para várias pessoas, de forma diferente e em várias etapas do projeto (ALSHAWI & AOUAD, 1993).

O uso da informação, em um ambiente dinâmico como o de uma construção, não pode ser feito efetivamente através de manuais. ALSHAWI & AOUAD (1993) consideram necessário que a informação seja administrada eletronicamente. Só desta maneira pode ser obtida, sumarizada, analisada, apresentada e transferida em quaisquer níveis de detalhes requeridos, com mínimo esforço. Esta automação poderia prover as organizações com importantes fontes de informação.

As atuais aplicações computacionais ajudam alguns especialistas a executar suas tarefas, que são partes individuais de todo o processo produtivo. Espera-se que as aplicações no futuro ajudarão aos especialistas a consolidar o trabalho das aplicações parciais como um todo. As empresas de construção afastar-se-ão de investimentos parciais em várias tecnologias de informática e partirão para estratégias bem planejadas ALSHAWI & AOUAD (1993).

Na opinião de MACOMBER (1989), as empresas devem começar um planejamento estratégico para a integração das novas aplicações computacionais. Algumas tecnologias computacionais orientadas para o processo de desenvolvimento integrado, segundo MACOMBER (1989), são:

- a) bancos de dados compartilhados;
- b) sistemas e ambientes integrados;

c) sistemas baseados em conhecimento (sistemas especialistas);

d) novas tecnologias para apresentação: imagens digitalizadas, imagens tridimensionais (3D), etc.

Segundo (CAMPOS et al., 1995), a informatização permite racionalizar processos, valorizar e profissionalizar a mão-de-obra, melhorar a qualidade do serviço, reduzir níveis gerenciais e promover um incremento da competitividade no mercado.

As principais razões para informatizar a empresa são aumentar a produtividade e a competitividade, incrementar a eficiência, garantir a satisfação do cliente, reduzir os custos administrativos e custos de produção e criar a possibilidade de diversificar serviços (CAMPOS et al., 1995).

Na opinião de BALARINE (1990), a informática constitui-se numa poderosa vantagem competitiva ao afetar relações entre clientes e empresa em dois sentidos: (a) pela indução ao desenvolvimento de novos produtos, ou aprimoramento de produtos já existentes, aumentando a qualidade das atividades; e (b) pelo aprimoramento no desempenho das tarefas gerenciais, através do uso de Sistemas de Informações Gerenciais (SIG) e Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), deslocando os dirigentes de tarefas burocráticas para as estratégicas. Enquanto os SIG centralizam-se na eficiência administrativa, fornecendo as informações necessárias à tomada da decisão, já os SAD convergem para o processo decisório em si, estruturando inter-relações provocadas pelos caminhos a escolher e permitindo antever o que as diversas alternativas de decisões poderão ocasionar nos aspectos cobertos pelo modelo.

### **2.5.2. Funções da Informática em apoio às atividades que incluem equipamentos de construção**

Diversas são as funções que a informática poderia exercer em apoio ao trabalho com equipamentos na construção:

a) função informativa: abrange a capacidade do computador acumular a ampla variedade de informações sobre os diversos equipamentos na construção, ordenada de modo a ser disponível imediatamente quando necessitada, no modo desejável. Além dos dados das máquinas, a função informativa pode incluir inventários de obras ou depósitos, situação de deslocamento de equipamentos na obra, máquinas disponíveis ou em conserto, etc.;

b) função de controle: controle de custos (faturamento, cargos das obras por faturamento das máquinas), controle de estoque das máquinas, controle de insumos, sistemas de manutenção (TAVARES, 1987);

c) para apoio à decisão: seleção do equipamento adequado, escolha da posição certa do equipamento, seleção do método de execução de dada tarefa, etc.;

d) para planejamento: através de simulação computacional é possível planejar o uso do equipamento adequado (NUNNALLY, 1977).

### **2.5.3. Formas de aplicação da Informática**

No trabalho com máquinas e equipamentos na construção a informática pode ser usada de formas variáveis, como:

a) bancos de dados - uma sistematização das diversas propriedades dos equipamentos, forma muito bem aplicável para a função informativa ;

b) programas computacionais convencionais - para tarefas que incluem geralmente números e cálculos;

c) sistemas especialistas - programas computacionais de Inteligência Artificial para tarefas simbólicas e de raciocínio;

d) sistemas híbridos - uma combinação das últimas duas.

No Capítulo 3, serão descritos, com mais detalhes, os sistemas especialistas, assim como suas aplicações na área de construção e as especificamente ligadas com equipamentos na construção de edificações.

## CAPÍTULO 3

### MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O presente capítulo discorre sobre sistemas especialistas e a metodologia de seu desenvolvimento. Este capítulo contém também o método proposto para o desenvolvimento do protótipo do sistema especialista EQUIPES.

#### 3.1. APRESENTAÇÃO DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS

##### 3.1.1. Descrição

Sistema especialista (SE) é um programa de computador que usa conhecimento especializado para alcançar alto nível de desempenho em problemas numa área delimitada. Estes programas tipicamente representam simbolicamente conhecimento, examinam e explicam seu processo de raciocínio para a solução de problemas de uma dada área, que requer um longo período de treinamento e de prática para ser dominada por seres humanos (WATERMAN, 1986).

Segundo WARSZAWSKI (1993), SE são programas computacionais que utilizam conhecimento especializado para auxiliar o usuário em um tipo de problema bem definido.

Alguns autores como HARMON & KING (1985) fazem distinção entre sistemas cognitivos e sistemas especialistas, definindo sistemas cognitivos como usados normalmente para resolver pequenos problemas difíceis que não requerem verdadeira experiência humana. Segundo os mesmos autores, os sistemas especialistas são programas de computador que têm desempenho quase ao nível de um especialista humano.

Os sistemas especialistas podem ser caracterizados comparando-os com os programas computacionais convencionais. Na estrutura de um programa convencional o conhecimento necessário na resolução de um problema é inserido em um algoritmo que controla sua aplicação. Em um SE o conhecimento é armazenado de forma explícita em uma base de conhecimento, sendo ali buscado através de uma estratégia de controle, chamada mecanismo (motor ou máquina) de inferência (HAYES-ROTH et al., 1983).

Os SE possuem várias vantagens frente aos sistemas computacionais convencionais. ORTOLANO & PERMAN (1987) apontam as principais delas:

a) existe uma separação entre os mecanismos de inferência e a base de conhecimento que tornam possível manipular o conhecimento presente na base, sem necessidade de alterar outras partes do programa;

b) o usuário pode interromper o programa durante o uso para saber os motivos pelos quais certas questões são colocadas ou as razões utilizadas pelo sistema para chegar às conclusões.

Segundo BASDEN et al.(1983), os SE têm também como vantagens:

a) são mais facilmente aceitos não só por especialistas em programação computacional, mas também por usuários finais, que os consideram mais próximos da vida real;

b) possuem certa flexibilidade de expressão, pois podem armazenar não só conhecimento científico, mas também a experiência de especialistas, obtida ao longo de muitos anos de trabalho;

c) o processamento das informações da maioria dos SE é similar ao pensamento humano, no nível de regras e fatos, objetos e suas interligações, que são simples, atrativos e fáceis de entender.

WARSAWSKI (1993) lista mais duas vantagens :

a) SE são capazes de produzir resultados mesmo em situações nas quais alguns dados são desconhecidos pelo usuário. Nestes casos o sistema pode oferecer dados próprios que geralmente podem ser revisados, modificados e aceitos ou não pelo usuário;

b) os dados pertinentes a sua área de domínio são organizados em estruturas especiais que facilitam seu armazenamento e manipulação pelo usuário, podendo ser modificados no decorrer da consulta.

Foram mencionadas as vantagens dos SE, mas obviamente existem limites em sua aplicação. Segundo HARMON & KING (1985), o uso dos SE pode ser não eficaz nas seguintes situações :

a) quando o problema é muito simples (menos de dez regras), desde que o perito humano possa lidar com ele adequadamente;

b) quando o problema é muito complexo (mais de dez mil regras), o tempo de construção e busca de informações torna-se muito longo e o *hardware* existente tem dificuldade de processá-las;

c) problemas que não necessitam de uma aplicação nos SE, como por exemplo, as tarefas numéricas bem estruturadas.

BYRD (1992) identificou em uma pesquisa que a maioria dos projetos de SE não ultrapassaram a fase de protótipos. O autor atribui este fato a duas limitações dos SE, o seu elevadíssimo custo de desenvolvimento e o longo período de tempo necessário para desenvolvimento do sistema e para sua implementação no ambiente organizacional.

### 3.1.2. Sistemas Especialistas na construção

A tecnologia de SE tem o potencial de oferecer ferramentas práticas para tomar decisões técnicas e gerenciais rápidas e inteligentes. Na opinião de BYRD (1992), os SE estão beneficiando as organizações, ajudando as pessoas tomarem decisões mais consistentes, rápidas e corretas, na busca de vantagem competitiva.

Por causa das suas características, tais como combinar conhecimento fático com raciocínio, habilidade de captar informação incompleta, lidar com incerteza e comunicar-se com os usuários em linguagem parecida com a natural, os SE são especialmente aplicáveis no processo de construção (MOHAN, 1990). Esta aplicabilidade tem sido reconhecida pela comunidade acadêmica, resultando num elevado número de pesquisa na área.

A Construção, como subdisciplina da Engenharia Civil, chegou inclusive a estar a frente na investigação das possibilidades de aplicação da tecnologia de sistemas especialistas a Engenharia.

Segundo LEVITT (1987), os seguintes fatores implicam a necessidade de uso de SE na construção, na busca de maior qualidade e produtividade:

- a) o processo de construção é não-repetitivo. Cada empreendimento começa com novo projeto, *layout*, materiais, métodos construtivos, cronograma, gerenciamento e condições climáticas;
- b) cada empreendimento tem muita incerteza com respeito à mão-de-obra, produtividade de equipamentos, forças do mercado, disponibilidade de materiais, variações climáticas;
- c) não existe suficiente conhecimento formalizado, embutido em livros;
- d) em muitas situações, não existe tempo suficiente para avaliação detalhada de condições específicas e de todos os fatores que influenciam o processo;
- e) muitas decisões na construção exigem conhecimento heurístico;
- f) em geral, a informação necessária à tomada de decisões é incompleta;
- g) poucos profissionais na construção possuem conhecimento suficiente em ciência de computação, para usar e manusear programas computacionais convencionais;

h) o desenvolvimento de SE exige conhecimento especializado e o processo de construção exige a participação de diferentes especialistas, cuja disponibilidade pode ser pequena.

Na indústria de construção, segundo MOHAN (1990), já podem ser encontradas diversas aplicações nas áreas de avaliação da construtibilidade, *layout* das instalações temporárias, gerenciamento de contratos, seleção de equipamentos, diagnóstico e reparos, planejamento e programação, gerenciamento de materiais, preparação e aplicação de concreto, controle de qualidade, itens judiciais, etc.

MOHAN (1990) prevê duas principais tendências para uso de sistemas especialistas na construção no futuro. A primeira é que serão desenvolvidos, em breve, diversos sistemas especialistas pequenos, como também SE desenvolvidos e utilizados diretamente nas empresas construtoras. Grande número destes sistemas serão capazes de interagir com gráficos, bases de dados e programas convencionais. A segunda tendência é que o processo de desenvolvimento de SE na construção vai consolidar e documentar o conhecimento da área, que no momento está disperso entre indivíduos e fontes bibliográficas. O conhecimento consolidado pode provocar, no futuro, o desenvolvimento de SE mais amplos, provavelmente integrados com diversos programas externos.

### **3.1.3. Sistemas especialistas para seleção de equipamentos na construção**

Os sistemas especialistas e suas várias aplicações na área de construção são amplamente descritos na literatura ( MOHAN, 1990; MOSELHI et al., 1990; ALCASS, 1989; LEVITT, 1987).

Existem alguns sistemas especialistas, descritos na bibliografia, que são ligados especialmente ao processo de seleção de equipamentos. Na maioria dos casos, referem-se a equipamentos pesados, como:

a) seleção de equipamentos para escavação e movimentação de terra (FURUSAKA et al., 1984; ALCASS, 1989; CHRISTIAN et al., 1987; AMIRCHANIAN & BAKER, 1992);

b) seleção da grua apropriada para o canteiro da obra e escolha do lugar de sua montagem (GRAY & LITTLE, 1985; COLIN & JAMES, 1985; WIJESUNDERA & HARRIS, 1986);

c) seleção de equipamentos para transporte e aplicação de concreto (ALKASS, ARONIAN & MOSELHI, 1993).

Normalmente os sistemas descritos encontram-se em fase de desenvolvimento de protótipos. Na maioria dos casos, o sistema possui um banco de dados com os dados técnicos

e custos de um determinado número de equipamentos. O sistema pode aconselhar o possível usuário sobre o tipo adequado de equipamentos, seleção do modelo e número de máquinas necessárias, como também a combinação mais econômica dos equipamentos, dependendo das condições específicas no canteiro da obra.

Alguns autores, como ALKASS, ARONIAN, MOSELHI (1993), admitem que as potencialidades dos sistemas especialistas desenvolvidos para seleção de equipamentos são bastante restritas. No entanto, os resultados dos testes com usuários indicam que a implementação de sistemas especialistas fornece um método organizado de transferência do conhecimento e da perícia para os engenheiros civis mais novos e com pouca experiência.

### 3.1.4 Métodos de desenvolvimento

O desenvolvimento de um SE é diferente do desenvolvimento de um programa computacional convencional. O método de desenvolvimento de um SE em geral não pode ser previamente tão bem definido e dividido em passos, como no caso de um *software* convencional. Normalmente, um SE não pode ser considerado concluído, pois o conhecimento modelado poderia ser ampliado e aperfeiçoado repetitivamente (BASDEN et al., 1990).

Na área de sistemas de informação em muitas das metodologias propostas na literatura não é feita a distinção entre os aspectos de gerência de projeto e processo de desenvolvimento (WIELINGA, 1989). Na área de sistemas especialistas o desenvolvimento de um aplicativo ainda é realizado através de técnicas empíricas, abordagens “*ad hoc*” e processos de tentativa e erro (BORN, 1989).

Existem na literatura várias propostas de métodos para desenvolvimento de SE, cada uma delas variando muito em termos de escopo, ponto de vista e abordagem empregada. Tais propostas, no entanto, permitem o estabelecimento de um processo organizado de desenvolvimento de SE. A análise de algumas das metodologias de desenvolvimento de sistemas especialistas é apresentada por ANTUNES (1991).

A proposta de BONNET (1986) inclui a construção rápida de um demonstrador com finalidade de provar a viabilidade do projeto, a realização de um protótipo de teste, o desenvolvimento de um demonstrador avançado e, no fim, a operacionalização do produto final. A característica marcante, porém, é a atenção dada à inserção do SE em seu ambiente operacional.

GALLOÛIN (1988) sugere um método estruturado e detalhado, mostrando bastante preocupação com os aspectos de organização formal do desenvolvimento. Como em outras

propostas, enfatiza-se a construção de um protótipo inicial. Os aspectos a se ressaltar são a preocupação com as interfaces do sistema, desde o início do projeto e a participação de usuários no teste do sistema desde seus protótipos iniciais.

O método proposto pela IBM (1989) inclui uma etapa para representação externa do conhecimento adquirido, de forma independente daquela a ser usada na aplicação. Outros pontos interessantes na proposta são a busca de independência de realização entre as etapas, podendo até se fazer a distribuição dessas etapas por pessoas distintas e assim executar várias tarefas em paralelo, aproveitando o caracter cíclico do método. A proposta inclui também o conhecimento a respeito do usuário da aplicação como elemento básico a ser buscado como parte do próprio processo de aquisição de conhecimento.

BASDEN et. al. (1990) dividem o método de desenvolvimento de um sistema especialista em duas partes: o método do ciclo de vida do sistema, do ponto de vista do usuário do sistema, e o método de aquisição do conhecimento, do ponto de vista do engenheiro do conhecimento, que desenvolve o sistema. O ciclo de vida do SE é dividido em sete estágios - configuração geral do sistema, estrutura básica do sistema, sistema demonstrativo, sistema produzindo resultados, sistema sendo utilizado, sistema comercial, sistema produzindo benefícios regulares comprovados. Este processo engloba uma prototipagem repetitiva - desenvolvimento de protótipos com desempenho melhorado, até atingir o objetivo proposto.

Analisando as propostas, nota-se uma tendência de dispensar maior atenção às fases iniciais do processo de desenvolvimento. Muitas das propostas preocupam-se com a integração do sistema no ambiente organizacional.

Em todas as propostas, a característica fundamental é o desenvolvimento evolutivo e incremental do sistema especialista, sendo tal desenvolvimento auxiliado pelo processo de implementação de protótipos, desde o momento em que o conhecimento adquirido do domínio da aplicação o permita.

De outro lado, a idéia de prototipagem rápida é criticada por alguns autores, em razão de sua informalidade. Quando o conhecimento é codificado direto no computador, falta uma documentação clara e explícita do conhecimento embutido (WATSON et al., 1989). O conhecimento assim documentado poderia servir para posterior controle do sistema e para uma eventual re-implementação em outros ambientes computacionais, em novos sistemas (YOUNG, 1989).

Além das características comuns, podem ser destacadas algumas características específicas das propostas, como: a necessidade de uma fase de representação intermediária do conhecimento (ver item 3.3.7 da dissertação), utilizando um formalismo distinto da representação no computador (IBM, 1989); o tratamento de aspectos técnicos, como o uso

de ambientes de programação (*shells*) em HARMON & KING (1985); a identificação do papel do usuário ao longo do processo de desenvolvimento do sistema (GALLOÛTIN, 1988; IBM, 1989; BASDEN et. al., 1990). Notam-se, também, tentativas de diferenciação das metodologias em função das dimensões do sistema a ser desenvolvido - para pequenos e grandes sistemas cognitivos (HARMON & KING, 1985) e em função do porte da empresa - para empresas de pequeno e médio porte (BASDEN et. al., 1990).

### 3.1.5 Desenvolvimento através de prototipagem

Ao engenheiro do conhecimento a prática de prototipagem facilita uma melhor compreensão do problema e do domínio da aplicação, que não pode ser obtida somente da literatura de textos na área ou da observação passiva da execução de tarefas na área. Para o especialista, por sua vez, um protótipo funcionando, mesmo que incompleto, incorreto e/ou impreciso, facilita a compreensão do que se deseja desenvolver. De acordo com WEISS (1984), a existência de protótipos do sistema estimula o especialista em todo o processo de desenvolvimento, especialmente na fase inicial.

MARTIN (1995) descreve várias vantagens de desenvolvimento de uma aplicação através de protótipos, alguns dos quais são:

- a) possibilidade de testar o projeto nas fases iniciais;
- b) o protótipo oferece a possibilidade de comunicação;
- c) apresenta um trabalho inicial, que serve para treinamento e motivação dos participantes;
- d) estimula os usuários a participar do processo de desenvolvimento.

O mesmo autor (MARTIN, 1995) aponta possíveis desvantagens da prototipagem rápida:

- a) em vez de um projeto bem estruturado, pode ser gerado um projeto rápido, mas incerto;
- b) as expectativas do usuário podem tornar-se muito elevadas, podendo o mesmo achar que pode utilizar o sistema imediatamente;
- c) o usuário pode ser negligente na avaliação do protótipo e não identificar defeitos potenciais do sistema.

Existem duas possibilidades de evolução dos protótipos: evolução incremental (passo-a-passo) de um protótipo para outro, até que o objetivo do sistema seja alcançado; e evolução contínua, que prossegue com a seqüência contínua de modificações, até que o objetivo seja atingido.

O desenvolvimento do sistema EQUIPES foi efetuado através de prototipagem com evolução incremental, em dois estágios. A proposta de prototipagem rápida - implementação direta do conhecimento adquirido no ambiente computacional - foi descartada, em função das críticas de vários autores, sobre a informalidade desta técnica. Foi decidido executar, para as duas fases de protótipo, representações intermediárias, no papel, antes de implementar no computador o conhecimento adquirido.

## **3.2. MÉTODO PROPOSTO PARA DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EQUIPES**

### **3.2.1. Apresentação do método**

O método de desenvolvimento da aplicação proposto inclui três fases principais:

- a) fase de conceitualização;
- b) fase de construção paralela do banco de dados e do sistema EQUIPES;
- c) fase de testes e avaliação da aplicação.

Na fase de conceitualização é realizada uma avaliação preliminar do domínio escolhido, definindo os possíveis usuários da aplicação, as possíveis fontes de aquisição do conhecimento. Nesta fase, escolheu-se também a ferramenta computacional para o desenvolvimento do sistema.

O processo de desenvolvimento do banco de dados de equipamentos foi dividido em quatro estágios: (a) escolha do software, (b) coleta de dados, (c) implementação no computador e (d) refinamento do banco de dados;

A construção do sistema especialista EQUIPES, por sua vez, foi dividida em cinco estágios: (a) aquisição do conhecimento, (b) representação intermediária do conhecimento (no papel), (c) implementação do conhecimento no computador, (d) integração de facilidades de comunicação de dados (criação de interfaces) e (e) integração com dados e procedimentos externos. Não existe uma seqüência clara dos três primeiros estágios, mas existem algumas sobreposições dos mesmos, ocorrendo o desenvolvimento sob a forma de ciclos. O método prevê construção incremental de protótipos, até se chegar ao nível de desenvolvimento esperado.

A última e terceira fase consiste em testes do protótipo no fim do seu desenvolvimento e uma verificação e validação do conhecimento embutido e da implementação no computador, com objetivo de identificar as qualidades e limites da aplicação.

A Figura 3.1 apresenta graficamente o método proposto para o desenvolvimento da aplicação.

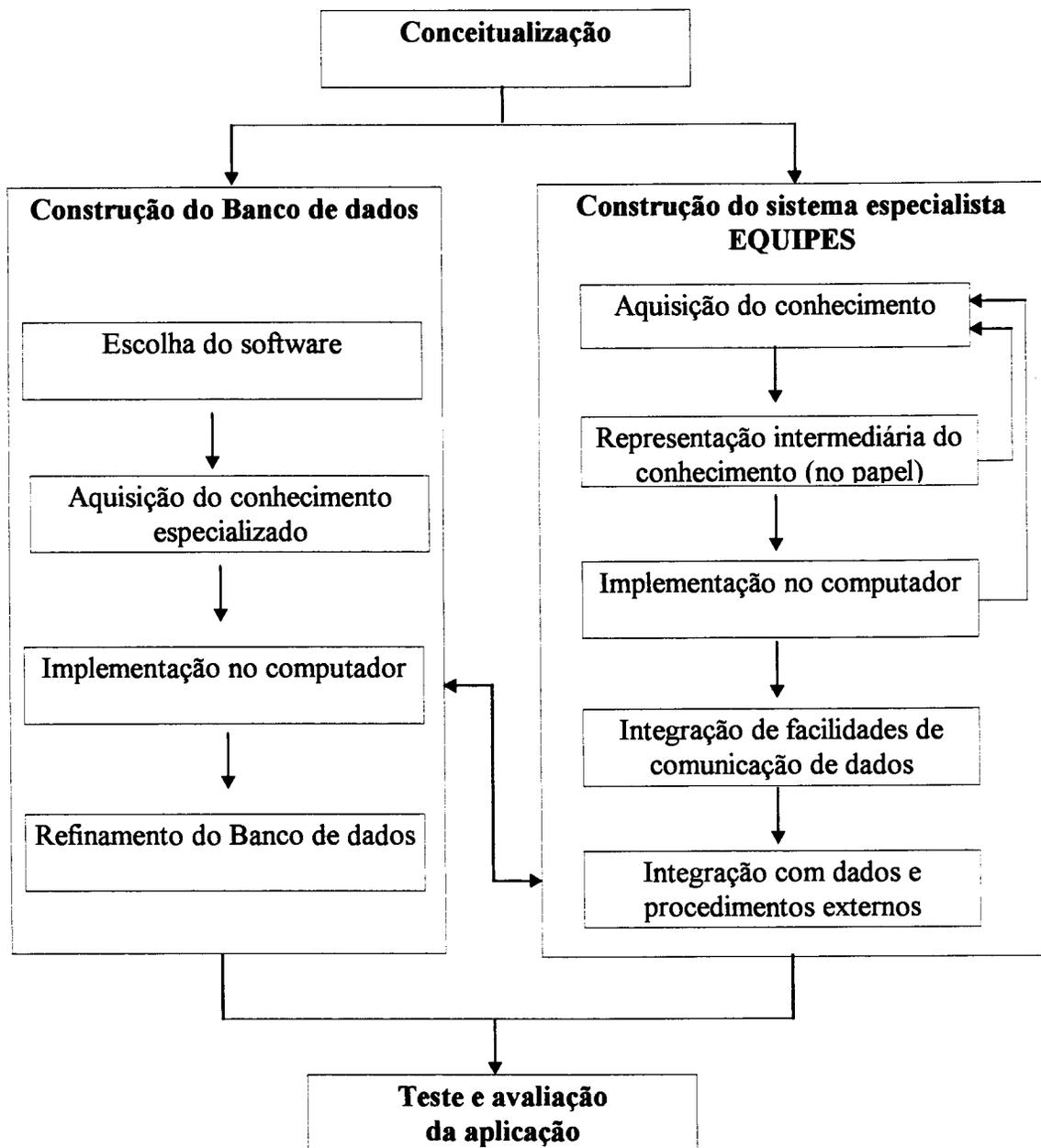


Figura 3.1. Método proposto para o desenvolvimento da aplicação

### **3.2.2. Fase de conceitualização**

Antes de começar a criar um SE, é preciso saber que tipo de problema pretende-se solucionar e deve-se ter a capacidade de descrevê-lo em termos concretos. Por isso, é necessário obter o máximo de informações possíveis sobre o assunto, levando diferentes pontos de vista do problema, com base na bibliografia (LEVINE, 1988)

A identificação de um problema específico para ser solucionado através de construção de um SE, a delimitação do domínio do conhecimento, necessário para o desenvolvimento do modelo e a definição clara dos objetivos que se pretende atingir são considerados fatores críticos para desenvolvimento do sistema (MAZZILLI, 1989).

Um erro comum na fase de identificação de problema é procurar um especialista, cujo conhecimento poderia ser embutido no sistema. A melhor escolha é procurar um gargalo na distribuição do conhecimento - áreas, onde o conhecimento não é disponível, é mal distribuído, difícil para manuseio, renovação e organização (SAGALOWICZ, 1984).

#### **3.2.2.1. Avaliação da aplicação candidata**

Para avaliação da aplicação candidata de sistema especialista para escolha dos equipamentos adequados na construção de edificações foi empregado o modelo de PRERAU (1985), mais tarde modificado e complementado por SLAGLE & WICK (1988).

O desenvolvimento de um Sistema Especialista começa com a escolha do domínio do conhecimento que será aplicado no sistema. Sempre é melhor fazer uma avaliação preliminar para saber se o domínio escolhido é adequado para aplicação em Sistema Especialista. Isso pode economizar muitos recursos gastos em desenvolvimento de aplicações que nunca serão usadas na prática, serão esquecidas depois de desenvolvidas e o investimento de sua construção não terá retorno (SLAGLE & WICK, 1988).

Para entender melhor o conceito dos sistemas especialistas foram revisados vários livros e artigos sobre este assunto: conceitos básicos, arquitetura, metodologias de desenvolvimento e validação, ferramentas computacionais existentes para a sua realização. Foi revisada boa parte da bibliografia disponível na área sobre os equipamentos para construção, administração e gerenciamento de equipamentos na construção, sistemas especialistas para escolha de equipamentos, etc.

O problema de seleção de equipamentos na construção de edificações foi identificado como um problema com conhecimento mal organizado, pouco disseminado e disponível de forma fragmentada.

Será apresentada a seguir descrição das características da aplicação candidata de sistema especialista para escolha de equipamentos adequados na construção de edificações.

A tarefa exige não só conhecimento profundo (dos livros), mas também conhecimento empírico, adquirido pela experiência prática. Existe uma ampla variedade de equipamentos na Construção civil - para diversas atividades, materiais ou condições na obra. Uma pessoa com pouca prática precisa de apoio quando executa a tarefa de escolha do equipamento adequado, pois não é familiarizada com o equipamento disponível e com as condicionantes em uso. Da precisa decisão sobre o problema depende o ritmo da obra e o investimento desembolsado, por isso a tarefa é considerada uma área problemática e de grande responsabilidade. O alvo do sistema proposto é adquirir parte do conhecimento e da experiência dos engenheiros na obra e especialistas em equipamentos na construção e estruturar esse conhecimento em um modelo que poderia apoiar as pessoas pouco experientes.

Existem vários casos de obras em diferentes condições que poderiam servir como exemplos para testar a viabilidade do sistema construído, comparando a decisão sobre a escolha do equipamento, feito por engenheiro da obra, com a opção sugerida pelo sistema.

O conteúdo da tarefa poderia ser subdividido em partes (módulos), depois atacadas uma por uma. Os possíveis módulos do sistema poderiam ser:

- a) módulo informativo, que descreve os equipamentos disponíveis no mercado para atividades e materiais diferentes;
- b) módulo de seleção de métodos, para escolha do método viável de movimentação de materiais e componentes na obra, dependendo das condições diferentes;
- c) módulo de análise econômica, que faz uma comparação econômica entre os diversos métodos de movimentação viáveis tecnicamente.

No futuro, poderiam ser acrescentados outros módulos como, por exemplo, um módulo à respeito da localização dos equipamentos no canteiro.

Existem alguns protótipos de Sistemas Especialistas já desenvolvidas na área de seleção de equipamentos para atividades como: escavação e movimentação de terras, movimentação de materiais, transporte e aplicação de concreto, etc.(ver item 3.1.3).

O especialista em um domínio complexo, como é a construção civil, não poderia possuir todo o conhecimento sobre o assunto em detalhes. Existem vários especialistas, cada um deles tendo conhecimento só em uma pequena parte do domínio. No caso, existem especialistas com conhecimento sobre tipos e modelos de equipamentos disponíveis e outros com conhecimento sobre como escolher o método de movimentação adequado na obra.

Juntar o conhecimento de múltiplos especialistas, como vários autores sugerem, implicará em um modelo de conhecimento coletivo, mais objetivo e robusto.

Os possíveis usuários do sistema são os técnicos e gerentes com pouca experiência no tema - recém formados ou com pouca experiência em obras. O sistema possibilitará a diminuição do tempo despendido por um especialista para explicação da tarefa para as pessoas com pouca prática. Mesmo para um especialista na área, o sistema pode diminuir o tempo para decisão e assegurar mais tempo na resolução de outras tarefas. A aplicação também poderia servir como ferramenta didática para alunos de graduação em Engenharia Civil.

Segundo PRERAU (1985), no desenvolvimento de um Sistema Especialista a seleção do domínio é uma tarefa crítica. O autor fez uma lista com requisitos básicos e convenientes para o domínio de uma aplicação adequada.

Mais tarde SLAGLE & WICK (1988) desenvolveram um método de avaliação da aplicação candidata para sistema especialista, que foi baseado no artigo de Prerau. Os autores estenderam a lista de critérios de avaliação, reorganizaram os mesmos e definiram um método analítico para avaliação das características identificadas.

O método proposto divide os critérios em básicos e convenientes e propõe a construção de uma tabela com o valor e o peso de cada requisito. Com base nessas tabelas, é calculada a nota da cada aplicação candidata. As notas das candidatas concorrentes são comparadas e é escolhida aquela com a maior possibilidade de sucesso. Os requisitos, tanto básicos como convenientes, são classificados em três grupos, a respeito dos usuários, da tarefa e do especialista.

Este método é desenvolvido, basicamente, para comparação de várias propostas para um sistema especialista, utilizando pesos preestabelecidos constantes e valores individuais para as propostas. No caso, a lista com requisitos básicos e convenientes é aplicada, antes de tudo, como um *check-list* para verificar se a aplicação proposta possui, ou não, estas características.

Usando o método descrito dos SLAGLE & WICK (1988) foi executada a avaliação da aplicação candidata, o sistema especialista para escolha dos equipamentos adequados na construção de edificações. Os pesos e valores das características foram atribuídos pela autora. Os resultados obtidos são mostrados nos Quadros 3.1 e 3.2.

Dividindo a soma dos resultados das características básicas e convenientes por a soma dos pesos, foi obtida uma nota para o domínio do sistema especialista candidata. Os resultados são apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.1. Lista das características básicas de avaliação

Resultado	=	Peso	x	Valor	Característica:
64	=	8	x	8	: Os recipientes concordam o retorno significativo
64	=	8	x	8	: Os recipientes têm expectativas realísticas
100	=	10	x	10	: O projeto possui comprometimento administrativo
90	=	9	x	10	: A tarefa não tem a intensidade da linguagem natural
80	=	8	x	10	: A tarefa contém conhecimento em seu domínio
80	=	8	x	10	: A tarefa é heurística em sua natureza
90	=	9	x	10	: Casos para testar são disponíveis
100	=	10	x	10	: Subdivisão em partes é possível
63	=	7	x	9	: A tarefa não requer bom senso
80	=	8	x	10	: A tarefa não requer solução ótima
100	=	10	x	10	: A tarefa será executada no futuro também
80	=	8	x	10	: A tarefa não é essencial para outros aplicativos
100	=	10	x	10	: A tarefa é fácil, mas não muito
56	=	8	x	7	: Existe um especialista
56	=	8	x	7	: Ele é um especialista genial
90	=	10	x	9	: Será disponível até o término do projeto
72	=	8	x	9	: Ele é cooperativo
72	=	8	x	9	: Ele é articulado
80	=	8	x	10	: Possui antecedência com sucesso
64	=	8	x	8	: Usa raciocínio simbólico
49	=	7	x	7	: Transferência do conhecimento difícil
100	=	10	x	10	: Não usa perícias físicas na tarefa
80	=	10	x	8	: Os especialistas concordam sobre uma boa solução
80	=	10	x	8	: Não é necessário ser criativo para executar a tarefa
<b>Σ=1890</b>		<b>Σ=208</b>			

Fonte: Adaptação de SLAGLE & WICK, 1988.

Quadro 3.2 Lista das características convenientes

Resultado	=	Peso	x	Valor	Característica:
80	=	8	x	10	: A administração vai seguir o projeto
64	=	8	x	8	: O SE será usada na prática
72	=	8	x	9	: O sistema interage com o usuário
72	=	8	x	9	: Ela tem capacidade de explicar
48	=	6	x	8	: Ela é capaz de fazer perguntas inteligentes
64	=	8	x	8	: A tarefa é uma área problemática
72	=	8	x	9	: A solução é explicável
45	=	5	x	9	: A tarefa não requer resposta muito rápido
50	=	5	x	10	: A SE similar já foi desenvolvido
50	=	5	x	10	: A tarefa é executada em vários locais
0	=	3	x	0	: A tarefa é executada em aplicações hostes
40	=	4	x	10	: Ela envolve fatores subjetivos
0	=	8	x	0	: O especialista não será disponível no futuro
32	=	8	x	4	: Ele é inteligentemente ligado com o projeto
36	=	9	x	4	: Ele não se sente ameaçado
40	=	5	x	8	: A consulta é organizada imprecisamente
<b>Σ=765</b>		<b>Σ=106</b>			

Fonte: Adaptação de SLAGLE & WICK, 1988.

Quadro 3.3 Cálculo para o sistema

	$\Sigma$ resultado:	$\Sigma$ peso:
Características básicas:	1890	208
Características convenientes:	765	106
Nota da aplicação: (nota = $\Sigma$ resultado: $\Sigma$ peso)	<b>2655</b>	<b>: 314 = 8.45</b>

Embora a avaliação seja mais qualitativa do que quantitativa, a nota obtida dá indicações que o assunto escolhido é um bom candidato e o sistema especialista que pretende ser desenvolvido não vai falhar por causa da escolha inadequada de domínio.

### 3.2.2.2. Escolha da ferramenta para construção do Banco de dados

Um banco de dados significa um conjunto de informações apresentado de forma organizada e com um objetivo específico, de tal forma que fica fácil a localização de uma determinada informação (BYERS, 1984).

As informações escritas, que podem ser apresentadas em forma de tabelas, podem ser consideradas um banco de dados. Quando a quantidade de informações é pequena, a consulta poderia ser feita manualmente. O banco de dados de um computador não pode fazer nada que uma pessoa não possa fazer a partir de um banco de dados impresso. No entanto, o uso de um computador reduz o tempo da busca da informação desejada, como também torna possível uma busca com informação incompleta. Os bancos de dados informatizados facilitam a localização, análise, conservação e proteção dos dados.

No início do presente trabalho já existia um levantamento de máquinas e equipamentos na construção (OLIVEIRA et al., 1994), no qual os dados técnicos foram organizados em forma de tabelas. Porém, foi decidido armazenar esta informação sob a forma computadorizada, para agilizar o uso da informação disponível. Além disso, este procedimento possibilitou a ligação rápida entre o sistema especialista em desenvolvimento e o banco de dados.

O software escolhido para gerenciar o banco de dados computadorizado foi o Microsoft ACCESS. A escolha baseou-se nos seguintes critérios: (a) faz parte da última geração em softwares para gerenciamento de bancos de dados; (b) disponibilidade na UFRGS; (c) usa ambiente Windows; (d) possui interface de desenvolvimento gráfico; (e) tem facilidade de interfaces com programas externos; (f) é amplamente utilizado.

### 3.2.2.3. Escolha da ferramenta para construção do sistema

Muitos dos primeiros sistemas especialistas foram desenvolvidos, utilizando linguagens computacionais, como LISP (principalmente nos Estados Unidos) e PROLOG (na Europa e Japão), que fornecem a possibilidade de interpretar expressões simbólicas.

Ultimamente foram desenvolvidos vários ambientes computacionais (*shells*), que incluem linguagens de programação de alto nível, como também ferramentas adicionais de desenvolvimento de SE, possibilitando seu uso por pessoas não habilitadas na utilização de linguagens de programação. Normalmente, estas *shells* contêm métodos específicos de representação do conhecimento e mecanismos de inferência. Seu uso é facilitado, mas com flexibilidade reduzida em comparação às linguagens computacionais de Inteligência Artificial (ADELI, 1988).

A decisão de uso de uma *shell* foi feita na base dos seguintes motivos: (a) a aplicação, que se pretende desenvolver, é um protótipo de sistema especialista com até 500 regras; (b) o engenheiro de conhecimento não é um grande especialista em computação; (c) o tempo previsto para desenvolvimento da aplicação é curto; (d) o sistema será implantado num microcomputador.

Como ambiente para o desenvolvimento do presente trabalho foi escolhida a *shell* KAPPA-PC, um software já testado e aprovado na prática. KAPPA-PC é criada em linguagem "C", usa Microsoft Windows 3.1 e os seus principais elementos são:

- a) desenvolvimento baseado em programação orientada por objetos;
- b) dispositivo gráfico interativo de desenvolvimento;
- c) linguagem computacional de alto nível;
- d) biblioteca de imagens gráficas para desenvolvimento da interface;
- e) possibilidade de ligação com programas externos em ambiente Microsoft Windows;
- f) ferramentas especiais para armazenagem e manipulação de conhecimento - editor de regras, de funções, de metas; mecanismos de inferência embutidos; facilidades de criação e organização de objetos, etc.(INTELLICORP KAPPA, 1992 e 1995).

### 3.3. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA EQUIPES

#### 3.3.1. Aquisição de conhecimento

A aquisição de conhecimento é o processo de extração, estruturação e organização de conhecimento de alguma fonte (materiais escritos ou peritos humanos), que pode então ser empregado em um sistema especialista (WATERMAN, 1986).

O processo de aquisição de conhecimento é uma tarefa difícil, demorada e muitos concordam que é uma das principais dificuldades no processo de desenvolvimento de um sistema. KIDD & WELBANK (1984) atribuem estas dificuldades aos seguintes fatos:

a) o conhecimento humano é muito complexo, não bem formulado na cabeça do especialista;

b) as pessoas têm dificuldades de expressar o seu conhecimento e explicar como usam este na resolução das tarefas;

c) a informação extraída em forma verbal ou observação do especialista tem de ser organizada e descrita com muito cuidado e habilidade pelo engenheiro de conhecimento para ser usada no sistema.

Não existe um método prescritivo para o processo de eliciação do conhecimento que garanta o sucesso do SE. O tempo despendido e os problemas encontrados são função da complexidade do domínio do conhecimento (HART, 1986). O engenheiro do conhecimento precisa de certas ferramentas e técnicas para eliciação do conhecimento, devendo possuir um certo conhecimento em computação, psicologia, estatística e lógica (KIDD & WELBANK, 1984).

A visão tradicional sobre o problema descreve o processo de aquisição do conhecimento como a atividade de “extrair” o conhecimento do perito e “embuti-lo” no sistema. Normalmente ao especialista é perguntado quais são as regras que ele usa na resolução da tarefa. Este método é aplicável só em casos particulares, quando o especialista possui pensamento organizado em regras. Porém, na maioria dos casos o pensamento dos peritos é desorganizado e na prática esta abordagem não funciona (HAYWARD et al., 1987; MORIK, 1989).

A visão mais adequada do processo de aquisição do conhecimento, segundo WIELINGA & SCHREIBER (1990), é a atividade de modelagem do conhecimento. Estes autores consideram o processo de aquisição de conhecimento essencialmente como a construção de um modelo do conhecimento do especialista. Cabe ao engenheiro do conhecimento a tarefa de organizar as partes do conhecimento modeladas do perito em um sistema coerente.

Segundo ROTH & WOODS (1989), imitar os procedimentos de um especialista nem sempre é a solução mais adequada para o problema através de sistema especialista. O sistema especialista construído pode possuir a habilidade de resolver algumas tarefas complementares ou integrar as tarefas de diversos especialistas. Assim, o primeiro requisito para o processo de aquisição do conhecimento é estabelecer o modelo da tarefa que o sistema deve executar.

O modelo da tarefa tem de definir qual é a meta principal do sistema e localizar as possíveis metas secundárias. O modelo inclui: (a) como o perito resolve o problema; (b) quais são as sub-tarefas a serem executadas e (c) quais são as estratégias para atingir a meta (WIELINGA & SCHREIBER, 1990).

O segundo modelo a construir é o modelo conceitual, que inclui o modelo da consulta e o modelo da cooperação do usuário. O modelo da consulta define a resolução do problema e o modelo da cooperação determina quais são as sub-tarefas que o usuário tem de executar e qual é a forma de cooperação do usuário com o sistema. De grande importância para construção deste modelo é uma análise aprofundada das exigências, expectativas e necessidades do usuário (WIELINGA & SCHREIBER, 1990).

Outros dois modelos que fazem parte do artefato do sistema construído, são o modelo funcional e o modelo físico do sistema. O modelo funcional determina quais são as funções que o sistema poderia executar, enquanto o modelo físico focaliza a maneira como estas funções serão realizadas dentro do sistema físico (WIELINGA & SCHREIBER, 1990).

A proposta de construção de diferentes modelos, descrita acima, foi adotada no processo de desenvolvimento do sistema EQUIPES. No presente trabalho são apresentados o modelo da tarefa de escolha dos equipamentos na construção de edificações e o modelo conceitual do sistema (capítulo 4), como também o modelo funcional e o modelo físico do sistema (capítulo 5).

### **3.3.2. Técnicas de aquisição do conhecimento**

Existem várias técnicas de aquisição de conhecimento, descritas na literatura (HART, 1986; HARMON & KING, 1985; HOFFMAN, 1987; TRIMBLE, 1987), mas nenhuma delas é considerada como técnica de eficiência universal. Em geral, cada caso exige aplicação de uma combinação de técnicas. Alguns pesquisadores admitem que o uso de múltiplas técnicas de aquisição de conhecimento pode resultar em sistemas mais ricos (DE LA GARZA & IBBS, 1990). Serão mencionados a seguir as técnicas de aquisição de conhecimento descritas por DE LA GARZA & IBBS (1990), utilizadas no desenvolvimento do sistema EQUIPES:

(a) **análise do conhecimento de domínio público**: análise do conhecimento descrito em textos publicados (livros, revistas, pesquisa) e manuais técnicos. É uma forma genérica de aquisição de conhecimento nas fases iniciais do desenvolvimento, com objetivo de familiarização com a profundidade e a terminologia do domínio escolhido.

(b) **entrevista não estruturada**: trata-se de uma conversa com um ou mais especialistas, visando a respostas espontâneas sobre fatos, conhecimentos heurísticos e procedimentos comuns. Este procedimento pode capturar conhecimento intuitivo e não bem estruturado. A técnica é importante para auxiliar na determinação das necessidades dos possíveis usuários do sistema.

(c) **entrevista estruturada**: questionamento sistemático, com base em perguntas previamente preparadas, sobre procedimentos mais específicos, proporcionando informações bem definidas e menos intuitivas. As perguntas podem ser fechadas (com possíveis respostas anotadas) ou abertas (com possibilidade de resposta livre).

(d) **observação do trabalho do especialista**: consiste em acompanhar o perito resolvendo casos que o sistema deverá solucionar, preferencialmente no seu ambiente de trabalho. O importante é não interferir no processo de trabalho, podendo-se utilizar gravação, videofilmagem ou espelho em uma direção.

(e) **observação de tarefas com informações limitadas**: observação da execução de uma tarefa específica pelo especialista, para completar a informação sobre um domínio bem específico ou para preencher espaços vazios, deixados pelas outras técnicas.

Outra técnica utilizada, descrita por ANTUNES (1991), é o **confronto de conhecimento**, que consiste em apresentar ao especialista um modelo do conhecimento do problema a ser tratado para sua apreciação. As concordâncias e discordâncias, críticas, adições e comentários são usados pelo engenheiro de conhecimento para elaborar um novo modelo, mais próximo daquele usado pelo especialista.

### 3.3.3. O papel do “semi-especialista”

O caminho tradicional de desenvolvimento de um SE pressupõe que um especialista em Inteligência Artificial, chamado engenheiro de conhecimento, trabalhe junto com um ou mais especialistas em um domínio particular. O engenheiro de conhecimento inicialmente deve familiarizar-se com o domínio da aplicação e depois tentar adquirir, completar, organizar e formalizar o conhecimento dos especialistas (HAYES-ROTH et al., 1983).

ANTUNES (1991) propõe um método que permite facilitar a criação dos modelos mentais iniciais do engenheiro do conhecimento e do especialista, empregando o mínimo de tempo do especialista. Os passos básicos para obtenção dessa otimização são:

(a) desenvolvimento de um protótipo do sistema por meio da aquisição do conhecimento de um indivíduo que conheça bem a tarefa a ser desempenhada pelo sistema e o domínio de aplicação, mas sem o nível de conhecimento e experiência do especialista. Tal indivíduo poderia ser considerado um “semi-especialista” da área de aplicação;

(b) uso do protótipo assim obtido como estímulo inicial na aquisição do conhecimento do especialista;

(c) aproveitamento do processo de construção desse primeiro protótipo pelo engenheiro de conhecimento, para seu aprofundamento, de forma prática e correta no domínio da aplicação, sem a necessidade de se dispor do tempo do especialista para tal.

ADELI (1988) aponta algumas particularidades no desenvolvimento de sistemas especialistas na área de engenharia. Em muitos casos, a explicação do conhecimento de um domínio de engenharia para o engenheiro de conhecimento seria difícil. Como muitos engenheiros estudam as ferramentas e técnicas da Inteligência Artificial, parece que a maioria dos sistemas especialistas em engenharia são desenvolvidos pelos engenheiros, que conhecem bem o seu domínio, como também as ferramentas e técnicas de desenvolvimento de sistemas especialistas. Estes engenheiros podem confirmar e completar as bases de conhecimento criadas por eles, consultando outros especialistas no domínio, com alto nível de conhecimento na área.

Tendo em vista as duas propostas, o protótipo do sistema especialista EQUIPES foi desenvolvido pela autora, que pode ser considerada uma “semi-especialista” na área de escolha de equipamentos para construção de edificações e também estudou as ferramentas e técnicas de Inteligência Artificial. Esta situação foi favorecida pelo uso de um ambiente de programação (*shell*), especialmente construído para desenvolvimento rápido e facilitado de sistemas especialistas.

#### **3.3.4. Aquisição do conhecimento de múltiplos especialistas**

A pesquisa na área de engenharia de conhecimento indica que, em certos casos, a elicitación de conhecimento de múltiplos especialistas é mais adequada, do que modelar o conhecimento de um único especialista (FORMOSO, 1991). Em domínios complexos e variados, como a medicina ou a construção, cada um dos especialistas possui o conhecimento

de uma pequena parte do domínio, podendo conhecer e executar muito bem só dadas sub-tarefas da tarefa principal (MITTAL & DYM, 1985).

Uma técnica útil, segundo MITTAL & DYM (1985), é entrevistar sistematicamente vários especialistas sobre o domínio ou observar como eles executam a tarefa. Capturar o conhecimento comunitário, com vários especialistas contribuindo com partes de seu conhecimento, ajuda a identificar diferentes aspectos do problema.

Nas fases iniciais do desenvolvimento, quando é julgada a conveniência do domínio escolhido, um único especialista (ou um pequeno grupo) poderia indicar dado domínio como adequado para um sistema especialista, mas sua decisão pode ser errada do ponto de vista de outros especialistas, que trabalham na área. Eles podem considerar o domínio escolhido não muito importante na prática e indicar outros problemas como mais interessantes e urgentes. Assim, consultando maior número de especialistas numa área, o engenheiro de conhecimento pode descobrir as partes de um domínio onde as pessoas realmente necessitem de apoio de um sistema especialista.

Numa determinada área, os diferentes especialistas possuem diferentes objetivos, proposições e soluções para os problemas. Entrevistando vários especialistas, podem ser identificados diferentes tipos de consulta num domínio. Dividindo uma tarefa nas suas respectivas sub-tarefas ajuda obter uma melhor compreensão para o problema escolhido.

Analisando as conversas com diferentes especialistas numa determinada área, pode ser identificada a linha de raciocínio predominante na resolução de um problema, como também as diferenças que existem e quais são os especialistas que podem colaborar com uma forma de raciocínio específico.

Concluindo, os autores acima citados consideram as seguintes vantagens na aquisição de conhecimento de múltiplos especialistas:

- a) ajuda a identificar um domínio apropriado;
- b) ajuda a obter uma compreensão sobre o problema;
- c) permite dividir uma tarefa, que parece única, em sub-tarefas;
- d) permite identificar a linha de raciocínio predominante na resolução do problema;
- e) permite identificar possíveis diferenças em raciocínio e quais especialistas podem colaborar em determinada linha de raciocínio.

### **3.3.5. Aquisição do conhecimento para o protótipo inicial**

A técnica de aquisição de conhecimento, utilizada na construção do primeiro protótipo foi a análise do conhecimento de domínio público. Foram consultados livros, revistas, pesquisa e catálogos dos fabricantes de máquinas e equipamentos.

No desenvolvimento do protótipo inicial não se pretendia construir um sistema sofisticado, tanto em termos de conhecimento, quanto de interfaces. A primeira versão do protótipo não apresentava mais do que uma interface inteligente para o Banco de dados das máquinas na construção, gerado a partir do levantamento realizado por OLIVEIRA et al. (1994).

Este trabalho relaciona diversos equipamentos no mercado nacional, que podem ser utilizados por empresas na construção civil. Também são discutidos os principais componentes dos custos dos equipamentos e é apresentado um roteiro para avaliar a relação custo-benefício no emprego de equipamentos durante a etapa de produção de edificações.

Ao catalogar os equipamentos, os autores procuraram conhecer as opções existentes, o modo de operação, os seus benefícios potenciais, o tipo de mão-de-obra necessária e a definição de parâmetros para a tomada de decisão sobre o uso de equipamentos.

Inicialmente foi realizado um levantamento dos fabricantes de equipamentos, junto a revistas e revendedores, chegando-se a uma lista de cerca de noventa firmas localizadas em vários estados do país. De posse da relação dos fabricantes e de seus respectivos produtos, foi feito contato com os mesmos através de visitas, no caso das empresas localizadas em Porto Alegre, ou envio de correspondência, para os demais. Neste contato foram solicitados catálogos e informações sobre os equipamentos de sua fabricação.

Em conjunto com o levantamento dos fabricantes, fez-se uma revisão bibliográfica, com o objetivo de caracterizar os equipamentos quanto às variações dos modelos, tipo de uso a que se destinam, forma e cuidados de operação, custos de operação e manutenção.

A partir desta revisão, foram definidas as informações a serem coletadas a respeito dos equipamentos e os critérios a serem utilizados para a classificação dos mesmos em grupos. Com isto, montou-se uma ficha técnica genérica para cada tipo de equipamento e uma planilha resumo com dados de todos os equipamentos relacionados.

Por fim, fez-se um estudo sobre a natureza dos custos decorrentes do uso de equipamentos, baseado na bibliografia e em informações obtidas de fabricantes e empresas de construção.

Dentro deste estudo foram elaborados vários quadros, que apresentam um resumo dos dados das máquinas identificadas no estudo. Nestes quadros foram incluídos os seguintes

itens: nome da máquina, uso, principais dimensões (altura, comprimento, largura e peso), mão de obra necessária, capacidade de produção e algumas outras informações (veja o exemplo apresentado no Quadro 4.4 ).

O conhecimento embutido no protótipo inicial do sistema EQUIPES foi limitado ao necessário para resolver os casos mais básicos do problema - obter informações gerais sobre equipamentos utilizados para execução de uma dada atividade. A fase de movimentação de materiais e componentes constituiu o único tópico no qual o aconselhamento pelo sistema foi aprofundado.

O primeiro protótipo foi testado em casos fictícios para assegurar que o sistema pudesse resolver satisfatoriamente casos simples, eliminando-se assim algumas falhas de interpretação e formalização do conhecimento.

A construção do protótipo inicial permitiu ao engenheiro do conhecimento uma vivência prática de desenvolvimento na área, com a conseqüente compreensão da terminologia, conceitos e outros aspectos do domínio do conhecimento, necessários ao processo de escolha de equipamento.

Outro aspecto positivo desta fase do trabalho foi a aprendizagem dos conceitos e das técnicas utilizadas na *shell* KAPPA-PC.

Esperava-se também que a apresentação do protótipo inicial iria permitir aos especialistas uma visão clara e prática do que é um Sistema Especialista e como pode ser aplicado um sistema desse tipo na solução de problemas na sua área específica de trabalho.

A Figura 3.2 apresenta a primeira versão da lógica geral do sistema, proposta no Protótipo inicial do EQUIPES. Inicialmente, define-se a fase na qual se deseja utilizar o equipamento, seguido da atividade a ser executada e o material a ser aplicado ou manuseado. O sistema oferece dados técnicos do equipamento, sua foto digitalizada e a possibilidade de conexão com o Banco de Dados.

### **3.3.6. Aquisição de conhecimento para o segundo protótipo**

A principal fonte de conhecimento para a construção do segundo protótipo foi a bibliografia - livros técnicos e pesquisa documentada. Além disso, foram contatados alguns especialistas na área.

O protótipo inicial foi apresentado a alguns especialistas para confronto do conhecimento. Este protótipo possibilitou algumas discussões entre engenheiro do conhecimento e os especialistas.

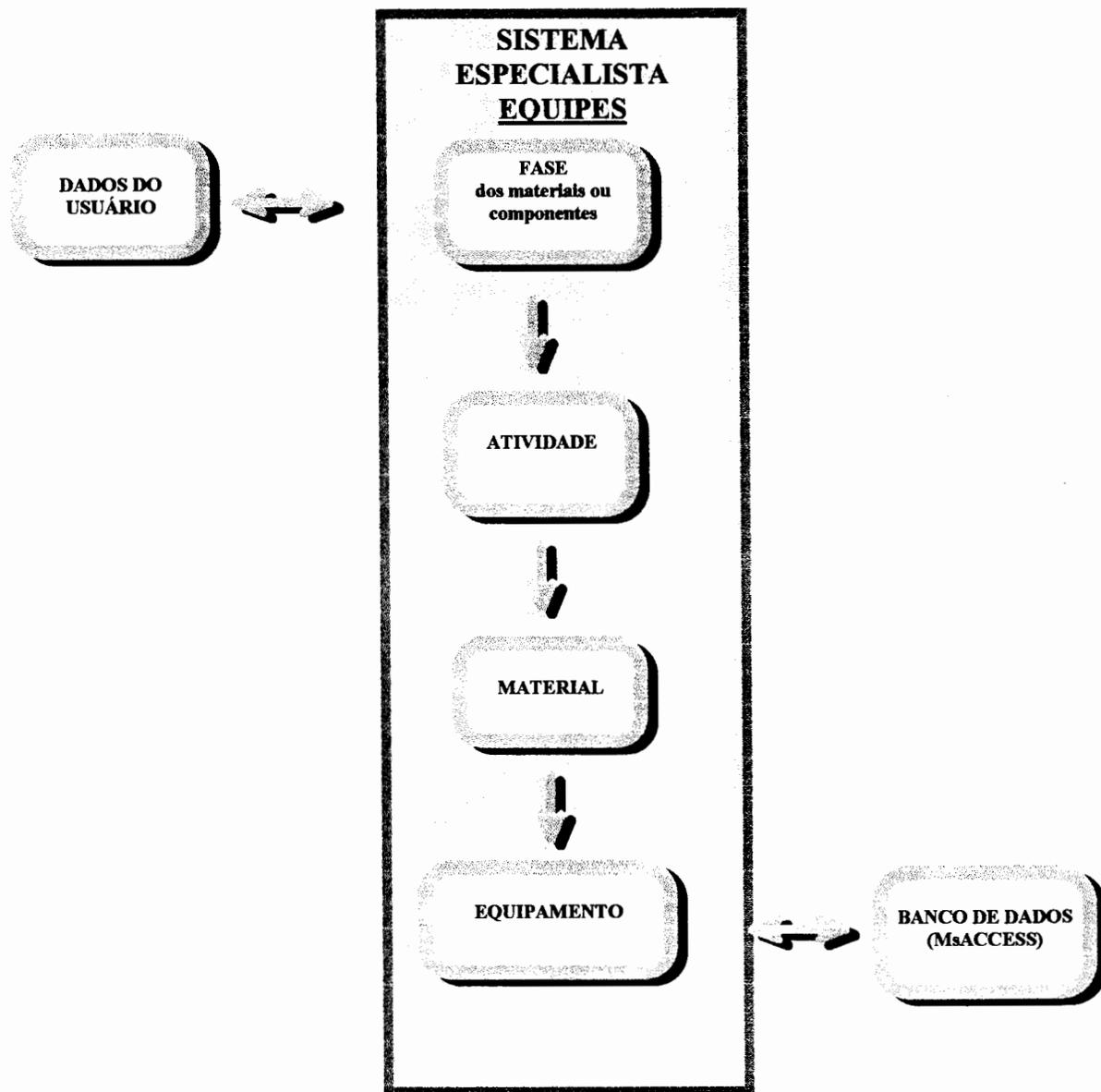


Figura 3.2 Lógica geral do protótipo inicial do sistema EQUIPES

O processo de aquisição do conhecimento teve uma abordagem tipo *top-down*, partindo de uma visão mais geral para uma visão mais específica. Também foi aproveitado o efeito “professor - aluno”: um especialista - professor sente-se mais a vontade de criticar o trabalho (o protótipo inicial) do seu aluno.

Os especialistas entrevistados foram:

a) um professor (nível doutorado) com longa experiência na construção de edificações e consultor de várias obras;

b) dois pesquisadores (nível mestrado) - um com experiência em levantamento de máquinas e equipamentos na construção de edificações e outro envolvido na execução de uma pesquisa de gerenciamento nos diferentes canteiros de obra;

c) um engenheiro de obra visitada, em andamento, no caso um prédio administrativo de quatorze pavimentos;

d) um engenheiro e um mestre, além do operador do guincho, de outra obra visitada, em andamento, correspondente a edifício habitacional de onze pavimentos;

e) um engenheiro de obra recém-iniciada, que precisava escolher o equipamento adequado para a obra e definir o método mais adequado de movimentação de materiais.

As entrevistas foram não estruturadas, mas com perguntas direcionando o assunto para o domínio de escolha do equipamento adequado na obra. As entrevistas foram anotadas no papel e depois descritas com maior detalhamento. A duração das entrevistas variou, dependendo da disponibilidade de tempo dos especialistas.

O fato de que o engenheiro de conhecimento é um “semi-especialista” na área ajudou um entendimento mais rápido da estrutura do conhecimento adquirido.

Entrevistando vários especialistas na área, conseguiu-se identificar diferentes partes do conhecimento, assegurando mais robustez para o sistema construído. Foram identificadas novas sub-tarefas para a tarefa de escolha de equipamento na construção de edificações: (i) escolha do método de movimentação de materiais e (ii) comparação de diferentes métodos de movimentação, em termos de tempo e custo.

Além das entrevistas, outra técnica utilizada na fase de aquisição de conhecimento foi a observação da execução da tarefa de escolha do equipamento necessário para uma obra recém-iniciada. Foram acompanhadas as medições de tempos de operações, ligadas com o processo de movimentação de materiais e componentes na obra com utilização de diferentes equipamentos. Neste caso, o uso do estudo de tempos e movimentos não gerou os resultados esperados - medições foram feitas, mas faltou fazer cálculos e conclusão do trabalho por parte do engenheiro responsável pela obra. Prevaleceu a decisão prévia do engenheiro de usar grua na movimentação de concreto e outros materiais na obra, baseado em sua experiência anterior e não nas condições específicas da nova obra.

Acompanhando este caso, constatou-se que, na prática, pode-se fazer uma medição aproximada. Em vez de medir o tempo de cada operação, o que consome muito tempo, além disso não oferece um valor confiável para obras muito diferentes, a produtividade média de cada sistema de equipamentos utilizada poderia ser medida, i.e. medir o tempo necessário de movimentação de uma maior quantidade de material. Por exemplo: quanto tempo leva para descarregar um caminhão-betoneira com volume de seis metros cúbicos. Na base da produtividade pode ser calculado o tempo do ciclo do equipamento (ver item 4.4.2.3).

A lógica geral do segundo protótipo inclui a possibilidade do usuário escolher, para fins de uma consulta, um dos quatro módulos do sistema:

- a) equipamentos disponíveis para preparação, aplicação, acabamento e limpeza;
- b) equipamentos disponíveis para movimentação de materiais;
- c) escolha do método de movimentação de materiais;
- d) comparação de métodos de movimentação diferentes.

A lógica geral do Segundo protótipo do EQUIPES pode ser observada na Figura 5.1 do Capítulo 5.

### 3.3.7. Representação intermediária

A representação intermediária é um estágio independente entre a aquisição do conhecimento e a apresentação deste conhecimento no computador. É uma representação do conhecimento não executável, normalmente no papel, com a intenção de ser utilizada pelas pessoas envolvidas na modelagem do conhecimento (YOUNG, 1989).

Esta forma de representar o conhecimento antes de ser embutido no sistema, segundo YOUNG (1989), possui várias vantagens, como:

- a) serve para documentar o conhecimento elicitado, independentemente da tecnologia de desenvolvimento do sistema especialista;
- b) pode servir como meio de comunicação entre o especialista e o engenheiro de conhecimento para um posterior refinamento da consulta;
- c) o uso de várias técnicas de representação intermediária pode implicar em uma documentação mais completa do conhecimento, comparando com uma representação direta no computador;
- d) o conhecimento armazenado através da representação intermediária pode ser usado como base para a implementação do sistema em outra *shell*.

As técnicas utilizadas para representação intermediária são bem variadas, como: redes de inferência, tabelas, lista de passos, diagramas de precedência ou regras, escritas em linguagem humana.

No presente trabalho foi adotada uma representação intermediária no papel em forma de tabelas, diagramas e redes de inferência. Foi mostrada para avaliação e sugestões para outros especialistas na área. Este trabalho gerou uma versão inicial da seqüência da consulta e um agrupamento dos fatores que afetam o processo de escolha do equipamento adequado na construção. O Quadro 3.4 mostra a lista dos fatores.

HARMON & KING (1985) recomendam uma técnica de representação intermediária para desenvolvimento de pequenos sistemas cognitivos em forma matricial. Na base dos diferentes fatores, ordenados em uma matriz, são criadas várias regras, que formam a base de conhecimento sobre um domínio escolhido. Esta técnica foi usada na organização do conhecimento do sub-módulo de movimentação de materiais com decomposição das direções do movimento. O Quadro 3.5 apresenta a forma matricial de organização do conhecimento no processo de geração de regras.

O desenvolvimento do sistema prosseguiu em uma organização, estruturação e modelagem do conhecimento adquirido. Foram criados (no papel) diagramas do processo de tomada de decisão sobre a escolha do método de movimentação de materiais em forma de rede de inferência.

Foram identificados os fatores que afetam a decisão e algumas restrições de usar uma grua na obra, elaborando regras da forma: (SE..., ENTÃO...). O processo de transcrição do conhecimento se dava de “dados crus” para estruturação em regras, inicialmente em linguagem natural e depois em linguagem de programação. Por exemplo, uma parte de conhecimento transcrito:

“A possibilidade de que a lança da grua podssa invadir os terrenos vizinhos exige a permissão dos proprietários dos terrenos.”

passava para:

“SE: existe a possibilidade de que a lança da grua podssa invadir os terrenos vizinhos, ENTÃO: isto pode se tornar uma restrição de usar grua.”

e, no fim, para:

“If DICAS:VIZINHOS #= SIM  
Then GRUA:RESTRICÇÕES #= SIM”

A implementação do conhecimento no ambiente computacional foi efetuado através da *shell* KAPPA-PC. Uma descrição detalhada da estrutura do sistema implementado, incluindo as interfaces de comunicação de dados e as interfaces com programas externos é apresentada no Capítulo 5 da dissertação.

A avaliação da aplicação, junto com seu teste em condições reais, é apresentada no Capítulo 6 do presente trabalho.

Quadro 3.4 Lista dos fatores técnicos que afetam a escolha dos equipamentos na construção de edificações

Críticos	Básicos	Sub-fatores	Atributos	Valores	
PROJETO	Edifício	Área pav. tipo		?m <sup>2</sup>	
		No pavimentos		?un.	
		Pé direito		?m	
		Altura		Alto/ Baixo	
		Bloco	Nº de blocos	?un.	
			Tipo direção	Horizontal/Vertical	
			Elemento	Peso máximo	?kg
				Acesso	?m
			Tipo		Residencial/Comercial
			Sistema		Tradicional, Pre-fabricados, Misto
		Tecnologia	Concretagem contínua	Sim/Não	
			Dimensão agregados	Graúdos/Miúdos	?mm/?mm
			Movimentar outros materiais		Sim/Não
		Dimensão			Grande/Pequeno
	Prazo			Curto/Médio/Longo	
	Contrato	Tipo			
CANTEIRO	Dimensão		Amplio/Restrito	?m/?m	
	Tipo		Aberto/Fechado/Linha	Quando?	
	Energia	Elétrica	3F		Sim/Não
			MF		Sim/Não
			Diesel		Sim/Não
			Pneumática		Sim/Não
		Hidráulica			Sim/Não
	Terreno	Topografia	Plano/Médio/Acidentado		Quando?
			Solo	Fraco/Médio/Forte	Como definir?
			Vias de acesso	Boas/Médias /Ruins	Como definir?
Drenagem				Existe/Não	
EMPRESA	Porte			P,M,G	
	Capital Disponível			P,M,G	
	Repetitividade			P,M,G	
	Mão de obra		Disponível		Sim/Não
			Treinada		Sim/Não
RESTRIÇÕES	Leis	Ruído		Sim/Não	
		Áreas privadas		Sim/Não	
	Acesso	Pontes fracas		Sim/Não	
		Cabos aéreos		Sim/Não	
		Tubulação fraca		Sim/Não	

Quadro 3.5 Forma matricial de apresentação do conhecimento para geração de regras  
(no sub-módulo de movimentação de materiais com decomposição das direções)

DIREÇÃO	MATERIAL	LOCAL	CONTÊDER	TIPO DE BLOCO	DO PIS	TIPO DE VEÍCULO	MACHO
HORIZONTAL	CONCRETO	NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	UM_BLOCO	--	BOBCAT	MOVHC1
		NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	VÁRIOS_BLO COS	--	DUMPER	MOVHC2
		NO_CANT EIRO	RESTRITO	--	--	GIRICA	MOVHC3
		NOS_AND ARES	--	--	--	GIRICA	MOVHC4
	ARGAMASSA	NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	--	SIM (ensacada)	EMPILHADEIRA	MOVHAR1
		NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	VÁRIOS_BLO COS	NÃO	DUMPER	MOVHAR2
		NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	UM_BLOCO	NÃO	BOBCAT	MOVHAR3
		NO_CANT EIRO	RESTRITO	--	SIM	CARRINHO PORTA-PALLET	MOVHAR4
		NO_CANT EIRO	RESTRITO	--	NÃO	CARRINHO PARA MASSEIRAS	MOVHAR5
		NOS_AND ARES	--	--	SIM	CARRINHO PORTA-PALLET	MOVHAR6
		NOS_AND ARES	--	--	NÃO	CARRINHO PARA MASSEIRAS	MOVHAR7
	TIJOLOS	NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	--	SIM	EMPILHADEIRA	MOVHT1
		NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	VÁRIOS_BLO COS	NÃO	DUMPER	MOVHT2
		NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	UM_BLOCO	NÃO	BOBCAT	MOVHT3
		NO_CANT EIRO	RESTRITO	--	SIM	CARRINHO PORTA-PALLET	MOVHT4
		NO_CANT EIRO	RESTRITO	--	NÃO	CARRINHO PLATAFORMA	MOVHT5
		NOS_AND ARES	--	--	SIM	CARRINHO PORTA-PALLET	MOVHT6
		NOS_AND ARES	--	--	NÃO	CARRINHO PLATAFORMA	MOVHT7
	AÇO	NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	UM_BLOCO	--	BOBCAT	MOVHA1
		NO_CANT EIRO	ESPAÇOSO	VÁRIOS- BLOCOS	--	DUMPER OU EMPILHADEIRA	MOVHA2
		NO_CANT EIRO	RESTRITO	--	--	CARRINHO ARMADURAS	MOVHA3
NOS_AND ARES		--	--	--	MANUALMENTE	MOVHA4	
VERTICAL	CONCRETO	--	ESPAÇOSO	--	--	EL. DE OBRA COM CAÇAMBA BASCUL.	MOVVC1
		--	RESTRITO	--	--	EL. DE OBRA E GIRICAS	MOVVC2
	ARGAMASSA	EL. DE	OBRA:	OCUPADO		GUINCHO DE COLUNA	MOVVAR1
		EL. DE	OBRA:	NÃO	OCUPADO	EL. DE OBRA E MASSEIRAS	MOVVAR2
	TIJOLOS	ANDAR:	--		SIM	EL. DE OBRA E PALLET	MOVVT1
		ANDAR:	ALTO		NÃO	EL. DE OBRA E TIJOLOS EMPILHADOS	MOVVT2
		ANDAR:	BAIXO		NÃO	EL. DE OBRA E CARRINHO PLATAF.	MOVVT3
	AÇO	EL. DE	OBRA:	OCUPADO		GUINCHO DE COLUNA	MOVVA1
		EL. DE	OBRA:	NÃO	OCUPADO	EL. DE OBRA	MOVVA2

## CAPÍTULO 4

### MODELO DE CONHECIMENTO PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

O capítulo 4 apresenta o modelo de conhecimento para seleção de equipamentos e de métodos para movimentação de materiais na construção de edificações.

#### 4.1. MODELO CONCEITUAL GERAL

##### 4.1.1. Modelo da tarefa de seleção de equipamentos em nível empresarial

A decisão de aquisição de equipamentos numa empresa tem que ser feita depois de uma boa pesquisa e dividindo a responsabilidade entre os diferentes participantes neste processo. Segundo NUNNALLY (1977), podem ser distinguidos três níveis da decisão: nível operacional, tático e estratégico, como mostra a figura 4.1.

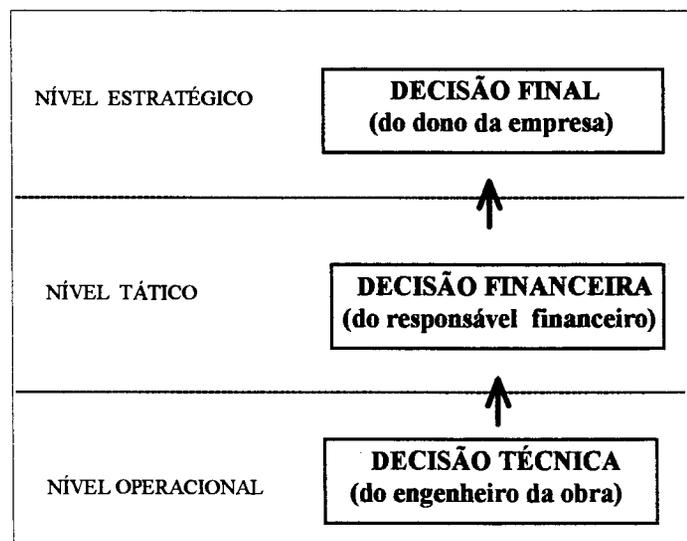


Figura 4.1 Estrutura do processo decisório empresarial sobre a aquisição de equipamentos na construção (NUNNALLY, 1977)

No nível operacional, normalmente, é feita a análise técnica quanto aos tipos de equipamentos viáveis. O engenheiro da obra, no caso das empresas pequenas, e o departamento de planejamento, no caso das empresas grandes, em geral são responsáveis por investigar os aspectos técnicos do problema de aquisição de equipamentos - obter informações existentes sobre as máquinas, dados técnicos dos diferentes modelos, saber quais são as condições favoráveis ou desfavoráveis de uso de um equipamento, etc.

A nível tático, é feita a decisão do ponto de vista financeiro: a forma de aquisição do equipamento - aluguel, compra ou *leasing*; a forma de financiamento - com dinheiro próprio ou de terceiros, a possível data de aquisição, etc. Esta decisão, na maioria dos casos, é feita pelo responsável financeiro - departamento ou pessoa.

Sem dúvida, a decisão final sobre a aquisição de equipamentos de grande porte é efetuada pelo dono da empresa, levando em conta a estratégia geral da empresa sobre o seu futuro desenvolvimento.

O presente trabalho aborda, em geral, a primeira parte do processo de decisão de aquisição do equipamento na construção de edificações - a parte da escolha técnica do equipamento, a nível operacional. Além disso, é prevista uma comparação dos custos de diferentes métodos de movimentação de materiais no canteiro da obra, como avaliação financeira preliminar sobre a escolha do método mais econômico.

#### **4.1.2. Definição das sub-tarefas de seleção de equipamentos em nível operacional**

Existem, segundo ILLINGWORTH (1993), diferentes situações de seleção de equipamentos no início de um empreendimento, apresentadas a seguir:

- a) usando o equipamento disponível na empresa, definir o método de movimentação de materiais e com base nisso determinar o cronograma da obra;
- b) escolher um método de transporte por algum motivo (já é usado com sucesso em outra obra ou é conhecido dos operários) e com base no método, definir as máquinas necessárias e depois fazer a programação da obra;
- c) tendo o planejamento da obra já definido, escolher o método de movimentação que pode atingir os prazos desejáveis e, depois disso, procurar as máquinas necessárias para o método definido.

As situações (a) e (b) são muito comuns em empresas de construção. Entretanto, no presente trabalho foi escolhido o último procedimento, considerando que o planejamento da obra é um condicionante ao processo de escolha de equipamentos.

Depois de investigar a literatura sobre o assunto e entrevistar alguns especialistas na área, foram identificadas as seguintes tarefas no processo de decisão técnica da seleção do equipamento:

- a) obtenção de informações técnico-econômicas sobre os equipamentos disponíveis no mercado;
- b) escolha dos métodos de movimentação viáveis;
- c) seleção do equipamento de transporte de materiais;
- d) comparação de diferentes métodos de movimentação.

Nenhuma decisão deve ser feita sem o conhecimento das possibilidades existentes no mercado nacional (e internacional) das máquinas - dados técnicos, capacidades, vantagens e desvantagens dos diferentes modelos.

A seleção dos métodos viáveis de movimentação de materiais e componentes consiste em definir quais as formas possíveis de transporte do conjunto de materiais, necessários para a construção (elevador de obra, bomba ou grua). É preciso verificar uma possível presença de restrições para o uso de algum tipo de equipamentos.

A etapa final do processo da seleção é a análise comparativa dos diferentes métodos - conferir se o tempo gasto com o método escolhido está de acordo com os prazos estabelecidos e se o custo dele é razoável. É interessante escolher alguns métodos e fazer uma comparação de custo dos mesmos antes de tomar a decisão.

#### **4.1.3. Modelo da tarefa de escolha do método de movimentação de materiais**

O processo de escolha deve começar com uma análise do empreendimento. O responsável da obra deve conhecer e estudar os documentos da obra, como o projeto e o cronograma da execução. Além disso, o engenheiro deve estudar as condições existentes no local da obra e o *layout* no canteiro, como também os dados técnicos e os custos dos equipamentos disponíveis no mercado e o custo da mão-de-obra.

Com base nos dados estudados, o engenheiro pode levantar valores importantes, como: quantidades de materiais (obtidos no projeto), prazos de execução (obtido no cronograma), capacidade dos equipamentos, distâncias entre os pontos de estocagem e pontos de aplicação dos materiais (obtido do *layout* do canteiro), custos dos equipamentos e de mão-de-obra. Estudando bem as condições existentes no lugar da obra, os terrenos vizinhos e as vias de acesso existentes, podem ser levantadas possíveis restrições de uso de algum tipo de equipamento.

O ENGENHEIRO DA OBRA:

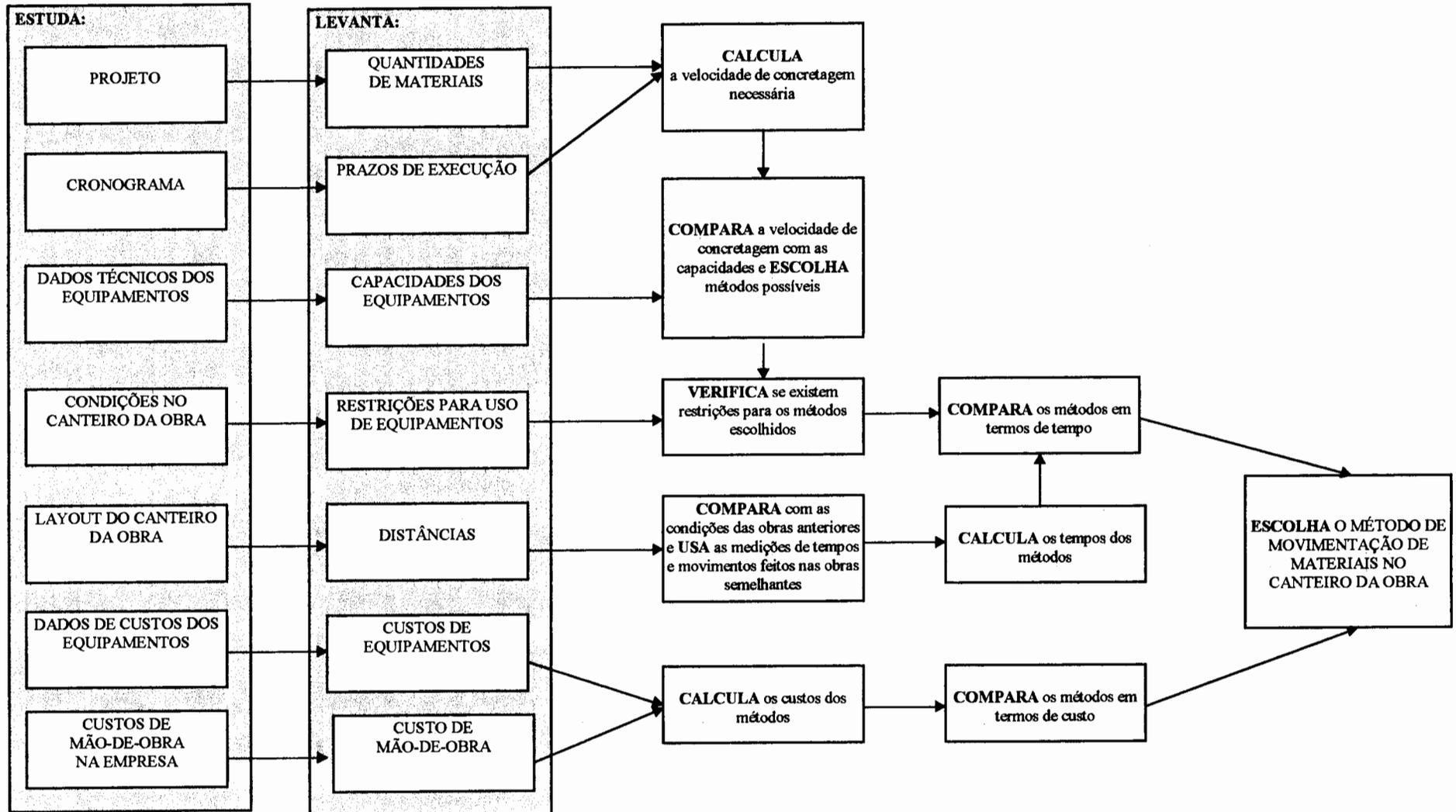


Figura 4.2 Modelo da tarefa da escolha de método de movimentação de materiais no canteiro da obra pelo engenheiro da obra

Faltava ser

A principal atividade condicionante do sistema de movimentação de materiais engenheiro responsável calcula qual é a velocidade de concretagem necessária, para poder cumprir os prazos estabelecidos no cronograma da obra. Depois, ele compara a velocidade obtida com as capacidades dos equipamentos disponíveis e escolhe os possíveis métodos de movimentação de materiais. Alguns desses métodos podem se tornar inviáveis, quando existem restrições de uso de alguns equipamentos.

Os tempos dos diferentes métodos de movimentação, necessários para transporte de uma unidade de material, podem ser obtidos através de medições nas obras similares à que será construída. Tendo em vista os custos dos equipamentos e da mão-de-obra podem ser obtidos custos unitários para os diferentes métodos de movimentação.

Por último, resta fazer uma comparação dos métodos viáveis, em termos de tempos e custos, para poder escolher o método de movimentação de materiais no canteiro da obra.

O modelo da tarefa da escolha do método de movimentação de materiais no canteiro da obra pelo engenheiro é apresentado graficamente na Figura 4.2.

#### **4.1.4. Estrutura geral do modelo do conhecimento**

O conhecimento sobre os equipamentos na construção de edificações é organizado em cinco módulos:

- a) banco de dados de equipamentos para construção de edificações, disponíveis no mercado nacional;
- b) escolha de equipamentos para diversas atividades na construção, exceto movimentação de materiais e componentes;
- c) escolha de equipamentos para movimentação de materiais e componentes;
- d) escolha do método de movimentação (com grua, bomba ou elevador de obra);
- e) comparação dos diferentes métodos de movimentação.

A estrutura geral do modelo do conhecimento sobre os equipamentos na construção de edificações é apresentada no quadro 4.1. Para cada módulo são apresentadas as principais perguntas, que devem ser respondidas pelo usuário, seu papel, dados de entrada e dados de saída. Os primeiros módulos têm papel informativo - oferecer os dados necessários sobre os equipamentos existentes no mercado nacional.

Quadro 4.1 Modelo geral do conhecimento sobre os equipamentos na construção de edificações

Objetivo	Respostas a perguntas	Tipo de Inq.	Dados de entrada	Dados de saída
1. Banco de dados de equipamentos para construção de edificações, disponíveis no mercado nacional	Quais são as marcas de equipamentos existentes no mercado nacional? Quais são os dados técnicos de cada máquina? Quais são os fabricantes e como podem ser conectados?	informativo	nome ou número da máquina	Formulário do equipamento Formulário do fabricante
2. Equipamento existente para atividades diferentes na construção (menos movimentação)	Qual é o equipamento correspondente de dada atividade? Quais são os dados técnicos de um tipo de equipamento?	informativo	fase(preparação, aplicação, acabamento ou limpeza) atividade	Foto do equipamento Ficha técnica Possível conexão com o Banco de dados
3. Seleção de equipamentos para movimentação de materiais e componentes na construção	Qual é o equipamento adequado para movimentação de um material (concreto, argamassa, tijolos e aço)?	informativo apoio na decisão	direção material canteiro lugar palletização	Foto do equipamento Ficha técnica Apoio na decisão Possível conexão com o Banco de dados
4. Escolha do método de movimentação dos materiais e componentes	Qual método de movimentação do concreto e dos demais materiais a escolher, dentro dos prazos do cronograma da obra?	apoio na decisão	volume de concreto ritmo da obra restrições	Velocidade de concretagem necessária Apoio na decisão
5. Comparação dos métodos de movimentação diferentes	Qual é o tempo e o custo de cada método de movimentação?	análise comparativo simulação	volume concreto tempo método/un. custo método/un.	Tabela de comparação dos diferentes métodos Gráfico de comparação

O terceiro e o quarto módulos, por outro lado, cumprem o papel de apoio à decisão sobre a escolha de equipamentos para cada caso específico. O quinto módulo possibilita fazer a análise comparativa de alguns métodos escolhidos.

## **4.2. EQUIPAMENTOS PARA DIFERENTES ATIVIDADES NA CONSTRUÇÃO**

Adotou-se a classificação dos equipamentos na construção, segundo a natureza do trabalho realizado, apresentada no Capítulo 2:

- a) produção de materiais ou componentes;
- b) movimentação de materiais ou componentes;
- c) aplicação de materiais;
- d) acabamento dos materiais aplicados;
- e) limpeza.

Depois de determinada a fase de produção dos materiais, aplicação, acabamento ou limpeza, são várias as atividades possíveis de serem escolhidas. Por exemplo, para a fase de preparação de materiais e componentes existem as seguintes atividades: apagar cal, cortar barras de aço, cortar concreto, demolir concreto, dobrar barras de aço, moer entulho, peneirar areia, preparar concreto *in loco*, preparar argamassa *in loco*. Esta lista não pretende ser extensiva uma vez que continuamente surgem novos equipamentos para o setor. Fazem parte da lista algumas atividades mais básicas, para as quais existem equipamentos no mercado nacional.

Para as fases restantes, foram vinculadas as seguintes atividades: para aplicação - aplicar argamassa, concreto à vácuo, vibrar laje, vibrar peças externo, vibrar peças interno; para acabamento - alisar concreto endurecido, alisar concreto fresco, compactar piso, compactar solo; para limpeza - coletar entulho e lavar superfície.

A relação entre fases, atividades e equipamentos é apresentada no Quadro 4.2.

A fase de movimentação de materiais é organizada de maneira diferente dos demais, por causa da maior informação necessária para seleção de equipamentos nesta fase sendo descrita no item 4.3.

Quadro 4.2 Relação entre fases, atividades e equipamentos

FASE	ATIVIDADE	EQUIPAMENTOS
<b>PREPARAÇÃO</b>	Apagar Cal	Apagador de Cal
	Cortar Barras de Aço	Cortador de Aço
	Cortar concreto	Cortador de Concreto
	Cortar Madeira	Serra Circular
	Demolir concreto	Demolidor de Concreto
	Dobrar barras de aço	Dobreadeira
	Moer entulho	Moedor de Entulho
	Peneirar areia	Peneirão
	Preparar concreto em loco	Betoneira
	Preparar argamassa em loco	Argamassadeira
<b>MOVIMENTAÇÃO</b>	Decomposto Horizontal	Girica
		Carrinho Masseur
		Carrinho Plataforma
		Carrinho Porta-Pallet
		Carrinho Armadura
		Dumper
	Decomposto Vertical	Bobcat
		Empilhadeira
		Elevador de Obra
		Elevador Pessoas
		El. com Caçamba Basculante
		Guincho Coluna
		Sem decomposição das direções
Grua		
<b>APLICAÇÃO</b>	Aplicar Argamassa	Máquina Aplicar Argamassa
	Cura de Concreto com Vácuo	Dispositivo para Vácuo
	Vibrar Laje	Régua Vibratória
	Vibrar Peças Externo	Vibrador Externo
	Vibrar Peças Interno	Vibrador de Imersão
<b>ACABAMENTO</b>	Alisar Concreto Endurecido	Freza
	Alisar Concreto Fresco	Alisador
	Compactar Piso	Compactador
	Compactar Solo	Placa Vibratória
<b>LIMPEZA</b>	Coletar Entulho	Coletor Tubular
	Lavar superfície	Lavadora de Alta Pressão

A apresentação dos dados de equipamentos é realizada através de fichas técnicas, adaptadas do levantamento de equipamentos realizado por OLIVEIRA et al. (1994). As informações existentes na ficha técnica são genéricas, não sendo relacionadas especificamente a qualquer fabricante. É composta de: nome do equipamento, tipos existentes, componentes, forma de acionamento, dimensões, capacidade de produção, utilização básica, modo de operação e mão-de-obra necessária para sua operação. As fichas técnicas têm caráter informativo, devendo ser empregadas apenas como material instrucional relativo à utilização de máquinas na construção. A aquisição e utilização de equipamentos específicos deve ser baseada em consulta direta com os distribuidores ou fabricantes. Um exemplo de ficha técnica é apresentado no Quadro 4.3 e um resumo de dados das máquinas para acabamento de pisos é apresentado no Quadro 4.4.

### **4.3. EQUIPAMENTOS PARA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS**

#### **4.3.1. Materiais condicionantes do sistema de movimentação**

Por ser um produto único, cada empreendimento tem suas características próprias e um grau heterogêneo de dificuldades. Entretanto, o processo produtivo e a matéria prima são essencialmente os mesmos. Há, portanto, condição de fixar-se os elementos importantes para a produção e a partir deles direcionar o planejamento e a análise do sistema de movimentação de materiais.

As diferentes atividades de uma obra (infra-estrutura, estrutura, alvenaria, revestimento interno, revestimento externo, etc.) englobam diversos materiais movimentados. Todos estes materiais e componentes são movimentados dentro do canteiro exigindo o emprego de diferentes equipamentos do sistema de transporte.

Para fins de estabelecimento de um modelo para o dimensionamento do sistema de transporte, é necessário verificar quais são os materiais e componentes realmente condicionantes do sistema.

Para todos estes materiais foi feita uma pesquisa em 1987 em 869 projetos apresentados à prefeitura de São Paulo (LICHTENSTEIN, 1987). Os principais critérios para a definição da importância de determinado material ou componente foram: carga total e volume do material a ser movimentado. A pesquisa estatisticamente concluiu que, em peso, os materiais que têm maior movimentação são:

- a) concreto: 44.1% do total peso movimentado na obra;
- b) argamassas: 29.9% do total;
- c) tijolos ou blocos: 8.5% do total;
- d) aço: 2.7% do total.

Quadro 4.3 Exemplo de Ficha técnica para apresentação de um tipo de equipamento

<b>3.3.1. ACABADORA DE SUPERFÍCIE</b>	
<b>FICHA TÉCNICA</b>	
<b>1. NOME</b>	- Acabadora de superfície (alisador de pisos de concreto, granilite, cimentado, mármore e mosaicos).
<b>2. DESCRIÇÃO</b>	- Equipamento com motor elétrico destinado a alisar pisos.
<b>3. FORMA DE FUNCIONAMENTO</b>	- Energia elétrica.
<b>4. DADOS TÉCNICOS</b>	-
DIMENSÕES:	diâmetro - 0,50 m a 1,00 m
	altura - 0,35 m a 0,45 m
	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO: 3 m <sup>2</sup> /h a 62 m <sup>2</sup> /h
	PESO: 59 kg a 130 kg
<b>5. UTILIDADE BÁSICA</b>	- Acabamento de pisos, desempenamento e compactação.
<b>6. MODO DE OPERAÇÃO</b>	- A máquina de polimento é constituída por um disco que, ao girar sobre o piso, acionado por motor, produz um polimento rápido e mais uniforme do que o manual. Há, porém, partes que só podem ser polidas à mão, porque a máquina não atinge estes locais. No caso de pisos com granilha, terminado o primeiro polimento, o graniteiro lava o piso, executa o estucamento (se necessário), e depois de cerca de dois dias é feito novo polimento com esmeril mais fino, e assim sucessivamente até que todo piso esteja perfeitamente liso.
<b>7. OUTRAS INFORMAÇÕES</b>	- Deve-se verificar o nível do óleo. As pás do alisador de concreto sofrem desgaste com o tempo, devendo ser trocadas.
<b>8. MÃO DE OBRA</b>	- Não precisa ser especializada, mas deve ser treinada. São necessários dois operários na máquina e um pedreiro para retocar os locais onde a máquina não alcança, devido ao seu formato (cantos).
<b>CATÁLOGOS:</b>	
1.	Alisadora de concreto BG 25 (DYNAPAC)
2.	Tratamento concreto à vácuo BA23 (DYNAPAC)
3.	Máquina K-1-2 (MECÂNICA BOMAQ LTDA)
4.	Máquina K-1 (MECÂNICA BOMAQ LTDA)
5.	Máquina E-2 (MECÂNICA BOMAQ LTDA)
6.	Roto alisador rotovac (MONTANA S.A. IND. E COMÉRCIO)
7.	Politriz para piso (RUSCIGNO INDÚSTRIA DE MÁQUINAS PARA CONSTRUÇÕES CIVIL LTDA)
8.	Alisador de concreto CT 36 B (WACKER MÁQUINAS LTDA)

Quadro 4.4. RESUMO DOS DADOS DAS MÁQUINAS PARA ACABAMENTO DE PISOS

EQUIPAMENTO	TIPO DE USO	ALTURA (m)	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	PESO (kg)	MÃO-DE-OBRA	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO	LOCAL	SERVIÇOS	MARCA	REQUISITOS P/ FUNCIONAMENTO
Acabadora de Superfície K-1-2	Acabamento de material aplicado (pisos)	0,450	$\phi = 1,00$	-	90	2 operários 1 ajudante	produção: 6, 25 m <sup>2</sup> /h	Dentro da construção	Pavimentação	(E)	energia elétrica
Máquina para polir modelo E-2	Acabamento de material aplicado (pisos)	0,400	0,750	0,650	130	2 operários 1 ajudante	produção: mármore: 30a40m <sup>2</sup> /dia mosaico: 40m <sup>2</sup> /dia granilite: 60a100m <sup>2</sup> /dia	Dentro da construção	Pavimentação	(E)	energia elétrica
Disco alisador modelo K-1	Acabamento de material aplicado (pisos)	0,350	0,500	0,500	90	2 operários 1 ajudante	produção: 50m <sup>2</sup> /dia	Dentro da construção	Pavimentação	(E)	energia elétrica
Alisadora de concreto BG25	Acabamento de material aplicado (pisos)	-	$\phi = 0,824$	-	59	2 operários 1 ajudante		Dentro da construção	Pavimentação	(M)	energia elétrica
Tratamento concreto a vácuo BA23	Acabamento de material aplicado (pisos)	-	-	-	-	2 operários 1 ajudante		Dentro da construção	Estrutura Pavimentação	(M)	energia elétrica
Politrizes para pisos P1/P2/P3	Acabamento de material aplicado (pisos)	-	-	-	-	2 operários 1 ajudante		Dentro da construção	Pavimentação	(BG)	energia elétrica
Alisador de concreto	Acabamento de material aplicado (pisos)	-	$\phi = 0,915$	-	63	2 operários 1 ajudante	velocidade: 60/110rpm	Dentro da construção	Pavimentação	(N)	gasolina
Rotoalisador Rotovac	Acabamento de material aplicado (pisos)	-	$\phi = 0,500$	-	75	2 operários 1 ajudante	velocidade: 220rpm	Dentro da construção	Pavimentação	(AC)	energia elétrica

Fonte: OLIVEIRA et al., 1994.

Os demais materiais (formas, escoramento, azulejos, cerâmicas, tubulações, portas, batentes, caixilhos) em conjunto apresentaram 14.8% do total. A figura 4.3 mostra esta classificação graficamente.

Cabe aqui mencionar que, às vezes, as formas executam papel principal na escolha do equipamento na obra, principalmente quando são de tipos especiais - “mesa”, “túnel”, etc.



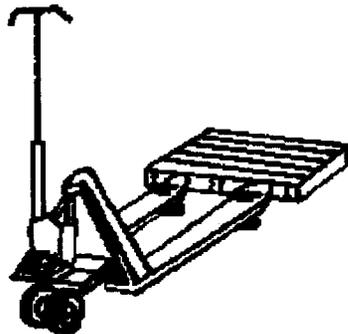
Figura 4.3 Classificação dos materiais pelo percentagem do peso movimentado na obra (LICHTENSTEIN, 1987)

Uma classificação por volume transportado não apresenta modificações sensíveis na hierarquia acima.

Desta forma, o planejamento do sistema de transporte de materiais e componentes é fortemente definido pelos quatro materiais principais - concreto, argamassas, tijolos (ou blocos) e aço.

#### **4.3.2. Equipamentos para movimentação de materiais e componentes:**

A seguir são apresentadas descrições dos principais equipamentos empregados da movimentação de materiais e componentes (Figura 4.4. a 4.12).

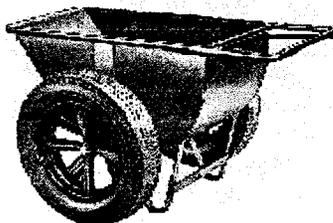
**carrinhos**

Os carrinhos de mão são equipamentos destinados para transporte de pequenas quantidades de materiais em curtas distâncias (50 - 150m). O carrinho de mão comum com uma roda (de ferro ou pneumática) têm capacidade de 60 l.

Materiais sólidos com geometria definida, como tijolos e blocos podem ser transportados em carrinhos de plataforma. Existem carrinhos especializados, para transporte de masseiras, para vigas metálicas, para tubos, lajotas etc.

O carrinho porta-*pallet* é adequado para transporte de materiais paletizados.

Figura 4.4 Carrinho porta-*pallet*

**girica**

As giricas apresentam uma evolução em relação aos carrinhos de mão.

As giricas que se encontram no mercado nacional têm volume útil de 180 l e são adequadas, devido à sua forma geométrica ao transporte de materiais líquidos (concreto e argamassa fresca) e de materiais granulares (areia e brita). Esta forma não permite o máximo aproveitamento do volume útil no deslocamento de materiais sólidos de maiores dimensões como tijolos e blocos.

Figura 4.5 Girica

**pá carregadora de pequenas dimensões**

A pá carregadora de pequenas dimensões é empregada na movimentação horizontal de materiais e componentes em geral. Possui uma caçamba com capacidade 200-400 l, apoiada sobre braço. Pode também movimentar o material até uma altura em torno de três metros.

O equipamento é carregado e descarregado com areia, brita, concreto e argamassa sem o emprego de trabalhadores auxiliares, além do próprio operador. No caso dos tijolos, normalmente são necessários auxiliares na carga e descarga.

Figura 4.6 Pá carregadora de pequenas dimensões (Bobcat)

## dumper

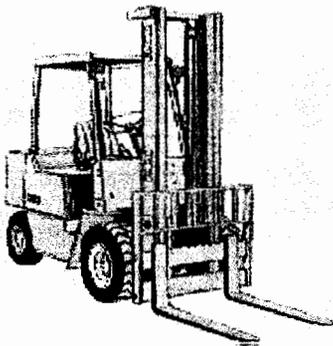


O dumper é um trator transportador de materiais em plano horizontal. É provido de caçamba na frente, com capacidade  $0.5\text{m}^3$ , ou mais, que por acionamento hidráulico tem a descarga facultada em um arco de 180 graus. Além deste movimento existe a possibilidade de elevação da caçamba até uma altura predeterminada. Estes dois movimentos visam facilitar a descarga do material movimentado.

É um equipamento motorizado, com possibilidade de carregar o operador.

Figura 4.7 Dumper

## empilhadeira

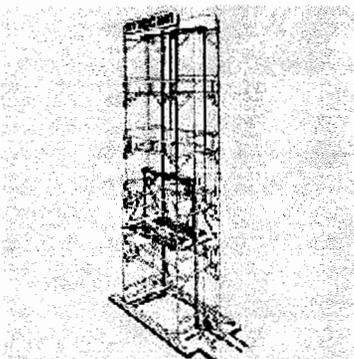


Este equipamento é adequado para transporte de materiais paletizados. O *pallet* é um pacote de unidades ordenadas, cintado e mantido apoiado sobre estrado de madeira, que permite o encaixe do “garfo” da empilhadeira.

As possibilidades de movimentação tridimensional da empilhadeira são limitadas até uma altura de, aproximadamente, três andares.

Figura 4.8 Empilhadeira

## elevador de obra

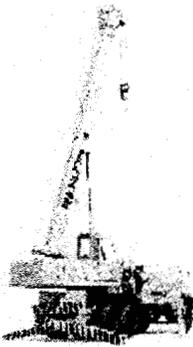


O elevador de obra é composto por uma torre (metálica ou de madeira de qualidade) com altura superior à construção e uma cabine, plataforma ou caçamba, que se movimenta pelo interior da torre. Possui também um sistema de cabos. O acionamento é feito através de um motor acoplado a um guincho.

Atualmente as torres metálicas são cada vez mais empregadas pela sua maior durabilidade e segurança. São montadas a partir do encaixe sucessivo de componentes tubulares de aço.

Figura 4.9 Elevador de obra

### guindaste móvel



Os guindastes móveis são formados por uma lança treliçada ou telescópica, uma cabine e um chassi montado sobre pneus, sobre esteiras ou sobre rodas de aço, para circulação em trilhos.

Este equipamento é destinado para elevação de cargas pesadas em alturas não muito elevadas e para trabalhos com período limitado.

O guindaste com lança telescópica é mais potente e fácil de manobrar em áreas restritas, mas o custo dele é maior.

Figura 4.10 Guindaste móvel

### grua torre estacionária

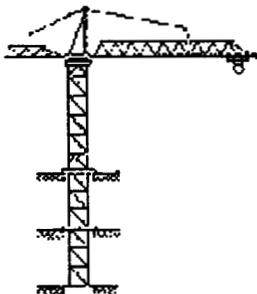


A característica básica de uma grua é a existência de uma lança (horizontal, inclinada ou articulada) que é suportada por uma torre metálica (fixa ou giratória). Possui também um sistema de cabos e motor. O deslocamento espacial da carga é realizado através de três tipos de movimentos básicos, que podem ser simultâneos - içamento vertical da carga, translação da carga ao longo da lança e rotação da lança em torno do eixo da torre.

A grua estacionária é apoiada sobre um bloco de fundação de concreto. É economicamente viável para trabalhos de longo prazo, por causa dos altos custos de montagem e desmontagem.

Figura 4.11 Grua torre estacionária

### grua torre ascensional



A grua ascensional possui uma torre com pequena altura de três pavimentos que é montada no interior do edifício (normalmente no poço do elevador), apoiando-se na estrutura do prédio. Por isso a lança pode ser relativamente curta.

A decisão de uso tem que ser tomada na fase de projeto estrutural, porque é necessária armadura adicional nas lajes, no lugar de apoio dos colares das vigas metálicas do equipamento.

Possui menor custo fixo e operacional, mas a desmontagem pode ser complicada.

Figura 4.12 Grua torre ascensional

### 4.3.3. Equipamentos viáveis para movimentação de materiais em obras de edifícios de múltiplos andares

Estabelecidos os materiais e componentes condicionantes para o dimensionamento do sistema de transporte numa obra, o próximo passo é o estabelecimento dos equipamentos possíveis de serem empregados neste transporte.

O vetor de deslocamento de um material pode ser decomposto nas direções horizontal e vertical, ou a movimentação pode ser executada sem decomposição das direções (movimentação espacial). Segundo este critério da decomposição do vetor-deslocamento da movimentação, os equipamentos podem ser classificados em:

- (a) equipamentos para movimentação linear (normalmente vertical);
- (b) equipamentos para movimentação bidimensional (normalmente horizontal);
- (c) equipamentos para movimentação tridimensional (espacial).

Um edifício de múltiplos andares envolve o deslocamento de materiais e componentes a dezenas de metros na horizontal e vertical. Dessa forma, pode-se descartar para a elevação dos materiais e componentes todos os equipamentos de transporte vertical que não sejam motorizados. Portanto, os equipamentos viáveis para movimentação vertical são elevador de obra e guincho de coluna.

A movimentação horizontal em pequenas distâncias pode ser efetuada através de carrinhos não motorizados. Para movimentação de concreto é de preferência o uso de girica que tem volume útil de 180l em vez de carrinho de mão comum, com capacidade de 60l. Para elementos sólidos de maiores dimensões, como tijolos e blocos, é útil o carrinho de estrado reto ou carrinho plataforma. Tem-se observado também que cada vez mais fornecedores de materiais oferecem a entrega em forma paletizada. Um carrinho porta-*pallet* ajudaria a distribuição dos materiais paletizados na obra.

No caso de canteiros de obra grandes, como conjuntos habitacionais de vários blocos de edifícios, pode ser necessário um equipamento motorizado, como trator transportador (dumper) ou empilhadeira (para materiais paletizados). Quando o edifício é formado por apenas um bloco, onde não são muito grandes as distâncias a serem percorridas, pode ser mais adequada a utilização de uma pá carregadeira de pequenas dimensões (bobcat) devido a sua flexibilidade de movimentação.

A movimentação espacial pode ser efetuada com grua torre, levando em conta que os movimentos a serem realizados são de ordem de dezenas de metros, para cargas de, no mínimo, centenas de quilogramas.

Os modelos de grua torre, viáveis na construção de edifícios de múltiplos andares, dividem-se em grua estacionária e grua ascensional. As gruas de torre giratória e lança móvel, que proporcionam uma altura útil de, no máximo, 25m com lança horizontal e 35m com lança inclinada, tendem a ser viáveis para edifícios de poucos andares, até cinco pavimentos.

Ainda que fossem disponíveis guindastes móveis com lança de quarenta ou cinquenta metros, estes equipamentos, devido ao seu próprio mecanismo de movimentação, exigiriam um espaço aéreo enorme no canteiro, normalmente não disponível. A grua sobre trilhos é mais viável em canteiros de grandes dimensões, na construção de conjuntos de edifícios.

Existem também equipamentos destinados especialmente à movimentação espacial de materiais fluidos, tais como concreto e argamassas, as bombas de concreto e argamassa.

O Quadro 4.5 apresenta uma classificação dos equipamentos descritos acima.

#### **4.3.4. Equipamento adequado para movimentação de um dado material**

O processo de seleção dos equipamentos, necessários na obra, depende de muitos fatores, como o projeto, o canteiro da obra, a disponibilidade de equipamentos, condições climáticas, etc. Cada material usado na construção de edifícios pode ser movimentado de várias maneiras diferentes. Em alguns casos, o equipamento usado é adequado para movimentação de um dado material (ex.: tijolos transportados paletizados), em outros casos é completamente inadequado (ex.: tijolos transportados em girica). Por isso é necessário saber identificar o equipamento adequado para transporte de um dado material nas condições específicas.

No presente trabalho é adotada uma forma de seleção de equipamentos para movimentação de materiais e componentes, de acordo com LICHTENSTEIN (1987), considerando os fatores seguintes:

- a) decomposição do vetor-deslocamento: com decomposição em direção horizontal e vertical ou sem decomposição das direções;
- b) material a ser movimentado: concreto, argamassa, tijolos/blocos e aço;
- c) dimensões do canteiro: restrito ou espaçoso;
- d) lugar da movimentação: nos andares ou no canteiro;
- e) número de blocos de edifícios: um ou vários blocos;
- f) organização das cargas: com ou sem paletização.

Quadro 4.5 Equipamentos viáveis para movimentação de materiais e componentes em obras de edifícios de múltiplos andares

MOVIMENTAÇÃO	DIREÇÃO	EQUIPAMENTO
com decomposição das direções de movimento	horizontal	carrinho plataforma
	horizontal	carrinho porta-pallet
	horizontal	girica
	horizontal	pá carregadora (Bobcat)
	horizontal	trator-transportador (Dumper)
	horizontal	empilhadeira*
	vertical	guincho de coluna
	vertical	elevador de obra
sem decomposição das direções do movimento	espacial	grua torre estacionária
	espacial	grua ascensional
	espacial	bomba de concreto
	espacial	bomba de argamassa
	espacial	equipamento para gunitagem

\* A empilhadeira possui uma capacidade limitada de movimentação tridimensional.

Fonte: Adaptação de LICHTENSTEIN, 1987.

#### 4.4. ESCOLHA DO MÉTODO DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

##### 4.4.1. Métodos de movimentação diferentes

Em geral, o processo de movimentação de materiais na construção é efetuado usando não só um equipamento, mas um grupo de itens, que operam em conjunto. Cada conjunto de itens deve ser nivelado em termos de capacidade, para manter todos os participantes do processo trabalhando com a maior eficiência possível. Se isso não é efetuado, um item de equipamento pode prejudicar o trabalho de outros e desta maneira diminuir a produtividade do processo como um todo (ILLINGWORTH, 1993).

Por exemplo, o concreto produzido numa betoneira é carregado em giricas; as giricas são elevadas até o pavimento da concretagem através de elevador de obra; as giricas são conduzidas até o local da descarga, descarregadas e retornadas vazias pelo caminho oposto para iniciar novamente o ciclo. O conjunto de equipamentos neste caso inclui três itens: betoneira, girica e elevador de obra, que devem ser encarados

como um sistema. O número de giricas e as capacidades da betoneira e do elevador devem ser sincronizadas para minimizar a espera num ponto do processo.

No item anterior, foi mostrado que para transporte de cada material existem maneiras adequadas e maneiras inadequadas. Serão listadas a seguir os equipamentos adequados (segundo LICHTENSTEIN, 1987) de movimentação dos quatro principais materiais aplicados na construção de edificações:

- a) para concreto - bomba, grua com caçamba, elevador de obra com giricas;
- b) para argamassa - bomba, grua com caçamba, elevador de obra com giricas, carrinhos de masseiras ou *pallets*;
- c) para tijolos/blocos - grua com gaiola ou *pallet*, elevador de obra com carrinhos plataforma, com carrinho porta-*pallet* ou com peças empilhadas na plataforma;
- d) para aço - grua ou elevador de obra.

O método de movimentação num sistema de transporte é uma combinação de maneiras adequadas para transporte de cada material. Teoricamente existem um grande número de combinações, que formam métodos de movimentação diferentes, mas na prática, este número poderia ser limitado.

No presente trabalho foram considerados oito métodos diferentes para o sistema de transporte:

- Método 1 (M1) - concreto bombeado e demais materiais transportados por grua (argamassa em caçamba, tijolos em gaiola);
- Método 2 (M2) - concreto bombeado e elevador de obra para os demais materiais (argamassa em carrinho de masseiras, tijolos paletizados);
- Método 3 (M3) - concreto bombeado e elevador de obra para os demais materiais (argamassa em carrinhos de masseiras, tijolos em carrinhos plataforma);
- Método 4 (M4) - concreto e demais materiais transportados por grua (concreto e argamassa em caçamba, tijolos em gaiola);
- Método 5 (M5) - concreto transportado por grua com caçamba e os demais materiais transportados no elevador de obra (argamassa em carrinhos de masseiras e tijolos paletizados);
- Método 6 (M6) - concreto transportado por grua com caçamba e os demais materiais transportados no elevador de obra (argamassa em carrinhos de masseiras e tijolos em carrinhos plataforma);

- Método 7 (M7) - concreto e os demais materiais transportados no elevador de obra (concreto em giricas, argamassa em carrinhos de masseiras e tijolos paletizados);
- Método 8 (M8) - concreto e os demais materiais transportados no elevador de obra (concreto em giricas, argamassa em carrinhos de masseiras e tijolos em carrinhos plataforma);

Os equipamentos utilizados para a movimentação de materiais em cada método, são apresentados resumidamente no Quadro 4.6.

Quadro 4.6. Equipamentos participantes nos diferentes métodos (para cada material movimentado)

Método:	Material transportado			
	concreto	argamassa	tijolos/blocos	aço
M 1	bomba	grua com caçamba	grua com gaiola	grua
M 2	bomba	el.obra com carrinho masseira	el.obra com palete	el.obra
M 3	bomba	el.obra com carrinho masseira	el.obra com carrinho plataforma	el.obra
M 4	grua com caçamba	grua com caçamba	grua com gaiola	grua
M 5	grua com caçamba	el.obra com carrinho masseira	el.obra com palete	el.obra
M 6	grua com caçamba	el.obra com carrinho masseira	el.obra com carrinho plataforma	el.obra
M 7	el.obra com girica	el.obra com carrinho masseira	el.obra com palete	el.obra
M 8	el.obra com girica	el.obra com carrinho masseira	el.obra com carrinho plataforma	el.obra

#### 4.4.2. Variáveis para escolha do método

A principal diferença entre os métodos de movimentação baseia-se no uso de equipamento de movimentação vertical (elevador de obra) ou de movimentação espacial (grua ou bomba). Nos itens a seguir serão apresentadas as variáveis que determinam o processo desta decisão.

#### 4.4.2.1. Tempo máximo disponível para concretagem

O prazo para a execução da estrutura de um edifício, estabelecido no cronograma da obra, traz embutida a idéia de um certo tempo para o ciclo de execução de cada pavimento-tipo.

Assim, quando um cronograma prevê a execução dos vinte pavimentos-tipo de uma torre em cinco meses e a produção é considerada constante, a cada mês devem ser executados quatro pavimentos, ou um pavimento a cada seis dias úteis, aproximadamente. Na prática, a produtividade aumenta progressivamente por causa do efeito aprendizagem e talvez por isto seja necessário utilizar um *buffer* de tempo. Por simplificação, para fins deste trabalho, o ritmo da concretagem será considerado constante.

Dentro da execução da estrutura, a movimentação do concreto se faz de forma pontual ao longo do ciclo de execução de cada pavimento-tipo. Em outras palavras, se uma laje é executada a cada seis dias úteis, o concreto deve, em geral, ser movimentado em até um dia e meio de trabalho (meio dia para a concretagem de pilares no meio do ciclo e um dia para a concretagem de vigas e lajes ao final de cada ciclo). A concretagem de vigas e lajes em um dia de trabalho é o limite superior para o tempo de movimentação deste material. Ainda que o cronograma tenha previsão de uma execução lenta da estrutura, a concretagem das vigas e lajes deve evitar a necessidade de complementação no dia seguinte para evitar juntas de concretagem (LICHTENSTEIN, 1987). Assim, para ciclo de execução da laje maior ou igual a seis dias, o concreto deve, em geral, ser movimentado em um dia e meio de trabalho, que é equivalente a 12 horas).

Em cronogramas apertados, a previsão de um dia e meio para o transporte de concreto pode ser intolerável por tornar muito exíguo o tempo para as demais atividades do ciclo de execução do pavimento-tipo. Estes cronogramas, em que está implícita uma grande rapidez de obra, têm como limite inferior para movimentação de concreto o tempo correspondente ao uso de bombeamento, com eliminação de separação da concretagem dos pilares do restante da laje (LICHTENSTEIN, 1987).

Entre os limites superior e inferior para a movimentação do concreto em cada ciclo do pavimento-tipo, existe uma gama de tempos que podem ser estipulados conforme as necessidades do cronograma específico (LICHTENSTEIN, 1987).

De acordo com as inferências citadas acima, no Quadro 4.7 é mostrado um possível relacionamento do tempo do ciclo de execução da laje com o tempo máximo possível de ser despendido na movimentação de concreto.

Quadro 4.7 Tempo máximo disponível para movimentação de concreto em função do ciclo de execução da laje

T - ciclo de execução da laje [dias]	Tempo máximo para movimentação de concreto (pilares + vigas + laje) [horas]
$T \geq 6$	12
$6 > T \geq 5$	9
$5 > T \geq 4$	6
$T < 4$	3

Fonte: Lichtenstein, 1987.

#### 4.4.2.2. Cálculo da velocidade de concretagem necessária

A velocidade de concretagem necessária é uma variável definida pela quantidade de concreto, movimentado por unidade de tempo, devendo ser tal que os prazos do cronograma da obra sejam cumpridos. Em outras palavras, a velocidade de concretagem necessária é igual ao volume de concreto por pavimento tipo, dividido pelo tempo máximo disponível para esta tarefa (definido no item anterior):

$$v = \frac{V_c}{T} \quad (4.1)$$

onde:  $v$  - Velocidade de concretagem ( $m^3/h$ )

$V_c$  - Volume de concreto por pavimento-tipo ( $m^3$ )

$T$  - Tempo máximo disponível (h)

Tendo em vista a velocidade de concretagem necessária, escolhe-se um equipamento que permita atingir esta velocidade. Na prática, isto depende da produtividade do equipamento, que será discutida no próximo item.

**Exemplo:** Determinar a velocidade de concretagem necessária para execução de um prédio de vinte pavimentos, para o qual o cronograma da obra prevê 90 dias para término da estrutura do prédio e o volume de concreto por pavimento tipo é  $50 m^3$ .

a) Cálculo do ritmo da obra:

$$T = 90 \text{ dias} / 20 \text{ pavimentos} = 4,5 \text{ dias/pavimento};$$

- b) Determinação do tempo máximo disponível para concretagem: segundo o Quadro 4.5, o tempo máximo disponível para concretagem é 6 horas;
- c) Cálculo da velocidade de concretagem necessária:

$$v = \frac{50 \text{ m}^3}{6 \text{ h}} = 8.33 \text{ m}^3/\text{h}$$

A velocidade de concretagem necessária é 8.33 m<sup>3</sup>/h. Então, para executar a tarefa dentro do prazo do cronograma da obra, é necessário um equipamento com produtividade, no mínimo 8.33 m<sup>3</sup>/h.

#### 4.4.2.3. Estimativa da produtividade dos equipamentos

A estimativa da produtividade dos equipamentos pode ser baseada na experiência prévia do engenheiro com equipamentos similares em condições similares ou pode ser calculada. No modelo presente foi adotada a fórmula, apresentada por NUNNALLY (1977), na qual a produtividade esperada por hora é a quantidade de material movimentada em um ciclo de viagem, multiplicado por número de ciclos em uma hora, multiplicado por um fator de eficiência:

$$P = \frac{3600 \times V_m \times F_e}{T_c} \quad , \quad (4.2)$$

onde : P - Produtividade (m<sup>3</sup>/h)

3600 - segundos em uma hora (s/h)

V<sub>m</sub> - Volume de material (m<sup>3</sup>)

F<sub>e</sub> - Fator de eficiência

T<sub>c</sub> - Tempo do ciclo (s)

Nesta fórmula, o número de ciclos de viagem do equipamento em uma hora é encontrado dividindo os 3600 segundos de uma hora pelo tempo de um ciclo, em segundos.

O **tempo do ciclo** de um equipamento de movimentação de materiais é o tempo de carregamento, viagem até o ponto de descarga, descarregamento e volta em posição inicial. O valor do tempo do ciclo numa obra pode ser determinado através de:

- (a) testes e medições, através do estudo de tempos e movimentos (ver item 4.5.4);
- (b) adoção de um valor aproximado, baseado na prática.

Por exemplo, o valor aproximado do tempo do ciclo da grua e do elevador de obra, empregado no transporte de concreto, usados no presente trabalho foram encontrados da seguinte maneira:

a) através de entrevista na obra foi coletada a informação de que um caminhão-betoneira de seis metros cúbicos normalmente é descarregado através da grua em uma hora e quarenta minutos e através do elevador da obra - em duas horas e meia.

(Obs.: Segundo a norma NBR 7212/1984, o tempo de transporte do concreto decorrido entre o início da mistura, a partir do momento da primeira adição da água, até o fim da descarga, deve ser, no máximo, 150 minutos, no caso do emprego de caminhão-betoneira, podendo ser alterado este prazo em função das condições especiais da obra.);

b) dividindo o volume do caminhão-betoneira por o tempo usado de cada equipamento, obtêm-se a produtividade horária da grua e do elevador;

c) sabendo o volume de concreto, movimentado em uma viagem para cada um dos equipamentos (caçamba de  $0.300\text{m}^3$  para a grua, e 2 carrinhos de 80l cada, para o elevador) obtêm-se o valor para o tempo de ciclo da grua - 195 segundos e do elevador - 156 segundos.

A pessoa, responsável pela manutenção do sistema poderia substituir estes valores, quando necessário.

O **fator de eficiência** depende do tempo no qual o equipamento efetivamente está trabalhando. O valor deste fator pode ser adotado utilizando os valores tabulados no Quadro 4.8.

Quadro 4.8. Fator de eficiência dos equipamentos para construção \*

condições de trabalho: (↓)	condições de gerenciamento:			
	excelentes	boas	satisfatórias	insatisfatórias
excelentes	0.84	0.81	0.76	0.70
boas	0.78	0.75	0.71	0.65
satisfatórias	0.72	0.69	0.65	0.60
insatisfatórias	0.63	0.61	0.57	0.52

*\*Obs.: As condições de trabalho incluem: topografia e dimensões do trabalho, condições climáticas, condições do terreno, requerimentos específicos do método usado; as condições de gerenciamento incluem: habilidades, treinamento e motivação dos operários; seleção, operação e manutenção dos equipamentos; planejamento, supervisão e coordenação do trabalho. (Fonte: NUNNALLY, 1977.)*

A seguir é apresentado um exemplo do cálculo da produção horária dos seguintes equipamentos:

- a) conjunto de um elevador de obra e uma girica;
- b) conjunto de um elevador de obra e duas giricas;
- c) elevador de obra com caçamba basculante;
- d) grua com caçamba;

usados no transporte de concreto, adotando os seguintes valores:

- volume de uma girica -  $0.180\text{m}^3$ ,
- volume da caçamba basculante -  $0.500\text{m}^3$ ,
- volume da caçamba da grua -  $0.300\text{m}^3$ ,
- fator de eficiência - 0,65,
- tempo do ciclo do elevador - 156s,
- tempo de ciclo da grua - 195s.

$$\text{Produtividade estimada (a): } P = \frac{3600 \times 0.180 \times 0,65}{156} = 2.7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Produtividade estimada (b): } P = \frac{3600 \times 0.360 \times 0,65}{156} = 5.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Produtividade estimada (c): } P = \frac{3600 \times 0.500 \times 0,65}{156} = 7.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Produtividade estimada (d): } P = \frac{3600 \times 0.300 \times 0,65}{195} = 3.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

O exemplo acima mostra que, em certos casos, um elevador de obra (equipamento mais barato), equipado com duas giricas (caso b) pode oferecer produtividade maior do que uma grua (caso d), que é um equipamento mais caro. O uso da grua, segundo ALKASS et al.(1993) seria justificado quando existem elementos com grande peso (mais de 500kg) ou elementos com grande volume (armaduras prontas, jogos de formas, tijolos/blocos paletizados, argamassa ensacada e paletizada, elementos pré-fabricados, etc.). ILLINGWORTH (1993) considera importante os seguintes fatores para escolha de grua como equipamento de movimentação de materiais no canteiro: as atividades a serem executadas e as quantidades de materiais a

serem movimentados, segundo o projeto, como também a forma da entrega dos materiais - paletizados ou não.

#### **4.4.2.4. Restrições para uso de grua**

Depois de identificada a necessidade de uso de uma grua, é importante verificar se não existem algumas restrições de usar este equipamento. ILLINGWORTH (1993) aponta como possíveis restrições de uso de uma grua as condições no canteiro da obra: vias de acesso no canteiro deficientes ou inexistentes, baixa resistência do solo, necessidade de drenagem e dificuldades de acesso à obra.

O mesmo autor considera importante também identificar possíveis obstruções ao redor do canteiro, tais como: edificações altas, cabos, árvores, antenas, etc. ou uma possível invasão da lança nos terrenos vizinhos. A invasão das propriedades vizinhas sem permissão do proprietário é contra a lei, não só no caso de edifícios, mas também para terrenos, parques, ruas, etc. No caso de proximidade a fios de alta tensão, existe a necessidade de uma proteção especial para evitar acidentes (ILLINGWORTH, 1993).

GRAY & LITTLE (1985) consideram como uma restrição de uso de grua a existência de um ponto para colocação da grua, do qual todos os pontos de cada pavimento sejam acessíveis. Se a lança da grua não consegue atingir todos os cantos do prédio, é necessário desmontar o equipamento e montar de novo em um outro ponto ou usar grua sobre trilhos. O raio deste círculo não pode ter dimensão exagerada, sendo para uma lança normal em torno de 35m.

#### **4.4.2.5. Identificação do modelo adequado da grua**

LICHTENSTEIN (1987) comenta que, no mercado nacional, existem guas de torre giratória e lança móvel, que proporcionam altura de, no máximo, 25m com lança horizontal e 35m com lança inclinada. Por isso, as guas de torre giratória e lança móvel tendem a ser viáveis para edifícios de poucos pavimentos, até quatro ou cinco andares. Segundo LICHTENSTEIN (1987), na construção de edifícios de grande altura é viável o uso de grua estacionária, com torre estacionária e lança móvel ou de grua ascensional. A grua móvel sobre trilhos é mais viável em canteiros de grandes dimensões, na construção de conjuntos de edifícios. O quadro 4.9 mostra uma comparação entre as características da grua estacionária e da grua ascensional.

Quadro 4.9 Comparação entre grua estacionária e grua ascensional

CRITÉRIO	GRUA ESTACIONÁRIA	GRUA ASCENSIONAL
Posição no canteiro	Deve ser prevista área de canteiro para a base da grua o que, em terrenos pequenos, pode ser uma dificuldade	Não exige área do canteiro
Suporte da base	Bloco de concreto especialmente construído	Eventualmente pode ser apoiada, para a montagem inicial, em bloco de concreto da própria estrutura, com possível reforço. Após o início da ascensão a base passa a ser apoiada na estrutura, gerando a necessidade de eventual reforço.
Montagem inicial	Na montagem inicial é empregado normalmente um guindaste móvel.	Idêntica
Altura da torre	Normalmente na montagem inicial a torre tem uma pequena altura. À medida do andamento da estrutura, a torre vai crescendo. O aumento da altura da torre pode ser realizada por, dependendo do modelo, acoplamento de novos módulos ou por um mecanismo de telescopagem, independentemente do andamento da estrutura. A altura total da torre é dada pela altura do edifício, somada a uma altura livre preestabelecida, de aproximadamente 6m.	A altura inicial da torre é idêntica à da correspondente grua estacionária. Com o andamento da estrutura a torre permanece a mesma, apenas o conjunto inteiro ascende. Com isto é reduzida a altura total necessária de torre com a contrapartida do custo do mecanismo ascensional. O ciclo ascensional deve ser compatível com o ciclo de construção da estrutura; qualquer quebra no mecanismo ascensional provoca atraso no cronograma da obra.
Estaiamento da torre	A torre é estaiada na estrutura conforme espaçamento recomendado pelo fabricante. O estaiamento representa uma carga extra na estrutura o que, eventualmente, pode representar a necessidade de reforço.	Não é necessário.
Dimensão da lança	Estando locada fora da torre do edifício, normalmente está localizada fora do baricentro do canteiro, o que tende a gerar a necessidade de comprimentos de lança maiores.	Podendo ser locada no corpo do edifício, está próxima do baricentro do terreno, o que tende a gerar comprimentos de lança menores.
Operação	Quando montada a cabina na torre, lança ou contralança, normalmente é boa a visibilidade. Quando o operador está situado na laje, não exista diferença quanto ao tipo de grua.	Quando a cabina de comando é montada na lança, torre ou contra-lança, a visibilidade do operador é sensivelmente prejudicada.
Desmontagem	Processo de desmontagem exatamente inverso à montagem, realizando-se sem dificuldades. Desmontagem pode ser realizada ao final da obra, por interferir muito pouco no andamento desta.	Processo de desmontagem muito dificultado, com lança e contra-lança tendo de ser apoiadas na última laje e descidas através de equipamento auxiliar. A laje da cobertura, neste caso, deve prever este carregamento extra.  No caso da grua ser montada no poço do elevador, normalmente sua desmontagem deve se dar antes da concretagem da caixa d'água e a casa de máquinas. Isto leva à grua ser empregada apenas na fase da estrutura e, possivelmente, alvenaria da obra.

Fonte: Adaptação de LICHTENSTEIN, 1987.

Quando existe necessidade de usar grua e as condições permitem este uso, devem ser levados em conta alguns fatores na identificação do modelo adequado da grua, tais como: existência de espaço fora do prédio, consideração da carga da grua ascensional no dimensionamento da estrutura do prédio e nivelamento suficiente para a grua sobre trilhos.

ILLINGWORTH (1993) estabelece os seguintes critérios para escolha do modelo da grua no canteiro:

a) quando não existe espaço no canteiro, fora do prédio, suficiente para montagem de uma base de grua estacionária, a escolha pode ser entre grua ascensional e grua estacionária, montada dentro dos limites do prédio;

b) especialmente para grua ascensional, é necessário que o projeto estrutural do prédio permita o uso deste tipo de grua, pois as vigas metálicas do colar da grua, que sustentam o conjunto da torre, são apoiadas sobre a estrutura do prédio. Portanto, o cálculo estrutural pode indicar a necessidade de armadura adicional;

c) os trilhos da grua exigem um nivelamento rigoroso, com manutenção semanal, e o desnível máximo permitido dos trilhos da grua é de 2%.

#### **4.4.3. Roteiro para escolha do método**

O modelo proposto adota o seguinte roteiro para a decisão sobre escolha do método de movimentação de materiais e componentes:

a) Calcular o ritmo da obra (4.4.2.1.);

b) Calcular a velocidade de concretagem necessária (4.4.2.2.);

c) Identificar a necessidade de usar grua (4.4.2.3.);

d) Verificar se existem restrições de usar grua (4.4.2.4.);

e) Identificar o modelo da grua adequado no caso (4.4.4.5.);

f) Comparar a velocidade de concretagem necessária com a produtividade do equipamento e, no caso de necessidade de usar grua, verificar se não existem restrições e determinar o modelo da grua adequado.

## **4.5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS**

### **4.5.1. Custo horário da mão-de-obra**

Na fase de planejamento de um empreendimento, em muitos casos, a preocupação básica é selecionar o equipamento necessário e o método adequado. O requerimento de mão de obra, ao contrário, às vezes é visto como não muito importante, supondo que o custo da mão-de-obra é insignificante, comparado com o custo dos equipamentos (ILLINGWORTH, 1993). Esta falta de visão sistêmica pode distorcer a seleção dos equipamentos. Assim, é necessário conhecer a incidência do custo da mão-de-obra na movimentação de materiais.

O custo real da mão-de-obra pode ser definido como o salário do operador por tempo de serviço, como também o custo de horas extras, eventual bônus e todos os custos previstos nas Taxas de Leis Sociais e Riscos do Trabalho.

Somando todos os encargos, previstos por Leis Sociais, é obtida uma porcentagem de acréscimo ao salário de horas normais trabalhadas (de produção), em torno de 150% (PINI SISTEMAS, 1995).

### **4.5.2. Relação entre custo horário da mão-de-obra e custo horário dos equipamentos**

Como já foi mencionado, em alguns casos existe a tendência de desprezar o custo da mão-de-obra, comparando-o com o custo dos equipamentos. Na opinião de ILLINGWORTH (1993), no entanto, comparando mais acuradamente os custos da mão-de-obra com os custos operacionais dos equipamentos, pode-se indicar claramente que o uso de equipamentos é relativamente barato. Embora no Brasil a realidade seja um pouco diferente (algumas empresas construtoras reduzem o custo da mão-de-obra pelo não cumprimento das Leis Sociais), é importante saber identificar a relação que existe entre o custo da mão-de-obra e o custo do equipamento utilizado.

Os custos horários dos equipamentos incluem: aquisição (depreciação ou aluguel), combustível, energia, lubrificação, serviços e manutenção. Com base nestes custos, pode ser definido o custo horário do equipamento  $C_E$  (veja Capítulo 2). Deve-se admitir que, no valor do custo do equipamento não entram itens importantes, como transporte até o local da obra, montagem e desmontagem. Recomenda-se, que o equipamento que possui altos valores dos custos destes itens seja usado por longo prazo, para ser econômico (ILLINGWORTH, 1993).

Dividindo o custo horário do equipamento ( $C_E$ ) pelo custo horário da mão-de-obra ( $C_M$ ), obtém-se um coeficiente  $K$ , que indica a equivalência entre as duas quantidades:

$$K = \frac{C_E(\$R/h)}{C_M(\$R/h)}, \quad (4.3)$$

onde:  $C_E$  - custo horário do equipamento,

$C_M$  - custo horário da mão-de-obra,

$K$  - coeficiente de equivalência entre as duas variáveis.

Para cada tipo de equipamento, uma empresa construtora pode estabelecer sua equivalência com a mão-de-obra, em termos de custo horário. Por exemplo, o uso de um elevador de obra pode ser equivalente (em termos de custo horário) de três operários. Os dados obtidos podem ser utilizados na fase de planejamento e programação de obras da

empresa e devem ser atualizados periodicamente.

#### **4.5.3. Comparação dos métodos de movimentação alternativos em termos de tempo e custo**

No item 4.4.1 são descritos oito métodos de movimentação de materiais e componentes diferentes. A seguir será descrita uma maneira de avaliar e comparar estes métodos em termos de tempo gasto na atividade de movimentação de materiais e componentes, como também o custo desta atividade. A comparação será feita com base na execução de um pavimento-tipo. Os dados de entrada para a comparação dos oito métodos são:

a) Quantidades, por pavimento tipo, dos quatro principais materiais na obra de edifícios, executados pelo método tradicional, que são: concreto, argamassa, tijolos (blocos) e aço. As quantidades podem ser levantadas no projeto da obra. Todos os materiais são medidos em volume ( $m^3$ ), exceto o aço, que é medido em peso (kg);

b) Para todos os equipamentos, aplicados na movimentação dos quatro materiais, é calculada a produtividade correspondente, dependendo da quantidade de material, movimentado em um ciclo (volume e número de recipientes) e o tempo do ciclo do equipamento;

c) Para cada um dos oito métodos propostos, calcula-se o tempo necessário para transporte da quantidade, por pavimento tipo, de cada material.

Para cada Método (i):

$$T(i) = t_{\text{con}(i)} + t_{\text{arg}(i)} + t_{\text{tij}(i)} + t_{\text{aço}(i)}, \quad (4.4)$$

onde :

$T(i)$  - tempo total, gasto para movimentação, usando o Método (i),

$t_{\text{con}(i)}$  - tempo, gasto para movimentação do concreto, usando o Método (i),

$t_{\text{arg}(i)}$  - tempo, gasto para movimentação da argamassa, usando o Método (i),

$t_{\text{tij}(i)}$  - tempo, gasto para movimentação dos tijolos (blocos), usando o Método (i),

$t_{\text{aço}(i)}$  - tempo, gasto para movimentação do aço, usando o Método (i).

Os tempos gastos para movimentação de cada material são calculados dividindo-se a quantidade de cada material (por pavimento-tipo) pela produtividade de cada equipamento. Por exemplo, o tempo gasto para movimentação do concreto é igual ao volume do concreto por pavimento-tipo, dividido pela produtividade do equipamento para concreto, previsto no Método (i):

$$t_{\text{con}(i)}(h) = \frac{V_c}{P_c}, \quad (4.5)$$

onde:  $V_c$  - Volume de concreto, por pavimento tipo ( $m^3$ )

$P_c$  - Produtividade do equipamento para concreto ( $m^3/h$ )

d) O custo total do Método (i) ( $C_{T(i)}$ ) é igual ao tempo total ( $T(i)$ ), gasto para movimentação, usando o Método (i), multiplicado pela soma do custo horário do equipamento ( $C_E$ ) e o custo horário da mão-de-obra ( $C_M$ ).

$$C_{T(i)} = T(i) \times (C_E + C_M) \quad (4.6)$$

Sé a empresa possui um coeficiente de equivalência ( $K$ ) do custo do equipamento com o custo da mão-de-obra, a fórmula passa a ser a seguinte:

$$C_{T(i)} = T(i) \times (K + 1) \times C_M \quad (4.7)$$

A comparação dos diferentes métodos pode ser apresentada em forma tabulada e/ou em forma gráfica.

Os tempos das operações, que fazem parte dos métodos diferentes, podem ser baseados em tempos reais, medidos em obras com condições parecidas com estas da obra a ser iniciada. As medições podem ser efetuadas através de estudo de tempos e movimentos, descrito no item a seguir.

#### 4.5.4. Estudo de tempos e movimentos

Todo planejamento é baseado em tempos e um conhecimento do tempo necessário para cada tarefa e para cada operação é de grande importância para o processo de planejamento e programação no canteiro. Segundo BURBIDGE (1983), o campo de estudo que engloba tanto os métodos como os tempos é, geralmente, conhecido como “estudo do trabalho”, e pode ser dividido em estudo de métodos e estudo de tempos

O estudo de métodos é definido por BURBIDGE (1983) como análise da seqüência de movimentos usados ou propostos para uso na realização de uma operação e das ferramentas, equipamentos e *layout* do posto de trabalho usado ou proposto para uso. Seu objetivo é encontrar o método mais eficiente para levar a cabo determinada tarefa. Existe grande número de diferentes técnicas para o estudo de métodos mas, por limitação de números de páginas, serão consideradas aqui somente três delas:

a) avaliação com base na experiência: o mestre ou engenheiro encarregados do trabalho devem observar o trabalho e fazer todas as alterações que, com base na sua experiência, julgarem desejáveis;

b) análise de operações: este método se inicia com um registro de todos os passos principais envolvidos na realização de uma tarefa. Posteriormente os passos são analisados e o ciclo é melhorado pelo rearranjo da seqüência e pela eliminação de tantos passos não essenciais quanto possível;

c) estudo de movimentos: este termo, criado pelo engenheiro americano Gilbreth, envolve a divisão da tarefa em elementos fundamentais de movimento e a recomposição de um ciclo ideal a partir do qual possam ser eliminados todos os elementos desnecessários.

O estudo do método é a parte mais criativa e a que traz maiores benefícios no estudo de trabalho. Contudo, uma vez determinado o método, é desejável medir o tempo necessário para completar cada tarefa. As técnicas usadas na medição desse tempo são designadas pelo termo geral “estudo de tempos”. Basicamente, existem sete passos principais no processo de estudo de tempos: estudo preliminar, divisão em elementos, aspectos básicos da medição de tempos, seleção dos tempos medidos, avaliação de desempenho, adição de tolerâncias e especificação do tempo-padrão. A descrição detalhada destes passos pode ser encontrada em BURBIDGE (1983).

## CAPÍTULO 5

### **SISTEMA IMPLEMENTADO NO COMPUTADOR**

O presente capítulo começa com uma descrição inicial do protótipo de sistema especialista EQUIPES. A seguir, é apresentada uma descrição do banco de dados sobre equipamentos na construção de edificações. Mais adiante, discorre-se sobre a funcionalidade e a estrutura do protótipo do sistema, implementado no ambiente computacional.

#### **5.1. DESCRIÇÃO INICIAL DO SISTEMA EQUIPES**

O protótipo de sistema especialista EQUIPES foi baseado no modelo do conhecimento descrito no Capítulo 4 da dissertação.

A arquitetura modular da aplicação pode ser observada na Figura 5.1. Os quatro módulos do sistema são:

- **Módulo A** - Apresenta equipamentos disponíveis para preparação, aplicação e acabamento dos materiais e componentes e para limpeza;
- **Módulo B** - Apresenta equipamentos disponíveis para movimentação de materiais;
- **Módulo C** - Escolha do método de movimentação de materiais no canteiro;
- **Módulo D** - Comparação dos métodos de movimentação de materiais, em termos de tempo e custo.

A Figura 5.2. apresenta a tela inicial do sistema EQUIPES que inclui o nome, descrição do sistema, botões para:

- a) início da consulta;
- b) identificação - equipe técnica e ano de desenvolvimento;
- c) saída do sistema.

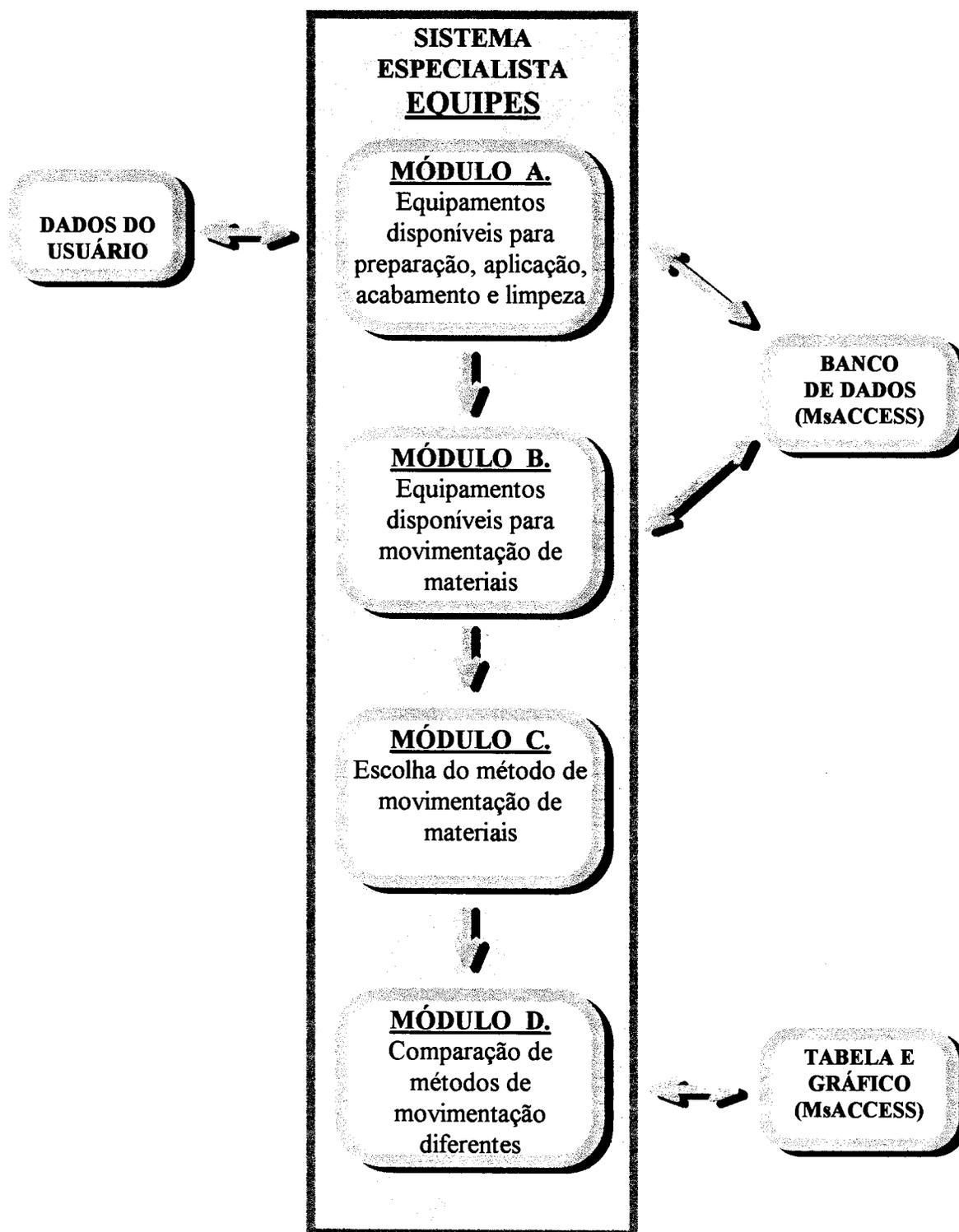


Figura 5.1 Lógica geral do Segundo protótipo do sistema EQUIPES



Figura 5.2 Tela inicial do sistema EQUIPES

## 5.2. BANCO DE DADOS EQUIP

O banco de dados informatizado para equipamentos na construção foi desenvolvido na base de Levantamento de equipamentos para a indústria de Construção Civil (OLIVEIRA et al., 1994). Foram aproveitados os catálogos dos fabricantes, coletados ao longo do processo deste estudo e os dados sobre os equipamentos, sistematizados em forma de tabelas. Na base dos catálogos dos fabricantes foram elaboradas imagens digitalizadas de alguns dos equipamentos.

O *software* utilizado no desenvolvimento do banco de dados foi o Microsoft ACCESS, versão 2.0. Segundo o manual do usuário (MICROSOFT ACCESS, 1994), um banco de dados construído através deste *software* pode conter seis tipos de objetos:

- a) tabelas - armazenam dados;
- b) consultas - reúnem dados de uma ou mais tabelas;
- c) formulários - exibem dados a partir de tabelas e consultas;
- d) relatórios - resumem e armazenam dados a partir de tabelas e consultas;
- e) macros - automatizam o banco de dados executando ações especificadas, sem necessidade de programação;
- f) módulos - armazenam códigos em Access Basic, para personalizar, aprimorar e ampliar o banco de dados.

No processo de desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados quatro objetos - tabelas, consultas, formulários e macros, que serão descritos a seguir:

Uma tabela é uma coleção de dados sobre um assunto específico. As tabelas organizam dados em colunas (chamadas campos) e linhas (denominadas registros).

Uma consulta é uma pergunta que o usuário faz a respeito de dados armazenados. O Microsoft ACCESS reúne os dados que respondem a pergunta a partir de uma ou mais tabelas.

O formulário é usado para visualizar e editar informações de registro em registro, no banco de dados. Um formulário exibe apenas as informações desejadas, do modo requerido; emprega controles, como caixas de texto e caixas de verificação, o que facilita a visualização e a edição de dados; possui um visual atraente e exclusivo, pois o tamanho e a aparência de todos os objetos podem ser controlados.

Um macro é um conjunto de ações, tais como abrir um formulário ou imprimir um relatório. Os macros são gravados para automatizar tarefas comuns, o que torna o trabalho mais rápido e eficiente.

A Figura 5.3. apresenta a estrutura geral do banco de dados EQUIP, desenvolvido através do *software* Microsoft ACCESS.



Figura 5.3 Estrutura geral do banco de dados EQUIP

O banco de dados informatizado dos equipamentos na construção, denominado EQUIP possui 26 tabelas, 2 consultas, 27 formulários dos equipamentos, 44 formulários com informação sobre os fabricantes e 25 macros, utilizados para assegurar a ligação automática do sistema especialista EQUIPES com o banco de dados dos equipamentos.

A Figura 5.4. apresenta uma tabela do banco de dados EQUIP.

ID	Equipamento	Tipo de uso	Altura (mm)	Comprimento	Largura (mm)	Peso (kg)
1	MISTURADOR UNIV	PRODUÇÃO DE ARC	0	0	0	0
2	TURBO MISTURAD	PRODUÇÃO DE ARC	1500	1300	900	100
3	MISTURADOR DE A	PRODUÇÃO DE ARC	1090	1350	620	110
4	MISTURADOR M-80	PRODUÇÃO DE ARC	0	0	0	95,5
5	BETONEIRA BSK10	PRODUÇÃO DE COI	1370	1000	700	150 SEM MOT
6	MISTURADOR MV-1	PRODUÇÃO DE ARC	0	0	0	0
7	BETINHA 110L	PRODUÇÃO DE ARC	0	0	0	58 SEM MOTO
8	TURBO MISTURAD	PRODUÇÃO DE ARC	1180	1950	1000	220
9	BETONEIRA 120L B	PRODUÇÃO DE ARC	1100	1100	650	95 SEM MOTO
10	BETONEIRA PORTÁ	PRODUÇÃO DE ARC	1100	1700	700	121
11	BETONEIRA 145 L	PRODUÇÃO DE ARC	1220	1362	666	97 SEM MOTO
12	BETONEIRA SUPEF	PRODUÇÃO DE ARC	1100	1700	700	110 SEM MOT
13	BETONEIRA 220 L E	PRODUÇÃO DE ARC	1650	1170	800	191 (177 SEM I
14	BETONEIRA STANC	PRODUÇÃO DE ARC	0	0	0	0
15	BETOMIX BTM 120	PRODUÇÃO DE COI	1290	1150	680	180 SEM MOT
16	BETOMIX BTM 220	PRODUÇÃO DE COI	1310	1400	820	180
17	BETOMIX BTM 220	PRODUÇÃO DE COI	1310	1400	820	180
18	BETOMIX BTM 320	PRODUÇÃO DE COI	1520	1990	840	315
19	BETONEIRA 100A	PRODUÇÃO DE ARC	1330	1175	720	140
20	BETONEIRA 100	PRODUÇÃO DE ARC	1330	1175	720	140
21	BETONEIRA 220	PRODUÇÃO DE ARC	1260	1690	850	212
22	BETONEIRA 320	PRODUÇÃO DE ARC	1430	2050	990	345 SEM MOT
23	BETONEIRA WTB-3	PRODUÇÃO DE ARC	1550	2000	1050	307

Figura 5.4 Tabela do banco de dados EQUIP

O banco de dados inclui 229 unidades de máquinas e 44 fabricantes e distribuidores de equipamentos na construção, no Brasil. Os equipamentos incluídos no banco de dados EQUIP são: alisadoras (7), apagador de cal (1), betoneiras e masseiras (61), bombas (19), caçambas (17), carrinhos (17), compactadores (3), cortadores (2), dispositivo para vácuo (1), dobradeiras (8), dumper (1), elevadores (5), frezas (4), guas (12), guinchos (16), guindastes (11), moedor de entulho (1), peneirão (1), placas vibratórias (6), régua vibratória (14), serra (1), vibradores (21). Foram elaboradas 38 fotos digitalizadas dos equipamentos. A figura 5.5 apresenta um formulário do banco de dados.

**Betoneiras**

ID: 5      Equipamento: BETONEIRA BSK100

Tipo de uso: PRODUÇÃO DE CONCRETO

Marca: MORITZ DKN DO BRASIL INDÚSTRIA DE MÁQUINAS LTDA

Altura (mm): 1370

Comprimento (mm): 1000

Largura (mm): 700

Capacidade: 100l

Peso (kg): 150 SEM MOTOR

Mão-de-obra: Pedreiros: 1  
Serventes: 1

Requisitos para funcionamento: ENERGIA ELÉTRICA, GASOLINA

Outras informações: 25/30 CICLOS/h, ROTAÇÃO DO TAMBOR 28/30 RPM

Endereço

Registro: 5 de 61

Figura 5.5 Formulário do banco de dados EQUIP

### 5.3. MODELO FUNCIONAL DO SISTEMA EQUIPES

Será descrito a seguir o modelo funcional do sistema EQUIPES, no qual são apresentadas as três funções do sistema: função informativa, função consulta para escolha do método de movimentação de materiais e cálculo comparativo.

#### 5.3.1. Função informativa

O objetivo dos dois primeiros módulos do sistema (Módulo A e Módulo B) é oferecer ao usuário informação sobre os equipamentos presentes no mercado brasileiro, organizando a informação disponível em uma forma computadorizada, mais fácil e rápida de usar do que um manual no papel.

A consulta no sistema EQUIPES começa com a escolha da fase do material ou componente a ser manipulado. A tarefa de movimentação de materiais e componentes recebe destaque especial no sistema, devido à sua importância no canteiro da obra, sendo os equipamentos para esta fase apresentados no Módulo B do sistema. No Módulo A são

agrupados equipamentos para atividades nas fases de preparação e aplicação dos materiais e componentes na construção de edificações, como também para acabamento e limpeza.

Escolhida uma das fases, o sistema mostra uma lista de atividades disponíveis para esta fase. Por exemplo, na lista da fase de aplicação dos materiais e componentes, são disponíveis as seguintes atividades: aplicar argamassa; concreto à vácuo; vibrar laje; vibrar peças externamente; vibrar peças internamente.

Quando uma das atividades é escolhida, automaticamente o sistema oferece as informações sobre o equipamento disponível para esta atividade. As informações são organizadas sob a forma de uma ficha técnica do equipamento, na qual consta uma foto digitalizada do equipamento. Existe também possibilidade de acessar o banco de dados externo, caso se queira conhecer os modelos deste equipamento disponíveis no mercado nacional e os seus possíveis fornecedores.

A lógica da consulta no Módulo A do sistema é apresentada na figura 5.6. Os dados de entrada, que devem ser escolhidos no menu do sistema são a fase e a atividade, para a qual o equipamento é necessário. A saída do módulo é a resposta do sistema oferecendo informação sobre o equipamento.

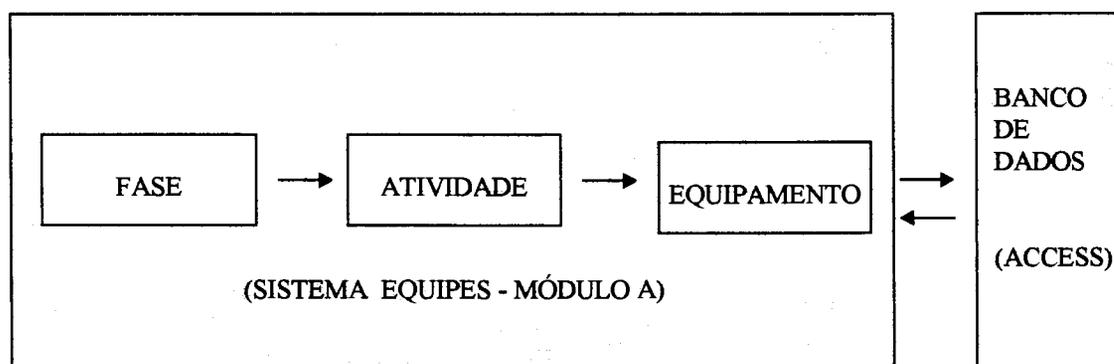
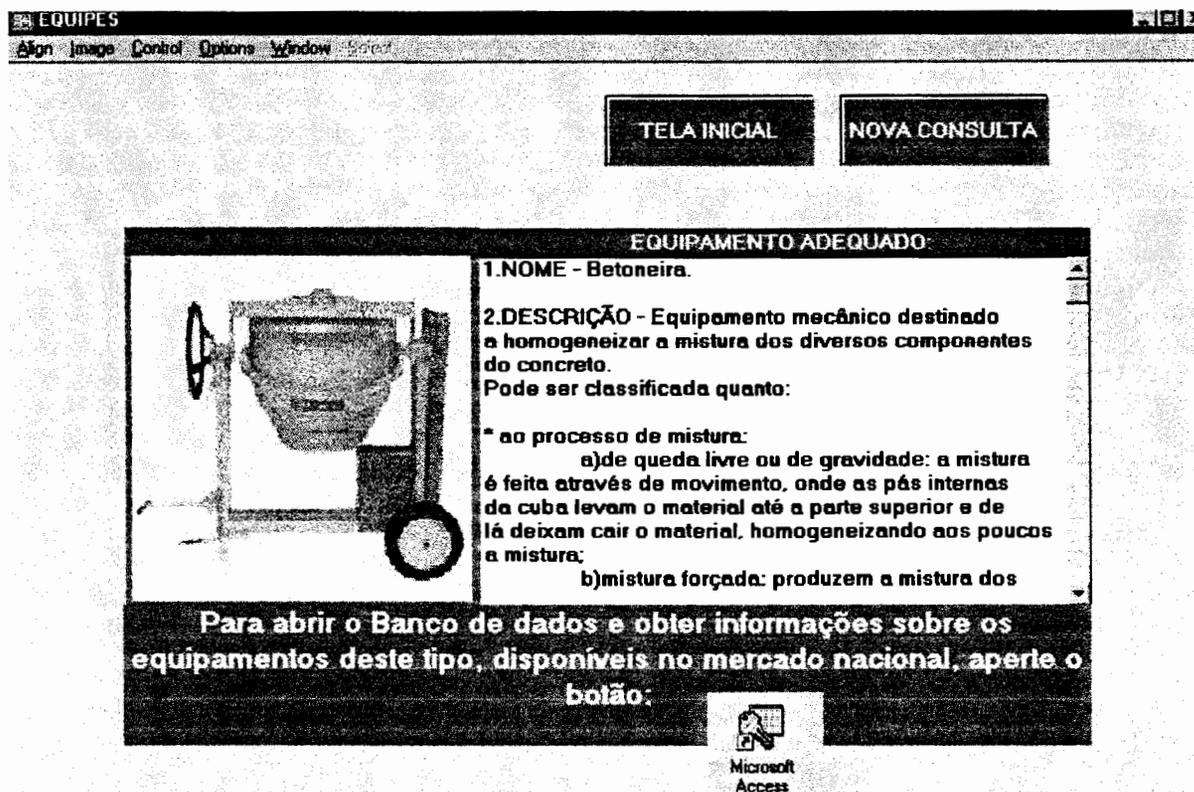


Figura 5.6. Lógica da consulta no Módulo A do sistema EQUIPES

A Figura 5.7. apresenta a disposição das informações na tela do computador, dentro do Módulo A.



Obs.: Todas as escolhas deste sistema deveriam ser executadas colocando o ícone do mouse sobre a opção desejada e clicando uma vez o botão da esquerda.

Figura 5.7 Tela com a resposta do sistema EQUIPES ao fim do Módulo A

O objetivo do segundo módulo do sistema - Módulo B é oferecer para o usuário informações sobre equipamentos para movimentação de materiais e componentes na construção de edificações. A lógica da consulta é ampliada com a identificação das condições específicas no canteiro da obra a ser executada. Neste caso, o sistema oferece uma orientação para o usuário sobre a escolha do equipamento, conforme os seguintes fatores:

- a) material a ser movimentado (concreto, tijolos/blocos, argamassa ou aço);
- b) direção da movimentação (horizontal, vertical ou espacial);
- c) lugar da movimentação (no canteiro, nos andares);
- d) características do canteiro (restrito - distâncias para percorrer até 50m, espaçoso - distâncias maiores de 50m);
- e) número de blocos previstos no projeto (um bloco, vários blocos);
- f) condições de entrega do material (paletizados, sem paletização).

A lógica da consulta no Módulo B é apresentada na figura 5.8.

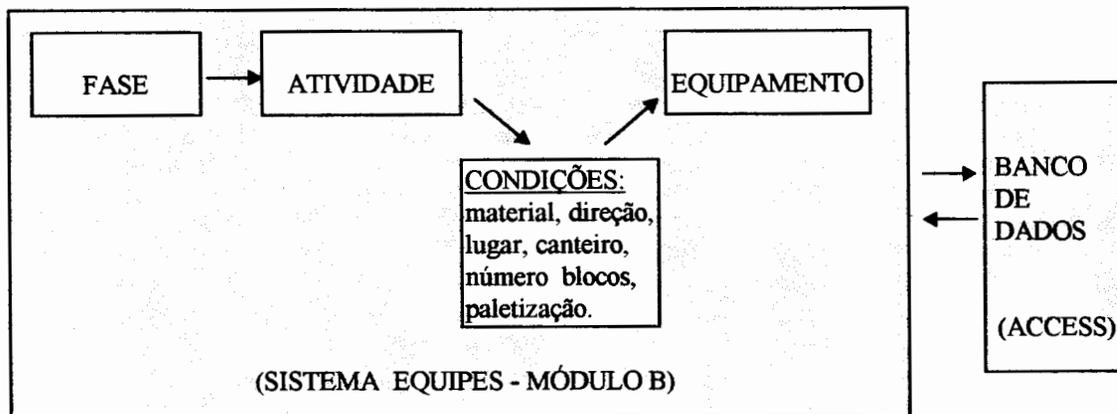
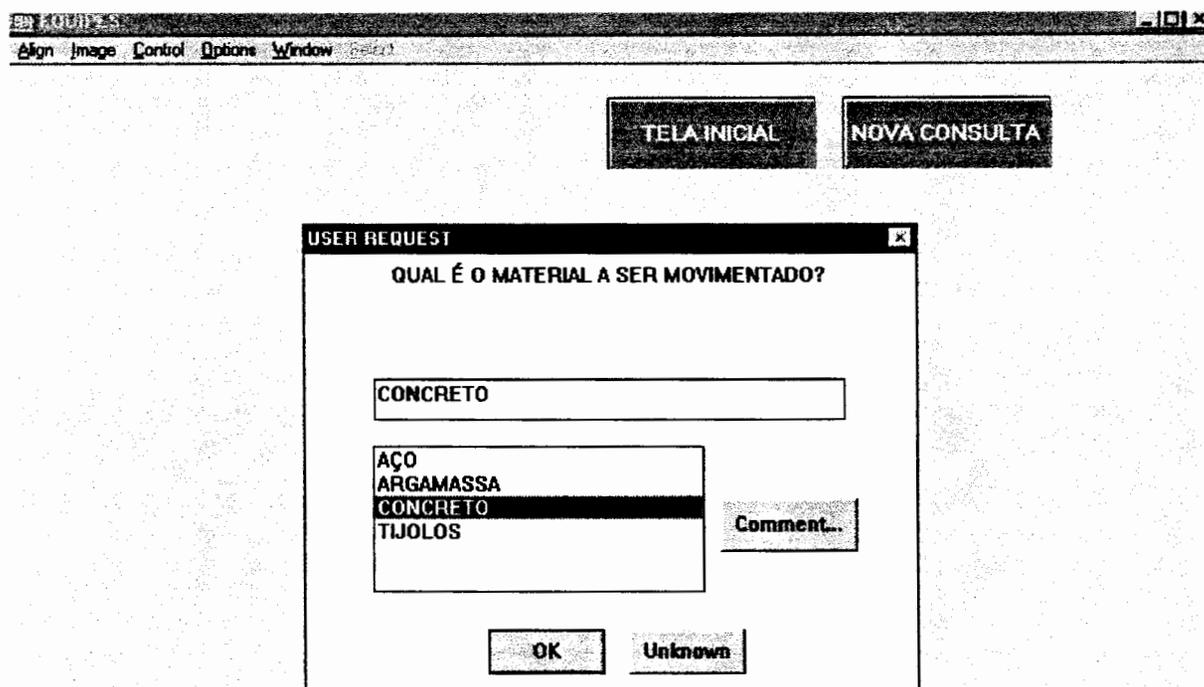


Figura 5.8 Lógica da consulta no Módulo B do sistema EQUIPES

O usuário responde as perguntas do sistema, que identifica quais são as condições, prosseguindo a consulta até encontrar o equipamento adequado para este caso específico. O sistema conduz a conversa com o usuário conforme as suas respostas, oferecendo não todas as perguntas, mas uma seqüência de questões adequadamente escolhida de acordo com respostas anteriores. A Figura 5.9 mostra a maneira como é feito o diálogo entre o sistema e o usuário.



Obs.: Todas as escolhas deste sistema deveriam ser executadas colocando a ícone do mouse sobre a opção desejada e clicando uma vez o botão da esquerda.

Figura 5.9 Exemplo da estrutura do diálogo entre o sistema e usuário

O usuário pode escolher uma das opções oferecidas pelo sistema e confirmar sua escolha. Quando o usuário não entende completamente a pergunta apresentada, existe a possibilidade de buscar mais esclarecimentos através do botão *comment* e depois disso responder a pergunta.

A resposta do sistema no Módulo B é apresentada da mesma forma que no Módulo A, sendo mostrada a ficha técnica do equipamento, com a sua foto e a possibilidade de acessar o banco de dados.

### 5.3.2. Função consulta

A terceira função do sistema consiste em, além de buscar informações para os equipamentos disponíveis, auxiliar a escolha do método de movimentação de materiais na obra.

O Módulo C do sistema tem o objetivo de dar apoio à decisão do usuário sobre a escolha do método para movimentação do concreto e dos demais materiais no canteiro, buscando atingir os prazos do cronograma da mesma. A lógica da decisão, embutida no Módulo C, é mostrada na Figura 5.10.

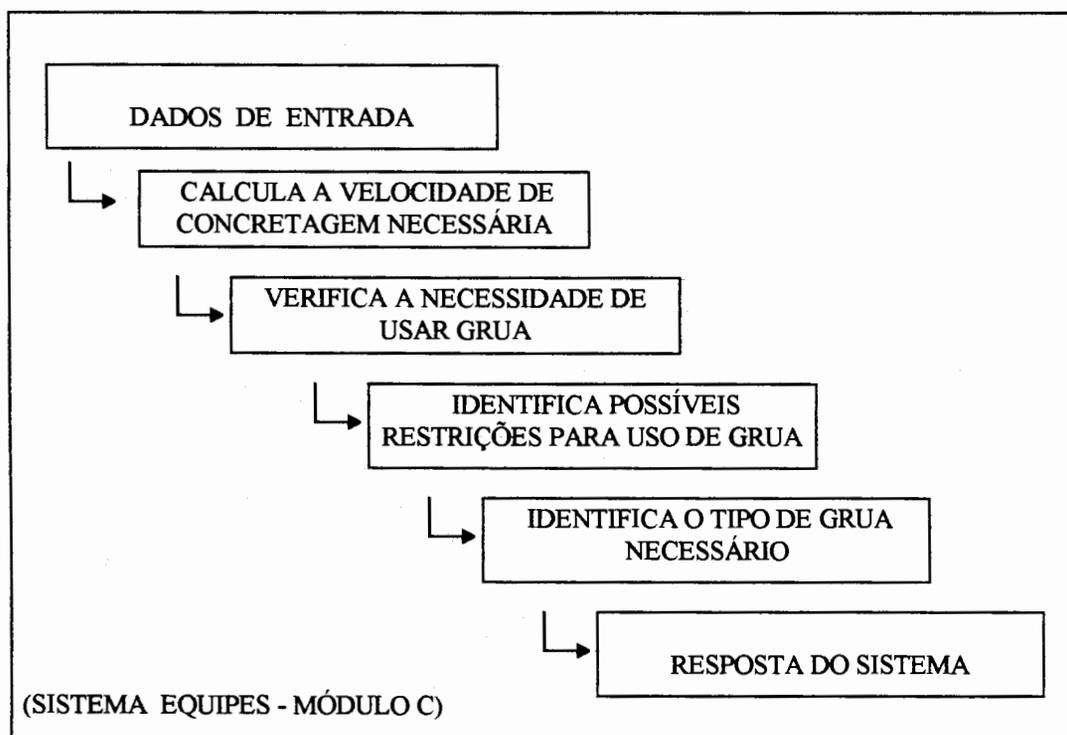


Figura 5.10 Lógica do Módulo C do sistema EQUIPES

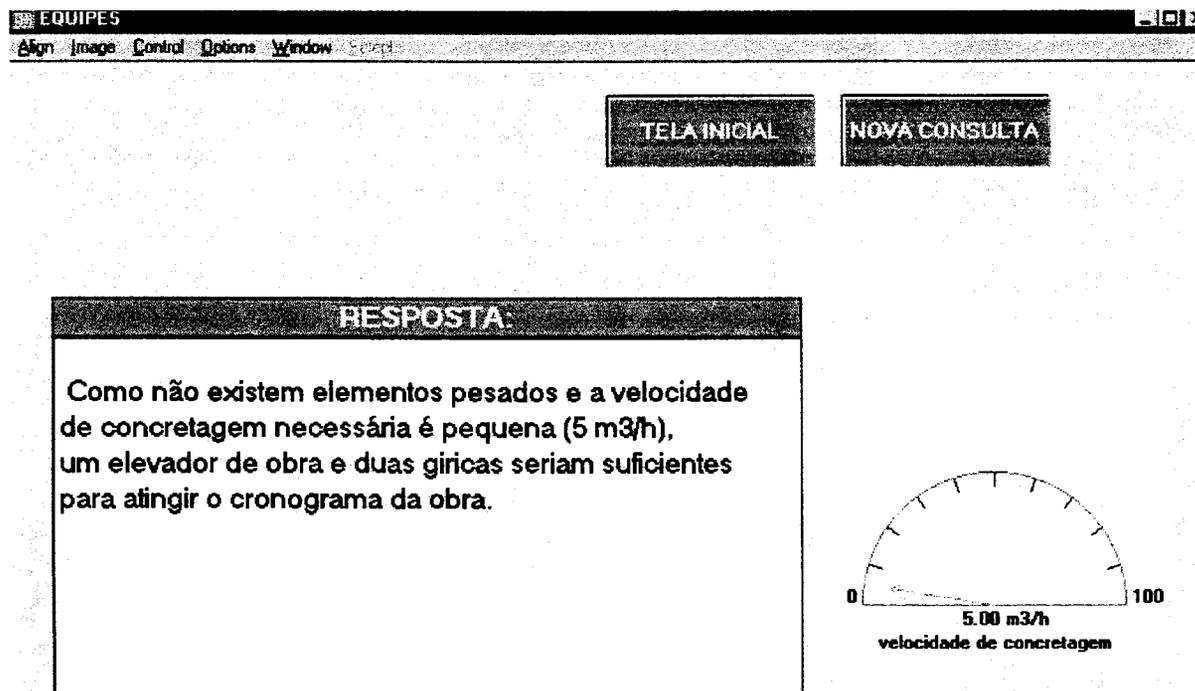
Os dados de entrada no Módulo C são:

- a) volume de concreto por pavimento tipo ( $V_c$ ) em metros cúbicos e o número de pavimentos ( $n_0$ ) do prédio (quantidades, definidos no projeto);
- b) tempo de execução da estrutura do prédio, em dias (conforme o cronograma da obra).

Depois da entrada de dados, o sistema calcula a velocidade de concretagem necessária para cumprir os prazos, definidos no cronograma da obra e mostra este valor na tela do computador.

Começa a seguir um diálogo com o usuário para identificar as condições específicas no canteiro e definir o método de movimentação mais adequado, percorrendo os seguintes passos:

- a) verifica se existe a necessidade de usar grua na obra;
- b) quando identificada a necessidade de uso de grua, verifica a presença de restrições deste uso;
- c) define o tipo de grua mais adequado nas condições específicas da obra.



Obs.: Todas as escolhas deste sistema deveriam ser executadas colocando a icone do mouse sobre a opção desejada e clicando uma vez o botão da esquerda.

Figura 5.11 Imagem de uma possível resposta do sistema ao fim do Módulo C

No fim, o sistema apresenta ao usuário uma orientação sobre a escolha do método de movimentação de materiais no canteiro da obra. Uma possível resposta no fim da consulta do Módulo C do sistema EQUIPES é apresentada na Figura 5.11.

### 5.3.3. Cálculo comparativo

Este módulo tem o objetivo de comparar os diferentes métodos de movimentação de materiais e componentes em termos de tempo e custo. A lógica do Módulo D do sistema EQUIPES é apresentada na figura 5.12.

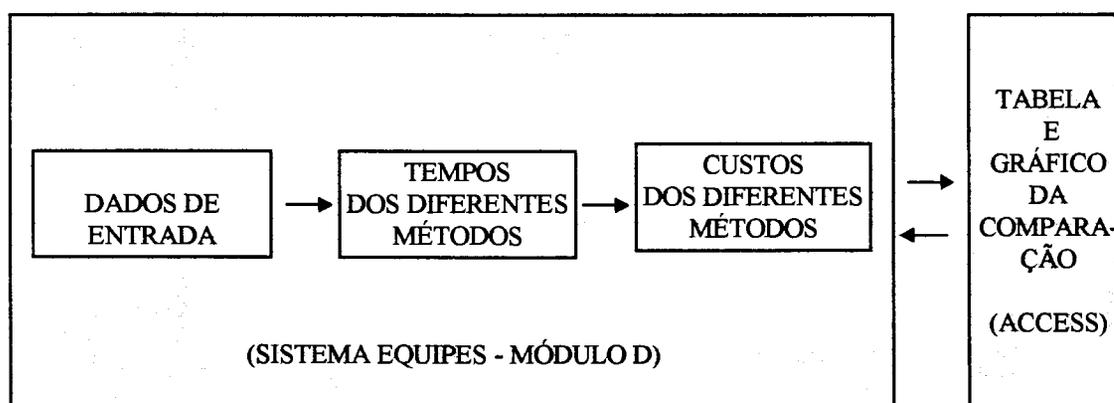


Figura 5.12 Lógica do Módulo D do sistema EQUIPES

Os dados de entrada no Módulo D são:

- a) volumes ( $m^3$ ) dos principais materiais segundo o projeto (concreto, argamassa e tijolos/blocos);
- b) peso do aço (kg);
- c) número de pavimentos previstos no projeto.

Além disso é necessário um trabalho prévio de medições e identificação dos valores dos tempos e custos para cada método escolhido. No protótipo do sistema EQUIPES são embutidos valores *default*, mas o usuário pode entrar com seus próprios dados, obtidos em sua experiência prática.

A consulta segue com a confirmação da intenção do usuário em receber a tabela e o gráfico de comparação dos diferentes métodos. A resposta do sistema é oferecida em *software* ACCESS e um exemplo pode ser observado na figura 5.13.

Os quatro módulos do sistema EQUIPES, descritos no presente capítulo, são integrados entre si, formando um sistema único.

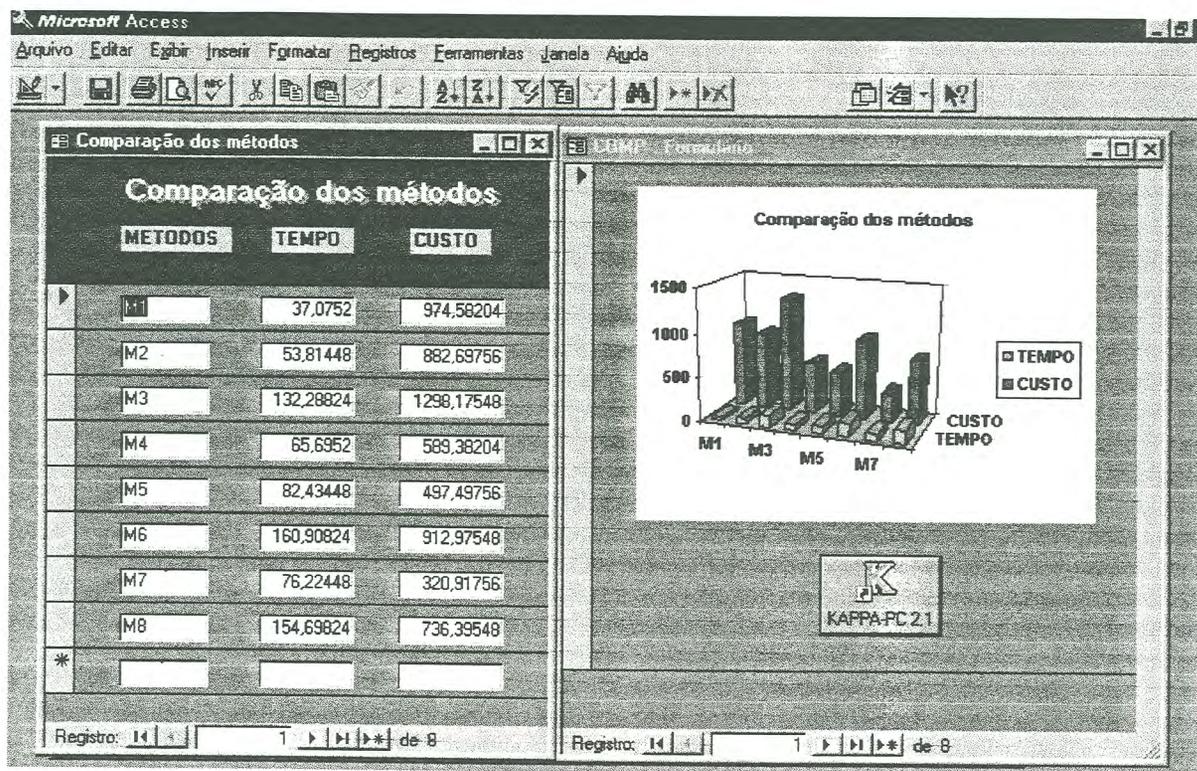


Figura 5.13 Resposta do sistema ao fim da consulta no Módulo D

A integração dos quatro módulos no sistema EQUIPES permite a entrada de dados única - não é necessário entrar com um dado duas vezes. Quando necessário, o sistema procura o valor já incluído em módulos anteriores e só pede a confirmação do usuário. Por exemplo, o valor do volume de concreto e o número de pavimentos, digitados no Módulo C, são apresentados no painel dos dados de entrada no Módulo D.

## 5.4. MODELO FÍSICO DO SISTEMA

O modelo físico do sistema EQUIPES consiste na sua estrutura interna que pode ser dividida em base de conhecimento, mecanismo de inferência e interfaces diferentes, quais são descritos a seguir.

### 5.4.1. Base de conhecimento

#### 5.4.1.1. Paradigmas de representação de conhecimento

Existe uma variedade de métodos de representação de conhecimento. Segundo KERR (1991), poderiam ser classificados três tipos de paradigmas:

a) paradigma baseado em regras:

- b) paradigma da lógica de predicados;
- c) paradigma orientado por objetos.

A **representação baseada em regras** é o paradigma mais popular e mais fácil de compreender para codificação do conhecimento utilizado na solução de problemas. A maioria dos primeiros sistemas especialistas foram desenvolvidos com o paradigma baseado em regras. Muitos dos sistemas especialistas desenvolvidos atualmente continuam a usar este paradigma, às vezes combinado com outros formalismos.

Segundo KERR (1991), um sistema especialista baseado em regras consiste nos seguintes componentes: base de conhecimento e sistema de inferência.

A base de conhecimento armazena os fatos básicos ou conhecimento declarativo, conhecido atualmente sobre o domínio do problema, e também inclui as regras, que armazenam o conhecimento específico condicional sobre o domínio escolhido, apresentado em forma de regras tipo situação-ação, da forma:

**Se (condição), então (ação).**

A Figura 5.14 apresenta uma regra do sistema EQUIPES.

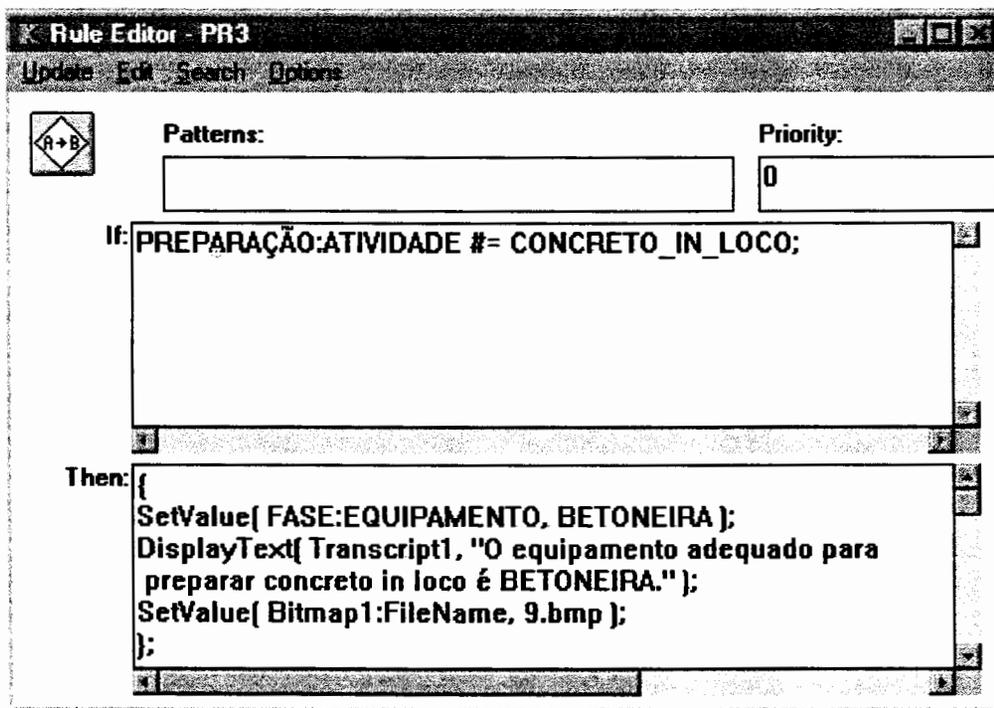


Figura 5.14 Uma regra do sistema EQUIPES

*Descreve o equipamento (betoneira) para a atividade “preparar concreto in loco”.*

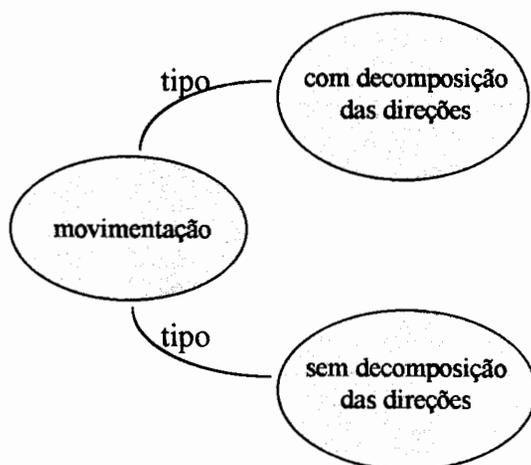
O sistema de inferência exerce o controle sobre como as regras devem ser aplicadas na resolução do problema. As formas de inferência normalmente aplicadas são encadeamento para frente (*Forward Chaining*) e encadeamento para trás (*Backward Chaining*), que busca atingir uma meta estabelecida, podendo existir também uma combinação de ambos.

A representação do conhecimento através de regras normalmente oferece fácil explicação sobre como se chegou a uma determinada conclusão. O sistema pode documentar o caminho da decisão, começando com a descrição do problema e terminando com a solução do mesmo, armazenando as regras que foram ativadas ao longo do processo decisório.

A **representação baseada em lógica de predicados** consiste em apresentar simples fatos e associações entre fenômenos existentes através de preposições lógicas (predicados). Existem preposições simples e, também, preposições compostas, que ligam duas ou mais preposições simples, através das conexões *and*, *or*, *not*. A linguagem de programação PROLOG é baseada em lógica de predicados (KERR, 1991).

O paradigma de **representação do conhecimento orientado por objetos** foi desenvolvido a partir do fato de que o pensamento humano geralmente tende a estruturar o mundo real como partes de informação sobre objetos reais ou conceitos importantes sobre eles. Quando orientado por objetos, o conhecimento pode ser organizado de duas formas - através de redes semânticas (de associações), ou através de frames. (KERR, 1991)

REDE SEMÂNTICA:



FRAME:

nome: GIRICA
fase: MOVIMENTAÇÃO
decomposição das direções: SIM
direção: HORIZONTAL
material: CONCRETO, ARGAMASSA
lugar: NO CANTEIRO, NOS ANDARES
dimensões do canteiro: RESTRITO

Figura 5.15 Exemplos de representação do conhecimento através de rede semântica e através de frame

Nas redes semânticas, os objetos ou conceitos são interligados através das associações que existem entre eles. A frame é uma descrição estruturada das propriedades de um objeto ou classe de objetos (KERR, 1991). A Figura 5.15 mostra exemplos de representação do conhecimento através de rede semântica e através de frame.

A programação orientada por objetos é uma maneira de construir programas computacionais considerando os objetos como elementos básicos. Segundo STEFIK & BOBROW (1986), os objetos são definidos como conceitos ou objetos do mundo real, que poderiam ser relacionados entre si para representar o conhecimento, combinando as propriedades de dados e de precedências.

Formando a hierarquia dos objetos e usando a herança das suas propriedades, podem ser construídos programas computacionais enxutos e bem organizados.

A organização de objetos possui:

- a) componentes: classes (objetos gerais) e instâncias (objetos específicos);
- b) atributos das classes e instâncias, organizados em *slots*;
- c) valores dos atributos.

Em KAPPA-PC existem procedimentos, capazes de dar ação e mobilidade aos atributos dos objetos, denominados **métodos**. Os métodos podem ser ativados através de envio de mensagens entre os objetos. Existem também procedimentos que controlam quando um método deve entrar em ação, denominados monitores. Estes são ativados quando necessário (*If needed*), antes da alteração dos dados (*Before Change*) depois da alteração (*After Change*) ou quando acessado (*When accessed*). Um exemplo de método do sistema EQUIPES é apresentado na Figura 5.16.

As principais características da programação orientada por objeto são:

- a) polimorfismo: é a capacidade de diferentes objetos responder aos mesmos protocolos (listas de mensagens agrupadas);
- b) especialização: é o processo de modificação de coisas genéricas para uso específico, através da herança de propriedades para suprimir informação.

Uma descrição mais detalhada sobre a programação orientada por objetos pode ser encontrada em STEFIK & BOBROW (1986), MARTIN & ODELL (1992) e WALLACE et al. (1995).

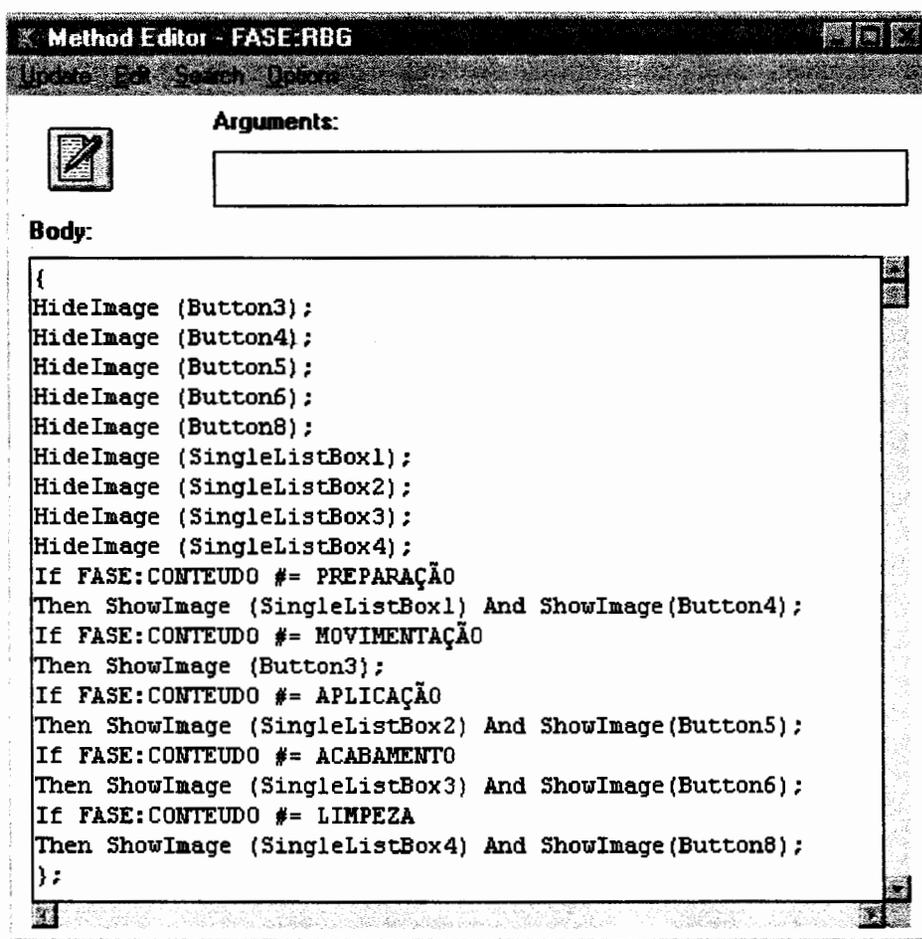


Figura 5.16 Exemplo de método no sistema EQUIPES

*O método RBG controla o funcionamento da imagem Radio Button Group*

#### 5.4.1.2. Base de conhecimento no EQUIPES

Existem vários tipos de conhecimento embutidos no sistema EQUIPES, os quais podem ser classificados em conhecimento declarativo, conhecimento condicional e conhecimento adicional (explicativo).

O conhecimento declarativo está presente nos arquivos-texto, que apresentam as fichas técnicas das máquinas e equipamentos. Os arquivos-texto fazem parte das respostas do sistema ao fim dos Módulo A e B.

Outra forma de apresentar conhecimento declarativo é através de objetos organizados em hierarquia, apresentados com seus atributos (*slots*) e respectivos valores. O conhecimento modelado no sistema EQUIPES foi representado através de uma hierarquia de objetos. A Figura 5.17 mostra um *slot* do sistema e a Figura 5.18 apresenta a hierarquia dos objetos (equipamentos) do Módulo B do sistema.

A vantagem deste tipo de organização é que pode ser aproveitada a herança de propriedade entre objetos, ou seja, alguns atributos podem ser definidos na classe anterior e assim válidos para todas as subclasses conseqüentes.

O conhecimento condicional é organizado principalmente sob a forma de regras tipo **se...,então...**. No sistema EQUIPES, existe conhecimento formulado em regras dentro do Módulo B, para definir o equipamento adequado para movimentação de materiais e componentes no canteiro da obra, como também no Módulo C, para identificar o método de movimentação viável nas condições específicas de uma obra, visando a cumprir os prazos estabelecidos no cronograma.

O conhecimento adicional (explicativo) foi usado nos comentários das perguntas, feitas pelo sistema. O objetivo dos comentários é oferecer esclarecimento para o usuário sobre as perguntas do sistema.

**Slot Editor - DECOMPOSTO:DIREÇÃO**

Value(s)

Cardinality

Single  Multiple

Allowable Values

HORIZONTAL  
VERTICAL

Value Type

TEXT

Monitors

If Needed

When Accessed

Before Change

After Change

Slot Inheritance

Full Inheritance to Subclasses and Instances  
 No Inheritance

\* Ask Value if NULL in Backward Chaining

Figura 5.17 Exemplo de *slot* no sistema EQUIPES

*O atributo direção, da movimentação com decomposição das direções, tem possíveis valores horizontal e vertical*

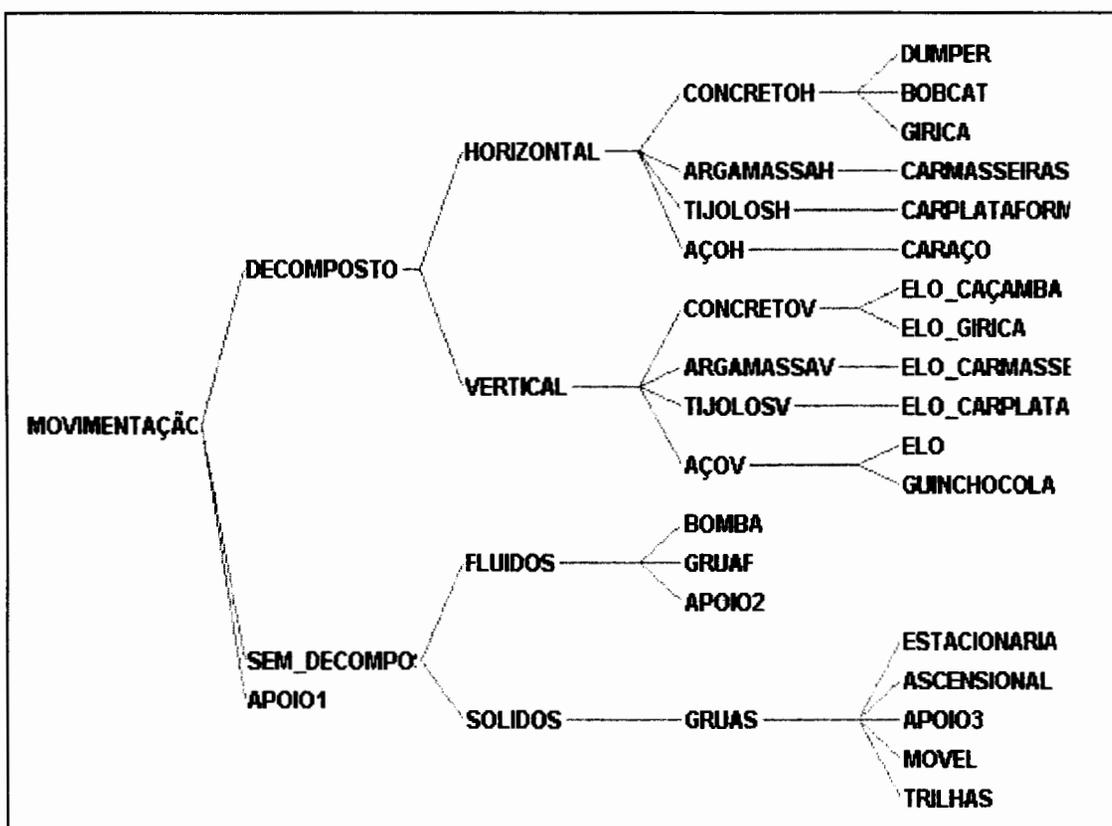


Figura 5.18 Hierarquia dos objetos (equipamentos) no Módulo B do sistema

#### 5.4.2. Mecanismo de inferência no EQUIPES

No sistema EQUIPES, adotou-se a forma de encadeamento para trás. Foram determinadas três metas nos três pontos diferentes do sistema. Buscando atingir as metas, o sistema procura as regras relacionadas com a meta específica, até atingir o seu objetivo. Por exemplo, a meta no Módulo B é verificar se o valor da dupla FASE:EQUIPAMENTO é um valor conhecido. Uma dupla (ou par) em linguagem da KAPPA-PC é um nome de objeto e um nome de atributo deste objeto, separados com dois pontos. O sistema entra em diálogo com o usuário, recebe suas respostas, compara as condições e conclusões de várias regras, até chegar a uma conclusão - um tipo de equipamento. Se o nome deste equipamento é um valor conhecido (valor aceitável), a meta é atingida e o sistema apresenta sua resposta. A princípio, o processo de busca pode percorrer todas as regras, disponíveis no sistema. Isto, porém, tornaria o processo demorado e obscuro. Uma maneira mais inteligente é organizar listas com as regras, direcionadas para uma meta específica. Assim, no processo de busca para atingir a meta, o sistema percorre só as regras da lista e completa a tarefa com mais rapidez e com maior possibilidade de controle no processo.

Além das regras, outra maneira de executar comandos em KAPPA-PC é através de **funções**, próprias da *shell*, tais como:

- a) *ShowImage*: mostra na tela uma imagem que estava apagada;
- b) *HideImage*: apaga uma imagem e assim ela não aparece na tela;
- c) *ResetValue*: remove o valor atual do *slot* e envia valor nulo ou um valor previamente estabelecido;
- d) *Execute*: executa um programa externo;
- e) *Exit*: fecha a sessão em KAPPA-PC e retorna para o sistema operacional;
- f) *KnownValue?*: determina se o valor existe dentro do *slot*;
- g) *BackwardChain*: exige que o mecanismo de inferência inicie a procura das regras usando *backward chaining* para atingir a meta;
- h) *PostInputForm*: envia uma janela com vários espaços de valores de atributos, para serem preenchidas pelo usuário;
- i) *PostMessage*: envia uma janela com mensagem para o usuário e espera para sua confirmação.

```

Function Editor - OKMOV
Update Edit Search Options

Arguments:

Body:
{
  HideImage( Text6 );
  HideImage( Button11 );
  HideImage( Button12 );
  HideImage( Button13 );
  BackwardChain( EQUIPAMENTO, MOV1A, MOV1C, MOV2FA, MOV2FC, MOV3FA,
    MOV3FC, MOV4FA, MOV4FC, MOV5FA, MOV5FC, MOV6FA, MOV6FC,
    MOV2SA, MOV2ST, MOV3SA, MOV3ST, MOV4SA, MOV4ST, MOV5SA,
    MOV5ST, MOV6SA, MOV6ST, MOV7A, MOV7C, MOV8, MOVHC1, MOVHC2,
    MOVHC3, MOVHC4, MOVHAR1, MOVHAR2, MOVHAR3, MOVHAR4, MOVHAR5,
    MOVHAR6, MOVHAR7, MOVHT1, MOVHT2, MOVHT3, MOVHT4, MOVHT5,
    MOVHT6, MOVHT7, MOVHA1, MOVHA2, MOVHA3, MOVHA4, MOVVC1,
    MOVVC2, MOVVAR1, MOVVAR2, MOVVT1, MOVVT2, MOVVT3, MOVVA1,
    MOVVA2 );
  HideImage( RadioButtonGroup1 );
  HideImage( Button3 );
  ShowImage( Transcript1 );
  ShowImage( Text5 );
  ShowImage( Text4 );
  ShowImage( Button9 );
  ShowImage( Bitmap1 );
};

```

Figura 5.19 Exemplo de função no sistema EQUIPES

*A função OKMOV executa encadeamento para trás em uma lista de regras, buscando atingir a meta EQUIPAMENTO*

Foram também criadas novas funções em linguagem de programação KAL (*KAPPA Alternative Language*). A Figura 5.19 apresenta uma função no sistema EQUIPES. A maior função criada foi DIMENSIONAR, responsável pelo funcionamento do Módulo D do sistema. Este procedimento foi adotado no módulo de dimensionamento de sistema de transporte de materiais e componentes na obra, devido à presença de cálculos numéricos.

Quando é utilizada programação orientada por objetos, os comandos são executados através de **métodos**. No sistema EQUIPES foi criado o método denominado RBG que viabiliza o funcionamento do grupo de botões tipo “rádio”. Estes botões funcionam de maneira parecida como os botões de um rádio, só um deles pode permanecer ligado num momento (veja a Figura 5.16).

### 5.4.3. Interfaces no EQUIPES

Através da interface, o sistema interage com os diferentes participantes do processo de criação ou uso do sistema. Existem diferentes tipos de interfaces - interface de desenvolvimento, do usuário e interface com programas externas.

#### 5.4.3.1. Interface de desenvolvimento

KAPPA-PC possui várias janelas com ferramentas para desenvolvimento de um aplicativo, como:

- a) *ObjectBrowser*: a janela na qual é criada a hierarquia dos objetos - classes, subclasses e instâncias, com seus atributos (*slots*) e respectivos valores;
- b) *Edit Tools*: janela que contém ferramentas para criar regras, funções e metas (*goals*);
- c) *SessionWindow*: funciona em dois modos diferentes - *Layout Mode*, onde são criadas várias imagens construindo a interface do usuário e *Runtime Mode*, onde o usuário usa o sistema pronto.

A Figura 5.20 apresenta uma tela com a interface de desenvolvimento durante o processo de implementação da aplicação no ambiente computacional.



Figura 5.20 Um exemplo de interface de desenvolvimento

#### 5.4.3.2. Interface do usuário

A interface do usuário é a visão final do sistema criado, com o qual o usuário interage através da entrada de dados (tipo menu, texto ou numéricos), escolha da linha de prosseguimento da consulta e do recebimento de orientação e de respostas do sistema.

A *shell* KAPPA-PC oferece várias imagens para desenvolvimento de uma interface amigável e atrativa para o usuário. Foram utilizadas as seguintes imagens:

- a) *Button*: imagem retangular que, quando acessada, dispara a função associada à mesma;
- b) *Text*: imagem de texto imóvel;
- c) *Transcript*: janela que mostra um arquivo-texto em partes que podem ser movidas;
- d) *Bitmap*: imagem gráfica digitalizada que pode ser aumentada ou diminuída;
- e) *Meter*: imagem que possibilita a visualização de uma variável numérica;
- f) *SingleListBox*: imagem que possibilita a visualização e a modificação de uma variável de uma lista de variáveis;

g) *MultipleListBox*: imagem que possibilita a visualização e a modificação de variáveis de uma lista preestabelecida;

A Figura 5.21 apresenta uma tela da interface com o usuário.

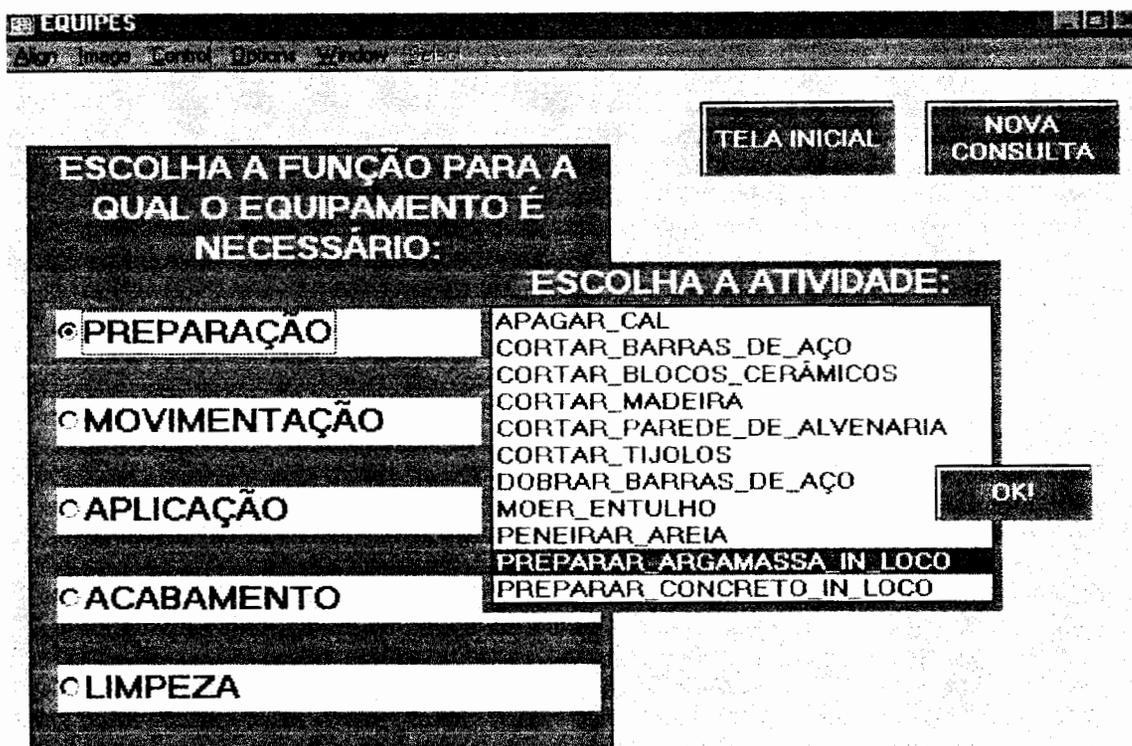


Figura 5.21 Tela da interface com o usuário

#### 5.4.3.3. Interface com programas externos

Neste trabalho foi buscada a ligação do sistema implementado em KAPPA-PC com programas externos para conectar o banco de dados e para apresentar o resultado final do sistema em forma de tabela e gráfico. Como KAPPA-PC não possui ferramentas específicas para desenvolvimento de bancos de dados, planilha eletrônica e boas ferramentas para criar gráficos, foi necessário buscar outros *softwares* adequados para estas atividades, conectando-os com o sistema.

Foi utilizada a possibilidade do KAPPA-PC de conectar outros programas do ambiente Windows, como o *software* Microsoft ACCESS para gerenciar o Banco de dados.

Outra intenção de ligação externa foi mostrar a comparação dos métodos de movimentação de materiais e componentes em forma de tabela e gráfico, usando o *software* Microsoft EXCEL. Depois de longas tentativas fracassadas de executar uma ligação dinâmica entre o *shell* KAPPA-PC e Microsoft EXCEL, optou-se por apresentar a tabela e o gráfico no Microsoft ACCESS, passando os dados tabulados através de arquivos com formato de dBASE IV.

Desta maneira, foi criada uma ligação dinâmica entre os dois *softwares* utilizados - KAPPA-PC e Microsoft ACCESS. Sempre que os valores no sistema EQUIPES são alterados, automaticamente aparecem novos resultados na tabela e no gráfico da resposta final.

Na Figura 5.13 pode ser observada a forma de apresentar os resultados do sistema EQUIPES através de tabela e gráfico de programas externos (Microsoft ACCESS).

## CAPÍTULO 6

### AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

No presente capítulo é apresentada a avaliação do protótipo, descrevendo inicialmente os termos de verificação e validação, e o papel do futuro usuário na avaliação. Mais adiante é apresentado o teste da aplicação em condições reais.

#### 6.1. TERMOS DA AVALIAÇÃO

A avaliação, segundo O'KEEFE et.al. (1987), corresponde a uma tarefa ampla, cujo objetivo consiste em estimar o valor do sistema construído. É nesta fase que se avalia o desempenho do sistema como um todo - seu desempenho ao nível de qualidade de respostas oferecidas pelo sistema, como também seu desempenho físico.

GASCHNIG et.al. (1983), sugere os seguintes aspectos a serem avaliados num sistema especialista desenvolvido:

- a) qualidade da consulta oferecida para o usuário e das decisões tomadas pelo sistema;
- b) exatidão das técnicas de apresentação do raciocínio utilizadas;
- c) qualidade da interface com o usuário do sistema;
- d) eficiência do sistema;
- e) efetividade dos recursos utilizados.

É difícil, na prática, estabelecer critérios rigorosos para executar esta avaliação. Por esta razão, até recentemente, as avaliações foram enfocadas sobre os dois primeiros aspectos. A maioria dos autores descrevem testes sobre exatidão e perfeição da base de conhecimento e a coerência do processo de raciocínio (itens *a* e *b*). Apesar da essencialidade destes aspectos, é clara a importância de avaliar a interação do computador com o usuário (item *c*), como também avaliar a possibilidade de uso do sistema na prática (BERRY & HART, 1990).

GUPTA (1993) considera que a qualidade de um sistema especialista está intimamente ligada ao processo de avaliação realizado e que a confiabilidade transmitida ao usuário depende do rigor com que este processo é desenvolvido.

Até o início dos anos noventa, foi bastante freqüente a avaliação de sistemas especialistas apenas nos estágios finais de seu desenvolvimento, sem a participação do futuro usuário do sistema e com a utilização de métodos empregados de forma não rigorosa ou informal. Recentemente surgiu a preocupação para uma maior integração entre o processo de desenvolvimento e a avaliação do sistema, admitindo que estes dois processos podem acontecer juntos (BERRY & HART, 1990).

### **6.1.1. Verificação e validação**

O'KEEFE et.al. (1987), descrevem duas partes importantes da avaliação de um sistema especialista:

- a) verificação da manipulação da base de conhecimento e execução dos esquemas de inferência;
- b) validação, que procura considerar se as soluções propostas pelo sistema estão de acordo com o esperado na solução das tarefas.

Os mesmos autores consideram que, em geral, a validação determina se o sistema certo foi construído (se o desempenho do sistema atinge níveis aceitáveis de precisão) e a verificação indica se o sistema foi construído certo (se o conhecimento é implementado corretamente).

Normalmente, a verificação é executada por participantes da construção da aplicação - o especialista e o engenheiro de conhecimento, testando o maior número possível de caminhos, oferecidos pelo sistema com casos fictícios ou documentos disponíveis, buscando assegurar a consistência interna do sistema, em termos computacionais, além de verificar possíveis erros de sintaxe (O'KEEFE et.al., 1987).

O número de caminhos possíveis através de uma base de conhecimento pode tornar-se um fator limitante no processo de verificação. Considerando-se o número de testes que devam ser executados e, dependendo do tamanho da base de regras, a verificação manual pode apresentar-se inviável, exigindo uma verificação computacional automática (LOCKWOOD & CHEN, 1995).

Tipicamente, os sistemas especialistas são validados rodando-se casos e comparando-se os resultados fornecidos pelo sistema com as soluções obtidas pelos especialistas, testando a exatidão do modelo do conhecimento embutido no sistema. Posteriormente, o engenheiro de conhecimento calcula a percentagem de acertos do sistema e usa julgamento subjetivo para analisar e explicar as possíveis falhas no sistema. Este método apresenta algumas limitações, pois a porcentagem depende da escolha dos casos e a exatidão depende do número de casos utilizados. Quando o

sistema é comparado com o especialista de quem o conhecimento foi adquirido, o processo de validação pode ter valor duvidoso (O'KEEFE et.al., 1987).

Quando possível, a validação deve ser feita por um grupo de especialistas sem participação prévia no desenvolvimento do sistema, usando-se casos documentados de teste e/ou casos reais. Devem ser observados a performance do sistema, suas lacunas e imperfeições e as facilidades de utilização do sistema (qualidade da interface com o usuário).

### **6.1.2. O papel do usuário na avaliação da aplicação**

Muitos pesquisadores na área concordam que a avaliação dos sistemas especialistas é uma tarefa importante para aperfeiçoar o projeto e desempenho dos SE, para estabelecer o valor dos SE, para legalizar seu uso e para promover seu desenvolvimento. BERRY & HART (1990) apontam, em especial, o importante papel do futuro usuário do sistema no processo da sua avaliação. A visão destes especialistas sobre o assunto inclui as seguintes considerações:

- a) a avaliação pode ocorrer ao longo do processo do desenvolvimento do sistema e não só nas fases finais;
- b) é de grande importância consultar os futuros usuários para determinar a usabilidade (possibilidade de ser utilizada na prática) do sistema;
- c) a avaliação deve ser executada de forma planejada e rigorosa.

A usabilidade de um Sistema Especialista é um dos principais fatores para o seu sucesso em condições reais. Neste sentido, o próprio usuário tem um papel de grande importância no desenvolvimento do sistema.

Um sistema útil é aquele que ajuda os usuários a atingir seus objetivos no seu trabalho do dia-a-dia. As necessidades e requerimentos dos usuários devem ser bem conhecidos e compreendidos para o sistema desenvolvido ser utilizado na prática.

BERRY & BROADBENT (1987) consideram que um sistema especialista desenvolvido será utilizado realmente na prática só quando os futuros usuários considerarem o sistema útil e de fácil acesso, o que implica uma preocupação especial com o desenvolvimento da interface com o futuro usuário.

BERRY & HART (1990) descrevem algumas técnicas, que poderiam ser utilizadas para definir a usabilidade de um sistema, como:

- a) entrevistas individuais ou coletivas, como uma técnica preliminar nas fases iniciais da avaliação, para obter uma visão geral da opinião dos futuros usuários;

- b) questionários, com perguntas fechadas ou abertas, mas sempre com a preocupação de como os resultados serão avaliados;
- c) utilização do sistema, na qual uma pessoa-avaliador trabalha com parte do sistema analisando o *hardware* e o *software* do ponto de vista do usuário;
- d) observação do comportamento de usuários que interagem com o sistema procurando uma consulta;
- e) caderno ou agenda do usuário, onde são anotadas as observações do usuário ao longo da utilização do sistema por um determinado período;
- f) análise da lógica do sistema, através de sessões com o usuário automaticamente gravadas pelo sistema, armazenando as perguntas e respostas num arquivo, para uma avaliação posterior.

A melhor prova da usabilidade de um sistema é seu teste prático, resolvendo problemas da vida real (DYM & LEVITT, 1991).

## **6.2. TÉCNICAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DO EQUIPES**

### **6.2.1. Verificação da estrutura do sistema**

A verificação da estrutura do sistema foi uma tarefa que acompanhou todo o processo de implementação do conhecimento no ambiente computacional, estendendo-se até o final da fase de avaliação, identificando possíveis inconsistências nas inferências ou erros na lógica da programação. Esta tarefa foi executada basicamente pelo engenheiro do conhecimento.

Para facilitar a tarefa de verificação, foram utilizados somente paradigmas formais de representação do conhecimento, ou seja, paradigmas conhecidos e documentados na literatura, como também foram aproveitadas as facilidades proporcionadas pela *shell* KAPPA-PC.

O sistema foi dividido em quatro módulos bem definidos e com tamanho razoável, com a preocupação de que os resultados obtidos em cada um dos módulos atingissem os objetivos do sistema como um todo.

A estrutura interna do sistema foi escrita dentro dos padrões usuais de programação e das possibilidades do próprio ambiente de desenvolvimento. Os erros de programação que atrapalhavam o prosseguimento da consulta foram identificados ao longo do trabalho, rodando casos fictícios, e eliminados imediatamente.

### 6.2.2. Validação do protótipo

Os participantes do processo de validação do protótipo do sistema especialista EQUIPES foram alguns especialistas internos do projeto, dos quais foi adquirido o conhecimento, e também, alguns especialistas externos, principalmente potenciais usuários. Desde as fases iniciais do desenvolvimento, procurou-se identificar as necessidades dos possíveis usuários do sistema, com a busca de suas opiniões sobre o assunto.

Nas fases iniciais, o processo de validação tinha carácter informal, incluindo sessões de apresentação do protótipo para especialistas e recebimento de suas opiniões sobre o sistema em desenvolvimento.

À medida que o desenvolvimento do protótipo avançava, adquirindo uma melhor interface gráfica e, de algum modo, tornando-se mais atraente para o futuro usuário, a validação passou a ter um enfoque mais formal.

Foram elaborados questionários, os quais foram distribuídos entre profissionais de algumas empresas na área de construção de edificações, localizadas nas cidades de Santa Maria e Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. A metade dos participantes da pesquisa assistiram uma sessão de apresentação do protótipo antes de responder às perguntas do questionário. Para os demais participantes, os questionários foram enviados pelo correio, junto com uma apresentação do protótipo, no papel (vide anexo do trabalho). Dos dezoito questionários distribuídos, foram respondidos treze. Apesar de ser uma amostra relativamente reduzida, este procedimento permitiu que se tivesse uma noção do nível de interesse de potenciais usuários pelo sistema.

Mais especificamente, os objetivos deste questionário foram:

a) identificar o nível de importância dos assuntos específicos de cada um dos módulos do sistema EQUIPES;

b) receber sugestões sobre a quantidade de informação embutida no protótipo, a forma de organização do conhecimento, a aparência do protótipo, facilidade (ou dificuldade) de compreensão.

Os principais resultados da pesquisa foram:

a) a existência de um banco de dados das características técnicas das máquinas e equipamentos existentes é considerada  *muito importante*  por 25% dos respondentes,  *importante*  por 50% dos respondentes,  *pouco importante*  por 25% dos respondentes e nenhum respondente considerou este assunto  *desnecessário* ;

b) orientações sobre a escolha do equipamento para movimentação dos materiais e componentes é considerada  *muito importante*  por 62% dos respondentes,

*importante* por 15% dos respondentes, *pouco importante* por 23% dos respondentes e nenhum respondente considerou o assunto *desnecessário*;

c) orientações sobre a escolha do equipamento para movimentação do concreto (grua, bomba ou elevador) de acordo com o cronograma da obra são considerados *muito importante* por 25% dos respondentes, *importante* por 75% dos respondentes, e nenhum respondente considerou este assunto *pouco importante* ou *desnecessário*;

d) a comparação dos diferentes métodos de movimentação de materiais e componentes na obra, em termos de tempo e custo, é considerado um assunto *muito importante* por 46% dos respondentes, *importante* por 46% dos respondentes, nenhum respondente considerando este assunto *pouco importante*. Para 8% dos respondentes o assunto é *desnecessário*;

Os mesmos resultados podem ser observados na Figura 6.1, em forma gráfica.

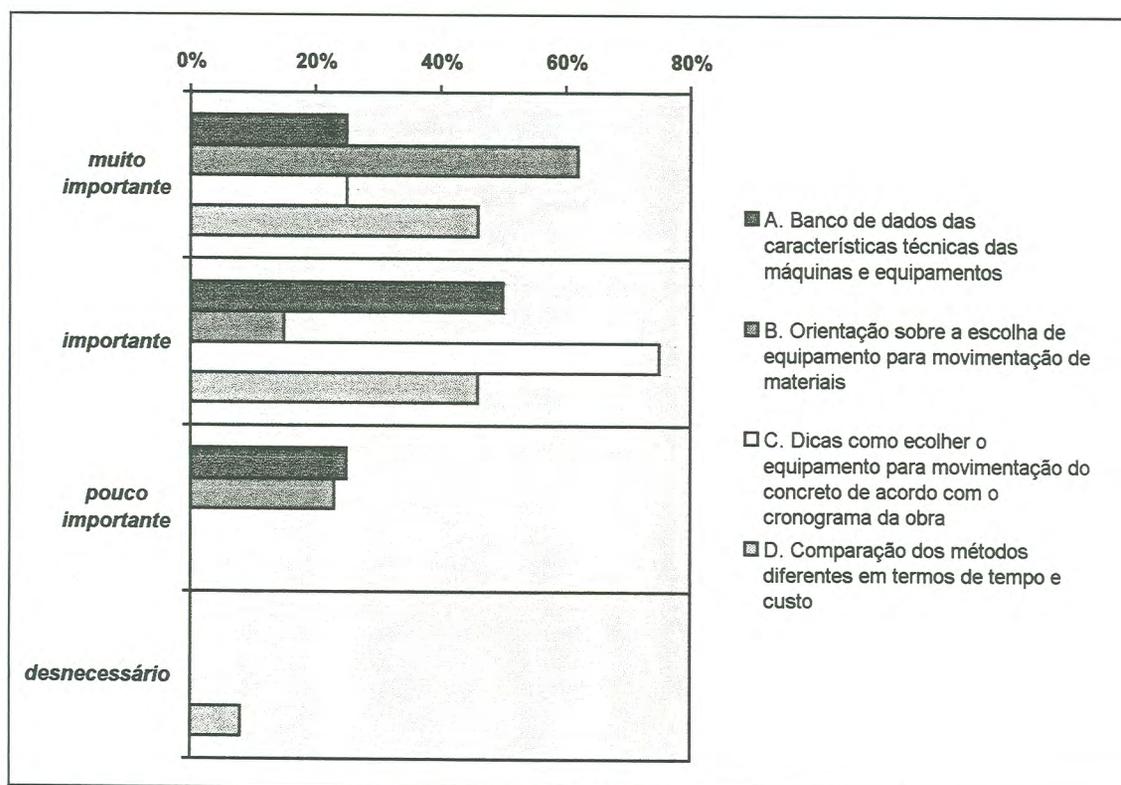


Figura 6.1 Resultados da pesquisa sobre a importância dos assuntos dos quatro módulos do protótipo do sistema EQUIPES

A segunda parte da pesquisa constou de perguntas abertas, com possibilidade de resposta livre, nas quais perguntou-se sobre a quantidade de informação embutida no sistema, forma de organização do conhecimento, aparência do protótipo e facilidade de compreensão. Os resultados estão apresentados a seguir:

a) quantidade de informação embutida: *muito boa (2 pessoas), parece boa, satisfatória, bastante completa, boa (2 pessoas), necessita explicação para os resultados obtidos;*

b) forma de organização do conhecimento: *muito boa (2 pessoas), boa (4 pessoas), adequada, necessita maior facilidade de atualização;*

c) aparência do protótipo: *ótima, muito boa, boa (4 pessoas), é bem legível e formatado;*

d) facilidade de compreensão: *muito boa, excelente, fácil (2 pessoas), é bastante simples, prático e direto.*

Com base nas respostas apresentadas, pode-se afirmar que o protótipo desenvolvido contém boa quantidade de informação embutida, tem boa forma de organização do conhecimento, boa aparência e facilidade de compreensão. A exigência para uma melhor explicação dos resultados obtidos e sobre os parâmetros utilizados na tomada da decisão considera-se válida e deve ser atendida no futuro desenvolvimento do sistema.

### **6.3. TESTE DO PROTÓTIPO EM CONDIÇÕES REAIS**

#### **6.3.1. Objetivos do teste**

A área da construção civil, diferente de outras áreas como a medicina ou aviação, é uma área não crítica, onde testes do protótipo de um sistema especialista, em condições reais, podem ser executados.

A potencialidade do protótipo do sistema EQUIPES foi testada na prática, através de dois casos reais.

Os objetivos do estudo foram:

a) ilustrar a funcionalidade do protótipo com exemplos da realidade;

b) validar a base de conhecimento do Módulo C do protótipo, para escolha dos equipamentos de concretagem de acordo com os prazos do cronograma da obra e do Módulo D, para comparação de métodos de movimentação diferentes, em termos de tempo e custo;

c) validar os dados-padrão dos tempos e dos custos que fazem parte do Módulo D do sistema;

d) mostrar, na prática, como uma empresa-construtora poderia alimentar o sistema com dados reais;

e) adquirir conhecimento da realidade para indicar falhas no modelo do sistema e possíveis caminhos para seu refinamento.

Os dados iniciais dos exemplos, o método de execução do estudo, os resultados e as conclusões são apresentados nos itens seguintes.

### **6.3.2. Exemplo A**

#### **6.3.2.1. Descrição da obra**

O primeiro caso de teste do protótipo do sistema EQUIPES é a construção de prédio habitacional de oito pavimentos. O tempo previsto para execução da estrutura do prédio é de 120 dias. As quantidades de materiais, necessários para execução de cada pavimento, são as seguintes:

(a) volume de concreto:  $64,63\text{m}^3$ ;

(b) volume de blocos cerâmicos:  $81,84\text{m}^3$  (dimensões do bloco - 10/15/20cm);

(c) volume de argamassa:  $73,74\text{m}^3$ ;

(d) peso de aço: 5700kg.

O equipamento principal, utilizado para movimentação de materiais na obra é uma grua ascensional, modelo MS-14000. O operador da grua é muito bem treinado e consegue executar várias operações da grua simultaneamente. A política da empresa é utilizar grua sempre que possível nas suas obras. A obra possui apenas uma pequena betoneira para produção de argamassa pois a empresa optou por utilizar concreto usinado. A empresa prefere não utilizar concreto bombeado, para evitar danos nas tubulações da instalação elétrica, segundo a opinião do engenheiro da obra. A intenção do engenheiro da obra é movimentar os materiais em grandes quantidades (i.e.: concreto e argamassa com caçamba; tijolos/blocos, junto com carrinho plataforma; armaduras em feixe), considerando assim a presença de elementos pesados.

#### **6.3.2.2. Aplicação do teste**

A consulta no Módulo C do sistema EQUIPES começa com a entrada de dados - quantidade de concreto por pavimento tipo, número de pavimentos e tempo previsto para execução da estrutura do prédio. O quadro 6.1. apresenta os dados de entrada para a consulta no exemplo A.

Quadro 6.1. Dados de entrada para a consulta no módulo C (exemplo A)

item	valor
Volume de concreto por pavimento tipo (m <sup>3</sup> )	64,63
Número de pavimentos (un)	8
Tempo para estrutura do prédio (dias)	120

O sistema calcula a velocidade de concretagem necessária e começa um diálogo com o usuário, para identificar se existem elementos pesados ou com grande volume para serem transportados. A intenção dos construtores é utilizar a grua para transportar concreto em caçamba, blocos cerâmicos no próprio carrinho-plataforma e armaduras prontas (montadas no térreo).

Através do diálogo, o sistema identifica uma restrição de usar grua na obra - existe a possibilidade da lança da grua atingir os terrenos vizinhos. O engenheiro da obra explicou, que esta restrição é resolvida, limitando o ângulo de movimentação da lança em 180 graus.

A consulta é renovada. O sistema pergunta e o usuário confirma que o projeto estrutural do prédio permite o uso de grua ascensional. O sistema oferece sua resposta, mostrando o valor da velocidade de concretagem necessária para que os prazos do cronograma da obra sejam atingidos (5,39 m<sup>3</sup>/h) e aconselhando o usuário utilizar grua ascensional. A tela com a resposta do sistema pode ser observada na figura 6.2.

A consulta no Módulo D do protótipo tem como objetivo comparar diferentes métodos de movimentação de materiais em termos de tempo e custo. Os dados de entrada são as quantidades de quatro tipos de materiais e o número de pavimentos no prédio. O quadro 6.2. apresenta os dados de entrada do módulo D, no exemplo A.

Quadro 6.2. Dados de entrada para a consulta no módulo D (exemplo A)

item (por pavimento-tipo)	valor
Volume de concreto (m <sup>3</sup> )	64,63
Volume de blocos cerâmicos (m <sup>3</sup> )	81,84
Volume de argamassa (m <sup>3</sup> )	73,74
Peso de aço (kg)	5700
Número de pavimentos (un)	8

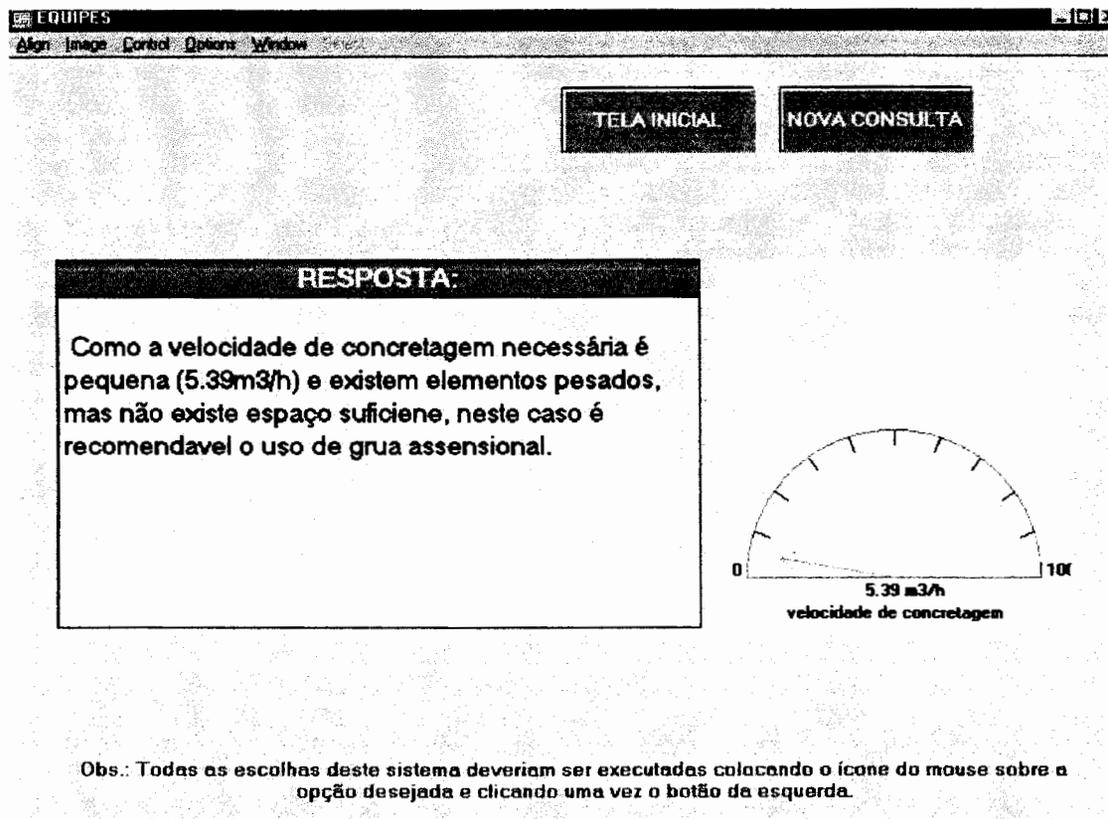


Figura 6.2 Tela com a resposta do sistema EQUIPES no exemplo A.

Quadro 6.3 Valores-padrão dos tempos e custos do sistema EQUIPES

ATIVIDADE	TEMPO	CUSTO
Transporte de:		
- concreto com bomba	0,033 h/m <sup>3</sup>	8,232 hh/m <sup>3</sup>
- concreto com grua e caçamba	0,351 h/m <sup>3</sup>	3,952 hh/m <sup>3</sup>
- concreto com elevador de obra e giricas	0,282 h/m <sup>3</sup>	1,990 hh/m <sup>3</sup>
- tijolos/blocos paletizados, com grua	0,120 h/m <sup>3</sup>	1,302 hh/m <sup>3</sup>
- tijolos/blocos paletizados, com elevador de obra	0,193 h/m <sup>3</sup>	0,548 hh/m <sup>3</sup>
- tijolos/blocos com elevador de obra e carrinhos	0,741 h/m <sup>3</sup>	3, 246 hh/m <sup>3</sup>
- argamassa com grua e caçamba	0,310 h/m <sup>3</sup>	1,514 hh/m <sup>3</sup>
- argamassa com elevador de obra e giricas	0,820 h/m <sup>3</sup>	3,366 hh/m <sup>3</sup>
- aço com grua	0,00025 h/kg	0.00272 hh/kg
- aço com elevador de obra	0,00144 h/kg	0,00762 hh/kg

Fonte: Lichtenstein, 1987.

A seguir, o sistema mostra para o usuário os valores-padrão (*default*) dos tempos e custos por unidade, para movimentação dos quatro materiais principais através de equipamentos diferentes. O quadro 6.3. apresenta os valores-padrão do sistema EQUIPES, baseados numa pesquisa, feita em São Paulo (LICHTENSTEIN, 1987).

Confirmados os valores dos tempos e custos por unidade pelo usuário, o sistema calcula tempos e custos para cada método de movimentação de materiais e oferece a tabela e o gráfico da comparação. O resultado é apresentado na figura 6.3.

Para o exemplo A, os métodos selecionados para a comparação econômica foram o método M4 (concreto e demais materiais transportados pela grua) e o método M7 (concreto e os demais materiais transportados pelo elevador de obra). Segundo a resposta do sistema, o método M4 oferece menor tempo para movimentação dos materiais e o método M7 oferece menor custo. O usuário pode escolher o método de trabalho, de acordo com suas necessidades e seguindo a estratégia da empresa - menor tempo ou menor custo (neste caso, menor tempo). A resposta do sistema confirmou a decisão, tomada na prática, de transportar todos os materiais através da grua.

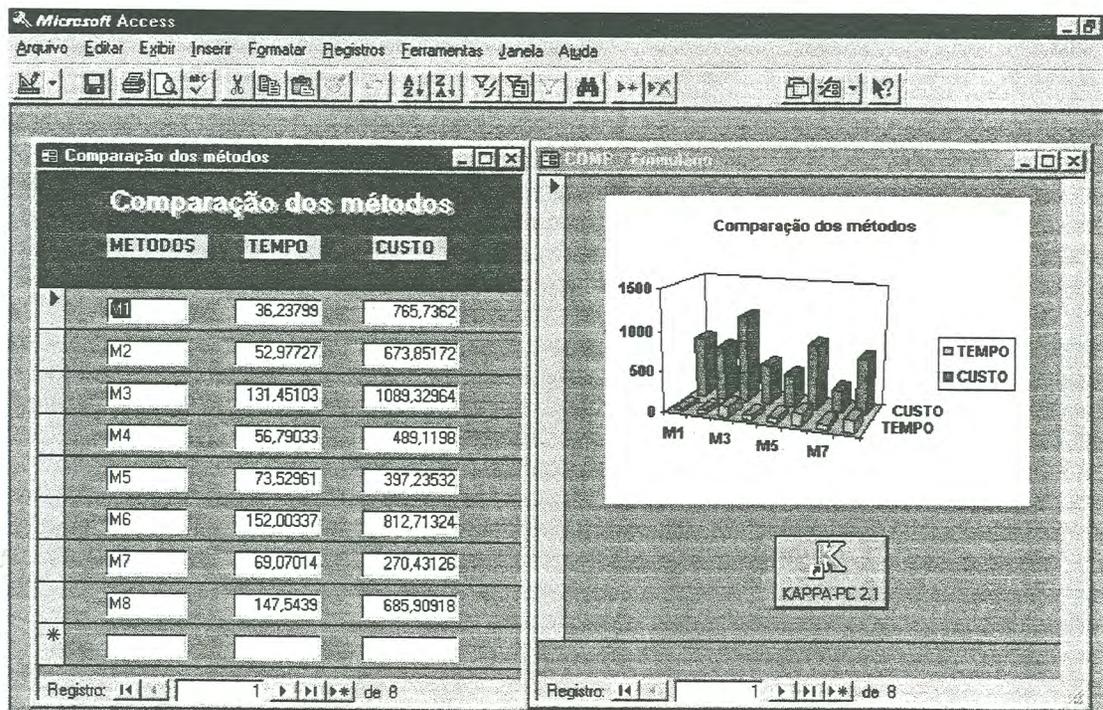


Figura 6.3 Tela com resposta do sistema EQUIPES no módulo D (Exemplo A)

### 6.3.2.3. Validação dos valores-padrão do sistema

Com objetivo de verificar a validade dos valores-padrão embutidos no sistema e demonstrar como uma empresa poderia coletar dados para serem utilizados pelo sistema, foram feitas medições de tempos de movimentação de materiais na obra do exemplo A e foram calculados os custos de movimentação de materiais.

Foram observados os quatro principais materiais na obra - concreto, blocos cerâmicos, argamassa e aço. O concreto foi recebido pronto na obra, em caminhão-betoneira com capacidade de  $8\text{m}^3$ . Depois, foi descarregado em duas caçambas com capacidade de  $0,350\text{m}^3$ . A grua transportava a caçamba até o local da concretagem, no oitavo andar, numa altura de, aproximadamente, 23m. Os blocos cerâmicos foram empilhados nos carrinhos-plataforma diretamente do caminhão e a grua transportava o carrinho até o pavimento de destino. A argamassa era produzida no local e os carrinhos elevados com a grua. As armaduras, montadas no térreo, foram também movimentadas com a grua.

As medições foram feitas em quatro dias diferentes, um para cada tipo de material. As medições para concreto e aço se referem ao oitavo pavimento e as medições para blocos cerâmicos e para argamassa se referem ao quarto pavimento. Cada valor registrado foi obtido como média de dez medições seguidas. Como as medições foram executadas para um determinado pavimento, o coeficiente de variação, que define a percentagem de variação da amostra foi pequeno (6% para concreto, 11% para blocos, 14% para argamassa e 8% para aço). Provavelmente, quando as medições estejam feitas para todos os pavimentos, o coeficiente de variação aumentará.

Os tempos medidos posteriormente foram transferidos em tempo por unidade ( $\text{h}/\text{m}^3$  ou  $\text{h}/\text{kg}$ ). Todos os resultados das medições de tempo de movimentação dos quatro materiais mencionados são expostos nos quadros 6.5 a 6.8.

O custo de cada movimentação foi dividido em duas partes - custo horário de um servente e custo horário da grua. O custo horário de um servente na empresa é, em média, equivalente a R\$ 1,20, ou **1 hh (homem-hora) = R\$ 1,20**.

O custo da grua incluiu os seguintes componentes: aluguel, manutenção, energia elétrica e salário do operador. Os valores estão apresentados no quadro 6.4.

O custo horário da grua em reais por hora foi transformado em unidades homens-hora, ou **15,25 R\$/h = 12,70 hh**.

O custo de cada uma das operações foi calculado através dos tempos medidos, usando os custos horários e está também exposto nos quadros 6.5 a 6.8.

Quadro 6.4 Cálculo do custo horário da grua

item	valor (R\$/h)
custo aluguel	9,09
manutenção	1,60
energia elétrica (potência 15 HP $\cong$ 11 kW/h)	1,76
operador	2,80
<b>TOTAL</b>	<b>15,25</b>

Quadro 6.5 Transporte de concreto com caçamba pela grua

Atividade	Equipamento e mão-de-obra	Tempo medido (seg)	Tempo por unidade (h/m <sup>3</sup> )	Custo (hh/m <sup>3</sup> )
1. Trocar caçamba vazia por carregada	grua 2 serventes	20	0,016	0,23
2. Transporte para o local de uso h = 23m, d = 15m, ângulo giro: 45°	grua 2 serventes	61	0,048	0,71
3. Descarregar caçamba no andar	grua 2 serventes	10	0,008	0,12
4. Grua volta vazia	grua 2 serventes	55	0,044	0,65
<b>TOTAL:</b>		<b>146</b>	<b>0,116</b>	<b>1,71</b>
Observações: Capacidade da caçamba:....0,35m <sup>3</sup> N.º do pavimento:.....8º				

Quadro 6.6 Transporte de argamassa com girica pela grua

Atividade	Equipamento e mão-de-obra	Tempo medido (seg)	Tempo por unidade (h/m <sup>3</sup> )	Custo (hh/m <sup>3</sup> )
1. Carregar girica e engatar na grua	grua 2 serventes	48	0,074	1,09
2. Transporte para o local de uso h = 12m, d = 15m, ângulo giro: 0°	grua 2 serventes	30	0,046	0,68
3. Descarregar girica no andar	grua 2 serventes	45	0,069	1,01
4. Grua volta vazia	grua 2 serventes	25	0,039	0,57
<b>TOTAL:</b>		<b>148</b>	<b>0,228</b>	<b>3,35</b>
Observações: Capacidade da girica:....0,18 m <sup>3</sup> N.º do pavimento:.....4º				

Quadro 6.7 Transporte de blocos cerâmicos com carrinho-plataforma pela grua

Atividade	Equipamento e mão-de-obra	Tempo medido (seg)	Tempo por unidade (h/m <sup>3</sup> )	Custo (hh/m <sup>3</sup> )
1. Subida da grua e carregamento carrinhos direto do caminhão	grua 6 serventes	25	0,017	0,32
2. Troca dos carrinhos	grua 6 serventes	65	0,043	0,80
3. Descida da grua e descarregamento carrinhos no andar	grua 6 serventes	20	0,013	0,24
4. Troca dos carrinhos	grua 6 serventes	62	0,041	0,76
<b>TOTAL:</b>		<b>172</b>	<b>0,114</b>	<b>2,12</b>
Observações: N.º do pavimento:.....4º h = 12m, d = 30m, ângulo giro:0º Capacidade do carrinho: 0,420 m <sup>3</sup> Dimensões do bloco: 10/15/20cm Número de blocos por ciclo: 140 un.				

Quadro 6.8 Transporte de aço pela grua

Atividade	Equipamento e mão-de-obra	Tempo medido (seg)	Tempo por unidade (h/kg)	Custo (hh/kg)
1. Engatar feixe na grua	grua 2 serventes	110	0,000066	0,00097
2. Transporte para o local de uso h = 23m, d = 20m, ângulo giro:90º	grua 2 serventes	95	0,000057	0,00084
3. Desengatar o feixe no andar	grua 2 serventes	105	0,000063	0,00093
4. Grua volta vazia	grua 2 serventes	50	0,000033	0,00048
<b>TOTAL:</b>		<b>360</b>	<b>0,000219</b>	<b>0,00322</b>
Observações: Quantidade movimentada por ciclo: 425kg N.º do pavimento:.....8º				

Os valores reais dos tempos e custos, recebidos através das medições na obra, e os valores-padrão do protótipo foram comparados e a comparação é apresentada nos quadros 6.9. e 6.10.

Quadro 6.9 Comparação de tempos padrão com tempos reais do Exemplo A

<b>ATIVIDADE</b>	<b>TEMPO - PADRÃO</b>	<b>TEMPO REAL</b>
Transporte de:		
- concreto com caçamba pela grua	0,351 h/m <sup>3</sup>	0,116 h/m <sup>3</sup>
- argamassa pela grua	0,310 h/m <sup>3</sup>	0,228 h/m <sup>3</sup>
- tijolos/blocos cerâmicos pela grua	0,120 h/m <sup>3</sup>	0,114 h/m <sup>3</sup>
- aço pela grua	0,00025 h/kg	0,00022 h/kg
Todos os materiais de um pavimento-tipo transportados pela grua (Método M4)	56,79 h	34,89 h

Quadro 6.10 Comparação de custos padrão com custos reais do Exemplo A

<b>ATIVIDADE</b>	<b>CUSTO - PADRÃO</b>	<b>CUSTO REAL</b>
Transporte de:		
- concreto com caçamba pela grua	3,95 hh/m <sup>3</sup>	1,71 hh/m <sup>3</sup>
- argamassa pela grua	1,51 hh/m <sup>3</sup>	3,35 hh/m <sup>3</sup>
- tijolos/blocos cerâmicos pela grua	1,30 hh/m <sup>3</sup>	2,12 hh/m <sup>3</sup>
- aço pela grua	0,00272 hh/kg	0,00322 hh/kg
Todos os materiais de um pavimento-tipo transportados pela grua (Método M4)	489,12 hh	549,40 hh

Observando os dados dos quadros acima, notam-se algumas diferenças entre os valores-padrão e valores reais, tanto em termos de tempo como também em termos de custo. Os dados reais do tempo do método de movimentação de materiais (método M4) são menores do que os dados obtidos através dos tempos-padrão do sistema, mas os custos reais são maiores.

Uma maior diferença existe, no valor do tempo e do custo, no caso de movimentação de concreto com caçamba pela grua, o que pode ser explicado pelas seguintes razões:

a) utilização de duas caçambas - quando uma é movimentada, a outra é enchida e o tempo para encher a caçamba não entra no tempo do ciclo;

b) habilidade excepcional do operador da grua, executando várias operações simultaneamente.

O custo do transporte dos blocos cerâmicos é maior na realidade, porque os blocos são carregados nos carrinhos (direto do caminhão), não sendo recebidos paletizados, como é previsto no sistema.

A movimentação da argamassa é mais cara na realidade, mas este método de transporte vale só para a argamassa de assentamento. A argamassa de revestimento será transportada pela grua com caçamba de  $0,35 \text{ m}^3$ .

### 6.3.3. Exemplo B

#### 6.3.3.1. Descrição da obra

O segundo caso de teste do protótipo do sistema EQUIPES é a construção de um edifício misto (comercial e habitacional) de dez pavimentos. O tempo previsto para a execução da estrutura do prédio é de dezesseis meses. O contrato é tipo “preço de custo” e a estratégia da empresa é utilizar quantidade mínima de máquinas e equipamentos na obra. Até o elevador de obra, com capacidade de 500 kg, disponível na obra será vendido ao final do trabalho. As quantidades de materiais por pavimento tipo são: concreto -  $58 \text{ m}^3$ , blocos cerâmicos com dimensão 20/20/10cm -  $115 \text{ m}^3$ , aço - 5400kg. Existe pouco espaço no canteiro, em volta do prédio, para a movimentação de materiais.

#### 6.3.3.2. Aplicação do teste

A consulta com EQUIPES começa com a entrada de dados - quantidade de concreto por pavimento tipo, número de pavimentos e tempo, previsto para execução da estrutura do prédio. O quadro 6.11 apresenta os dados de entrada para a consulta no exemplo B.

Quadro 6.11 Dados de entrada para a consulta no exemplo B

item	valor
Volume de concreto por pavimento tipo ( $\text{m}^3$ )	58
Número de pavimentos (un)	10
Tempo para estrutura do prédio (dias)	480

Depois, é executado um diálogo entre o sistema e o usuário sobre as condições no canteiro. O sistema questiona se não existem elementos pesados ou volumosos para movimentação e também se existe espaço no canteiro em volta do prédio. A conclusão do sistema é que, como a velocidade de concretagem necessária é pequena ( $4,83 \text{ m}^3/\text{h}$ ), e não existem elementos pesados ou volumosos para movimentação, um elevador de obra com duas giricas seriam suficientes para efetuar a movimentação do concreto, dentro dos prazos do cronograma da obra. A figura 6.4. apresenta a tela com a resposta do sistema EQUIPES para a consulta no exemplo B.

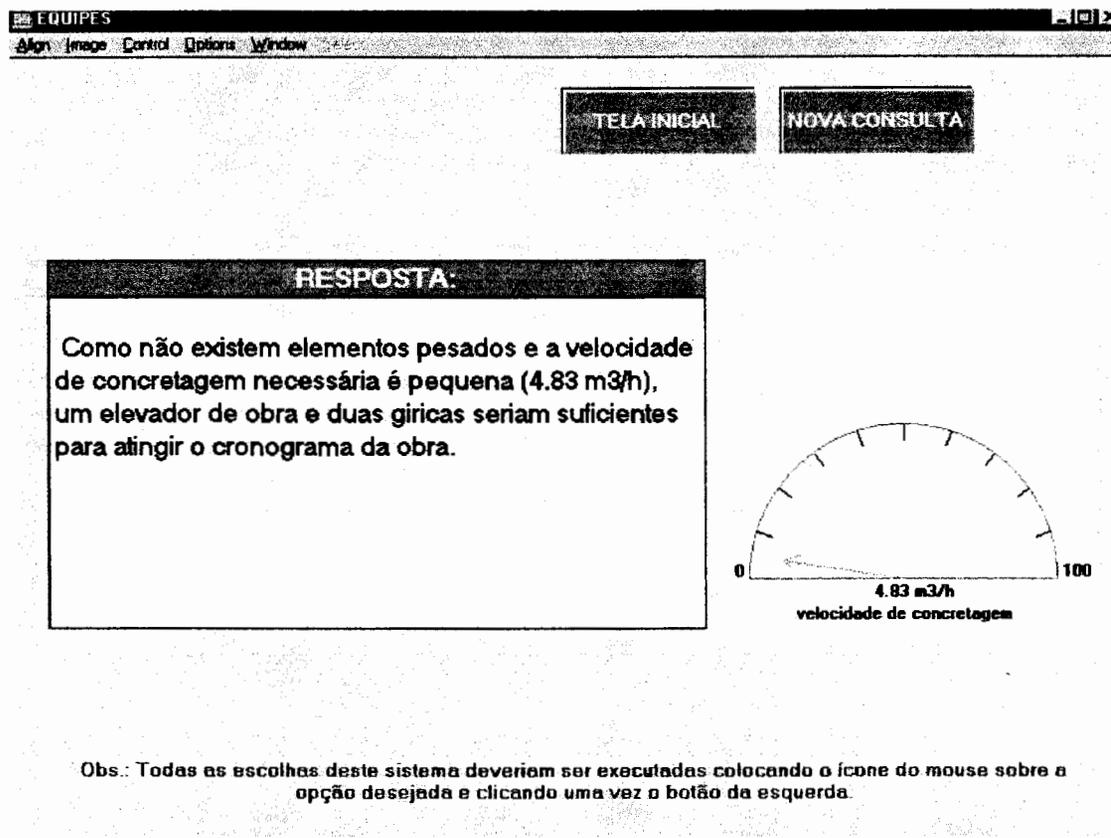


Figura 6.4 Tela com a resposta do sistema EQUIPES para a consulta no exemplo B

O concreto é recebido pronto na obra em caminhão-betoneira de  $6\text{m}^3$  e transportado através de uma bomba-caminhão ligada a uma tubulação fixada na estrutura do prédio. O material é descarregado num compensado de madeira no sétimo andar. Dois operários carregam com pás as giricas de 80 l. Outros três operários movimentam as giricas até o local da concretagem. Depois de colocado o concreto na forma, é efetuada a vibração do concreto através de vibrador de imersão. Como o processo de concretagem no andar é lento e com várias esperas, a bomba é ligada e desligada várias vezes, de acordo com o ritmo de trabalho no andar. Na prática, o

concreto do caminhão-betoneira de  $6\text{m}^3$  é transportado por uma hora e meia, o que é equivalente a uma produtividade de  $4\text{m}^3/\text{h}$ , rendimento muito inferior ao previsto para este tipo de bomba -  $35\text{m}^3/\text{h}$ . A explicação do responsável pela obra, para escolha do método de transporte, é que o concreto sai da tubulação com muita pressão e destruiria as formas se colocado diretamente nelas, através do mangote.

Os materiais para execução da alvenaria - blocos e argamassa, são transportados através do elevador da obra com a modesta capacidade de 500kg. Os blocos cerâmicos são carregados nos carrinhos de mão - 15 a 20 unidades em cada carrinho, dependendo da disposição do operário. A argamassa, produzida no térreo, é colocada nas masseiras metálicas. Como existe só um carrinho para masseiras, em muitos casos, elas acabam sendo trazidas na mão pelos dois operários até o elevador da obra e, depois, no andar.

O aço é recebido cortado e dobrado na obra. As armaduras são montadas no segundo pavimento e, depois, transportadas verticalmente à mão, utilizando uma roldana. Como a tarefa exige muito esforço, é necessário fazer várias paradas nos pavimentos para descanso dos operários. O responsável pela obra admitiu, que um guincho de coluna poderia melhorar a situação mas, para economizar recursos, desistiram de compra-lo.

Na prática, como o sistema EQUIPES sugere, um elevador de obra com capacidade de 1500kg - para duas giricas com concreto, conseguiria a mesma produtividade de transporte do concreto, dispensando a necessidade de uso de uma bomba de concretagem e barateando o processo.

Nota-se uma falta de preocupação da gerência do empreendimento com utilização de equipamentos na obra, evidentemente por causa do tipo de contrato, por administração.

Antes de medir tempo para comparar diferentes métodos de movimentação de materiais, a empresa deveria analisar os fluxos de materiais no canteiro e melhorar o método de sua movimentação, eliminando tempos improdutivos e esperas.

Neste caso, a escolha dos equipamentos utilizados na obra é bastante limitada pelo tipo de contrato do empreendimento e pela estratégia da empresa.

#### **6.3.4. Análise dos resultados do teste**

O teste do protótipo do sistema EQUIPES com casos reais demonstrou a sua capacidade para apoio na decisão sobre escolha dos equipamentos adequados para movimentação de materiais na obra.

Os exemplos, descritos nos itens anteriores, mostram que, quando utilizado em condições reais, o sistema oferece respostas válidas, a um nível aceitável de desempenho.

Os valores obtidos através de medições feitas em condições reais são diferentes dos valores-padrão dos tempos e custos adotados no sistema.

O levantamento indicou que uma empresa construtora deve alimentar o sistema com valores próprios, através de medições de tempos e custos, feitos nas suas obras ao longo da construção e cuidadosamente documentados.

A estratégia da empresa e o tipo de contrato do empreendimento são mencionados como um dos fatores no processo de escolha dos equipamentos dentro do modelo do conhecimento (capítulo 4), mas não foram tomados em conta no protótipo implementado no computador. Como o estudo mostrou a importância destes fatores, eles devem ser considerados numa versão mais ampla do sistema.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES

O presente capítulo apresenta algumas conclusões referentes à pesquisa realizada e, finalmente, lista algumas sugestões para futuros estudos na área.

#### 7.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Através desta pesquisa, procurou-se utilizar recursos da Informática para oferecer informações sobre os equipamentos disponíveis na construção de edificações e para apoio na decisão das pessoas com pouca experiência sobre seleção destes equipamentos no canteiro da obra.

O objetivo geral do presente trabalho foi verificar a possibilidade de se desenvolver um modelo do conhecimento de alguns especialistas sobre a seleção dos equipamentos para construção de edificações, enfocando a fase de movimentação de materiais no canteiro da obra, além de implementar este modelo num protótipo de sistema especialista que possa ser empregado em apoio à decisão, na solução de problemas reais.

Foram desenvolvidos os seguintes produtos do trabalho:

- a) modelo de conhecimento sobre a escolha de equipamentos, com enfoque na fase de movimentação de materiais no canteiro da obra;
- b) banco de dados computadorizado, com informações sobre equipamentos na construção e seus possíveis fabricantes e fornecedores;
- c) protótipo de um sistema especialista para apoio à decisão sobre escolha do equipamento e os métodos de movimentação de materiais no canteiro da obra, interligado com o banco de dados dos equipamentos.

Mais especificamente, foram atingidos os seguintes objetivos:

- a) a informação disponível sobre os equipamentos para construção de edificações foi oferecida em forma de um banco de dados informatizado, forma mais rápida e fácil de usar do que um manual escrito;
- b) o conhecimento especializado disponível sobre o domínio de máquinas e equipamentos na construção de edificações foi sistematizado;

c) foram identificadas as variáveis principais e secundárias que afetam o processo de escolha dos equipamentos de movimentação de materiais e componentes no canteiro da obra;

O desenvolvimento do protótipo foi prejudicado em decorrência de algumas dificuldades encontradas no decorrer do trabalho, tais como:

a) não existe a figura de um especialista que detenha todo o conhecimento, pelas próprias práticas da indústria. Assim, o conhecimento está muito fragmentado entre vários participantes do processo;

b) a coleta de dados exige esforço considerável, pela variabilidade de produtos e processos.

São apresentadas a seguir algumas considerações específicas sobre as diferentes etapas do processo de execução da presente pesquisa.

## **7.2. CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS**

### **7.2.1. Desenvolvimento do Banco de dados**

O *software Microsoft ACCESS* é uma ferramenta de última geração para desenvolvimento de bancos de dados, que utiliza ambiente *Windows*, possuindo interface gráfica de desenvolvimento e de apresentação dos resultados para o usuário, além de possibilitar ligação com programas externos.

Ao longo do processo de desenvolvimento, tornou-se necessário utilizar vários outros *softwares* de redação de texto e de computação gráfica para produção e melhoramento das imagens digitalizadas dos equipamentos.

### **7.2.2. Desenvolvimento do protótipo do sistema EQUIPES**

#### **7.2.2.1. Aquisição do conhecimento**

A divisão da tarefa de seleção dos equipamentos na construção de edificações nas suas respectivas sub-tarefas, ajudou a obter uma melhor compreensão sobre o problema escolhido.

As fontes de conhecimento para o presente trabalho foram: livros técnicos, catálogos dos fabricantes de equipamentos na construção, documentação de pesquisa anterior, entrevistas com alguns especialistas na área, observação da execução da tarefa na prática e acompanhamento de medição de tempos e movimentos no canteiro.

Existem vários especialistas, cada um tendo conhecimento sobre uma pequena parte do domínio de equipamentos na construção. Juntar o conhecimento de múltiplos especialistas, como vários autores sugerem, ajuda a identificar diferentes aspectos do problema e implica em um modelo de conhecimento coletivo, mais objetivo e robusto.

A existência e uso do conhecimento de um “semi-especialista” na área teve um papel importante na estruturação do conhecimento e no desenvolvimento do protótipo de sistema especialista, sem despendar tempo de especialistas, normalmente muito ocupados com diversas tarefas. O fato do engenheiro de conhecimento ser um “semi-especialista” na área, auxiliou entender mais rapidamente a estrutura do conhecimento adquirido.

#### **7.2.2.2. Implementação no computador**

A *shell* KAPPA-PC é um *software* construído especialmente para desenvolvimento rápido e facilitado de sistemas especialistas. Ele mostrou-se uma ferramenta de boa qualidade para desenvolvimento de sistemas especialistas, mesmo por pessoas com pouca experiência em programação computacional.

O *software* KAPPA oferece vários paradigmas de representação do conhecimento no computador - através de regras, baseado em lógica de predicados ou representação orientada ao objeto. Além disso possui ferramentas para acompanhar o mecanismo de inferência, uma interface gráfica amigável e atrativa, tanto para o engenheiro do conhecimento como para o usuário do sistema, e também possibilita a conexão com outros programas externos.

Foram detectados, no decorrer do trabalho, algumas limitações da *shell* KAPPA, como: impossibilidade de entrada e manipulação de dados em forma de “planilha eletrônica”; ausência de editor de texto próprio e utilização de Bloco de notas - um redator de texto extremamente pobre em recursos, em lugar do mais sofisticado *Microsoft WORD*; deficiente possibilidade de demonstração de resultados através de gráficos; limitações na conexão a programas externos, como *Microsoft EXCEL*, por exemplo.

#### **7.2.2.3. Avaliação do protótipo**

A verificação do protótipo acompanhou o processo de implementação do conhecimento no ambiente computacional, estendendo-se até o final da fase de avaliação, identificando possíveis inconsistências nas inferências ou erros na lógica de

programação. A estrutura interna do sistema foi escrita dentro dos padrões usuais de programação e das possibilidades do próprio ambiente de desenvolvimento.

A validação do protótipo teve um caráter informal nas fases iniciais do seu desenvolvimento e recebeu uma abordagem mais formal nas fases finais, quando a interface do usuário estava disponível.

Uma pesquisa de opinião entre possíveis usuários do sistema, indicou que o protótipo desenvolvido contém boa quantidade de informação em assuntos específicos importantes, boa forma de organização do conhecimento, boa aparência e facilidade de compreensão.

O teste do protótipo na prática, com dois casos reais, demonstrou sua capacidade para apoio à decisão sobre escolha dos equipamentos adequados para movimentação de materiais na obra. Os exemplos mostraram que, quando utilizado na prática, o sistema oferece respostas válidas, a um nível aceitável de desempenho.

### **7.3. CONCLUSÕES FINAIS**

O presente trabalho pode ser considerado passo a frente no processo de aplicação de sistemas especialistas na área de seleção de equipamentos na construção de edificações.

Os objetivos propostos para a pesquisa foram atingidos considerando que, de forma geral, a aplicação obteve boa avaliação por parte de especialistas ligados à área e boa aceitação pelos possíveis usuários.

A aplicação possibilita a diminuição do tempo despendido por um especialista para explicação da tarefa de seleção de equipamentos para pessoas com pouca prática na obra. Mesmo para um especialista na área, o sistema pode diminuir o tempo para decisão sobre a escolha do método de movimentação de materiais na obra e, assim, assegurar mais tempo na resolução de outras tarefas.

O presente trabalho abordou, em geral, a parte técnica da escolha do equipamento, a nível operacional, não abrangendo os aspectos financeiros ou estratégicos do processo holístico da decisão sobre aquisição de equipamentos na construção de edificações.

No protótipo desenvolvido podem ser utilizados dados de entrada *default*, disponíveis no EQUIPES, baseados em outros estudos, ou podem ser oferecidos pelo usuário, baseados em sua experiência na prática ou em medições de tempos e custos na obra.

É de vital importância para o sistema desenvolvido, quando utilizado na vida real, assegurar uma manutenção da informação sobre os equipamentos disponíveis no mercado, bem como sobre seus fabricantes e distribuidores.

O sistema especialista desenvolvido não tem a pretensão de substituir os especialistas na área e sim ajudar, apoiar a decisão das pessoas com pouca prática sobre a escolha de equipamentos e do método adequado de movimentação de materiais e componentes na construção de edificações.

A aplicação desenvolvida encontra-se em fase de protótipo ou, segundo a escala de BRANDON (em WATSON et al., 1989), poderia ser definido como um sistema produzindo resultados. Para atingir a fase comercial, deve-se intensificar o processo de validação do conhecimento embutido no sistema.

O sistema EQUIPES poderia também servir como ferramenta educacional para alunos de graduação em Engenharia Civil.

#### **7.4. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS NA ÁREA**

O conhecimento sobre os equipamentos, embutido no protótipo do sistema especialista EQUIPES, pode ser ampliado para todas as demais fases por passam os materiais e componentes numa obra, além da movimentação, i.e. para produção, aplicação e acabamento dos materiais ou para limpeza.

No futuro, podem ser incluídos, no sistema EQUIPES, outros sistemas construtivos, além do tradicional, como também outros tipos de edifícios, como conjuntos habitacionais, por exemplo. A influência do tipo de contrato do empreendimento, no processo de escolha do equipamento, poderá ser avaliada.

No futuro, podem ser realizadas medições detalhadas e extensas das operações de movimentação de materiais na obra para obtenção de valores mais confiáveis e válidos em diferentes condições.

Novos levantamentos dos equipamentos existentes poderão ser realizados constantemente, para atualização permanente dos dados disponíveis no sistema. Poderá ser organizada a participação dos fabricantes e distribuidores de equipamentos via *Internet*, na qual eles próprios seriam responsáveis pela atualização da informação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADELI, H. (Ed.) **Expert systems in construction and structural engineering**. New York: Chapman and Hall, 1988.
- ALKASS, S. **An expert system for earthmoving equipment selection in road construction**. Loughborough: Loughborough University, 1989. PhD thesis.
- ALKASS, S.; ARONIAN, A.; MOSELHI, O. Computer-aided equipment selection for transporting and placing concrete. **Jornal of Construction Engineering and Management**, v. 119, n. 3, p.445-465, Sept. 1993.
- ALLEN, R.H. Knowledge representation; an engineering overview. **Expert systems for civil engineers**; knowledge representation, New York, 1992.
- ALSHAWI, M.; AOUAD, G. **A strategic integration of information technology and business strategies**; a structured methodology. Salford: University of Salford, Department of Surveying, 1993.
- AMIRKHANDIAN, S.N.; BAKER, N.J. Expert system for equipment selection for earthmoving operations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 118, n. 2, p.318-331, June 1992.
- ANTUNES, A. **Um método de otimização do tempo despendido pelo especialista no desenvolvimento de sistemas especialistas**. Porto Alegre, 1991. Dissertação (Mestrado em computação) - CPGCC/UFRGS.
- BASDEN, A.; ATTARWALA, F.T. **Elements of a methodology for building expert systems**. Salford: University of Salford, Department of Surveying, 1983. 15p. Documento datilografado.
- BASDEN, A.; WATSON, I.D.; BRANDON, P.S. The evolutionary development of expert systems. In: RESEARCH AND DEVELOPMENT IN EXPERT SYSTEMS, 7. Cambridge, **Proceedings....** Cambridge: Cambridge University Press, 1990, p. 67-81.
- BALARINE, O.F.O. **Administração e finanças para construtores e incorporadores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1990. 196p.
- BETTS, M. et al. Strategies for the construction sector in the information technology era. **Construction Management and Economics**, v. 9, p.509-528, 1991.
- BERNARDI, E.; SARDINHA, P. Sistemas especialistas; conhecimento do especialista no computador. **Construção na Região Sul**, São Paulo: PINI, v.23, n.282, , Abr. 1992.
- BERRY, D.C.; BROADBENT, D.E. Expert systems and the man-machine interface. **Expert Systems**, v.3, n.4, p.228-231, Oct. 1986.

- BERRY, D.C.; BROADBENT, D.E. Expert systems and the man-machine interface. Part Two: The user interface. **Expert Systems**, v.4, n.1, p.18-27, Feb. 1987.
- BERRY, D.C.; HART, A. Evaluating expert systems. **Expert Systems**, v.7, n.4, p.199-207, Nov. 1990.
- BONIN, L.C. **A abordagem sistêmica da produção de edificações**. Porto Alegre, 1987. Dissertação (Mestrado em engenharia) - CPGEC/UFRGS.
- BONNET, A. et al. **Systèmes-experts vers la maîtrise technique**. Paris: InterEditions, 1986.
- BORN G. **Guidelines for quality assurance of expert systems**. London: Computing Services Association, BCS Specialist Group on Expert Systems Newsletter, p.25-43, 1989.
- BURBIDGE, J.L. **Planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 1983.
- BYERS, R.A. **Every man's database primer featuring dBASE III**. USA: Ashton-Tate, 1984.
- BYRD, T.A. Implementation and use of expert systems in organizations: perceptions of knowledge engineering. **Journal of Management of Information Systems**. v.8, n.4, p. 97-116, Spring 1992.
- CAMPOS, F.C. et al. A Informática como ferramental de modernização da micro e pequena empresa: uma visão prática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15., 1995, São Carlos, SP. **Anais...**, São Carlos: UFSCar/ABEPRO, 1995. 3v. v.2, p.618-621.
- CHRISTIAN, J.; CALDERA, H. The development of a knowledge based expert system for the selection of earthmoving equipment. Edinburg: Civil - Comp Press, 1987. p.55-59.
- COLIN, G.; JAMES, L. A systematic approach to the selection of an appropriate crane for a construction site. **Construction Management and Economics**. v.3, n.3, p.121-144, 1985.
- COOPER, C.N. Cranes - A rule-based assistant with graphics for construction planning engineers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL AND CIVIL ENGINEERING COMPUTING, 3., 1987, Edinburg: Civil - Comp Press, p.47-54, 1987.
- COSTA, R.C. da; CAMPOS, A.C.C.F.; CAMPOS, D.F. O setor de construção civil e a inovação tecnológica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 17., 1992. **Anais...** São Paulo: USP, 1992.
- DE BONO, E. **Surpetition**. London: Harper Collins, 1993. 234p.

- DE LA GARZA, J.; IBBS, W.C. Knowledge elicitation study in construction schedule domain. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York: ASCE, v.2, n.4, p.135-153, Apr. 1990.
- DYM, C.L.; LEVITT, R.E. **Knowledge-based systems in engineering**. New York: McGraw-Hill, 1991.
- EHRlich, P.J. **Avaliação e seleção de projetos de investimento**; critérios quantitativos, São Paulo: Atlas, 1979. 185p
- FARAH, M.F.S. **Alterações na organização do trabalho na construção habitacional**; a tendência de racionalização. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS, 12., Águas de São Pedro, 1988.
- FORMOSO, C.T. **A knowledge-based framework for planning house building projects**. University of Salford, Department of Quantity and Building Surveying, 1991. Tese Doutorado.
- FURUSAKA, S.; GRAY, C. A model for the selection of the optimum crane for construction sites. **Construction Management and Economics**, v.2, p.157-176, 1984.
- GALLOÛIN, J.F. **Transfert de connaissances**. Paris: Eirrolles, 1988.
- GASCHNIG, J.P. et al. Evaluation of expert systems; issues and case studies, In: Hayes Roth, Waterman & Lenatt (Ed.) **Building Expert Systems**. Addison-Wesley, 1983.
- GRAY, C.; LITTLE, J. A systematic approach to the selection of an appropriate crane for a construction site. **Construction Management and Economics**, v.3, p.121-144, 1985.
- GUPTA, U.G. Validation and verification of knowledge-based systems; a survey. **Journal of Applied Intelligence**, n.3, p.343-363, 1993.
- HARMON, P.; KING, D. **Expert systems**; artificial intelligence in business, New York: John Wiley and Sons Inc., 1985.
- HARMON, R.L. **Reinventando a fábrica II**; conceitos modernos de produtividade na prática. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1993.
- HARRIS, F. **Construction plant**; excavating & material handling. London: Granada, 1981.
- HART, A. **Knowledge acquisition for expert systems**. London: Kogan Page, 1986. Cap. 5 - 10.
- HAYES-ROTH, F et al. **Building expert systems**. Addison-Wesley, 1983. 444p.
- HAYWARD, S.A.; WIELINGA B.J.; BREUKER. Structured analysis of knowledge. **International Journal of Man-Machine Studies**, n.26, p.487-498, 1987.

- HEINECK, L.F.M.; PAULINO A.A.D.; ANDRADE V.A. Listagem de novos procedimentos, equipamentos, formas de comunicação e integração da mão de obra observadas em empresas de construção civil líderes em qualidade e produtividade, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENG. DE PRODUÇÃO, 15., 1995, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar/ABEPRO, 1995. 3v. v.3, p.1821-1825.
- HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica**. São Paulo: Atlas, 1979.
- HOFFMAN, R.R. The problem of extracting the knowledge of experts from the perspective of experimental psychology. **The Artificial Intelligence Magazine**, v.8, n.2, p.53-67, 1987.
- IBM CORPORATION, **A development method for expert systems environment**. Santa Teresa: IBM International Support Center, 1989. Document n.GG24-3355.
- ILLINGWORTH, J.R. **Construction methods and planning**. London: E&FN SPON, 1993.
- INTELLICORP, **KAPPA - PC**; user manual. California: Mountain View, 1992.
- INTELLICORP, **KAPPA - PC Version 2.3.2**; system description and data sheet. <http://www.intellicorp.com/kappapc/kappa-pc.html#kal>, 1995. 7p.
- JOHNSTON, J.E. **Site control of material**, London: Butterworths, 1981.
- KERR, R. **Knowledge-based manufacturing management**; applications of artificial intelligence to the effective management of manufacturing companies. Singapore: The University of New South Wales/ Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
- KIDD, A.; WELBANK, M. **Knowledge Aquisition**; expert system; state of the art report. England: Pergamon Infotech , 1984. p.71-80.
- KRICK, E.V. **Ingenieria de metodos**. Mexico: Editorial Limusa - Wiley, 1967.
- LEVINE, R.I., DRANG, D.E.; EDELSON, B. **Inteligência artificial e sistemas especialistas**; aplicações e exemplos práticos. São Paulo: Mc Graw - Hill do Brasil, 1988.
- LEVITT, R.E. Expert systems in construction; state of the art. In: **Expert systems for civil engineers: technology and application**. Maher, (Ed.), New York: ASCE, 1987.
- LICHTENSTEIN, N.B. **Formulação de modelo para o dimensionamento do sistema de transporte em canteiro de obras de edifícios de múltiplos andares**. São Paulo , 1987. Tese doutorado - USP.
- LINGER, J. **La obra** , 2v. Barcelona: Editores técnicos associados, 1973.
- LOCKWOOD, S.; CHEN, Z. Knowledge validation of engineering expert systems. **Advances in Engineering Software**, n.23, p.97-104, 1995.
- LUFT, C.P. **Minidicionário LUFT**. São Paulo: Ática , 1995.

- MACOMBER, J.D. Strategic planning for new computer applications in the development process. **Urban Land**. Washington: Urban Land Institute, 1090 Vermont Avenue, Aug. 1989.
- MARTIN, J. **Information engineering**; book III; Design and construction. New Jersey: Prentice-Hall, 1995. 625p.
- MARTIN, J.; ODELI, J. **Object oriented analysis and design**. New Jersey: Prentice Hall, 1992.
- MAZZILLI, C.P. **O processo de construção de um sistema especialista para análise de credito de pessoa física**. Porto Alegre, 1989. Tese doutorado - PPGA/ UFRGS.
- MICROSOFT ACCESS **Sistema de gerenciamento de banco de dados relacional para Windows: guia do usuário**. Versão 2.0. Microsoft Corporation, 1994.
- MITTAL, S.; DYM, C.L. Knowledge Aquisition from multiple experts. **The AI Magazine**, v.6, n.2, p.32-36, Summer 1985.
- MOHAN, S. Expert systems aplicacions in construction management and engineering. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.116, n.1, p.87-99, 1990.
- MORIK, K. Sloppy modelling, In: Morik (Ed.), **Knowledge representation and organosation in machine learning**. Springer Verlag, 1989.
- MOSELHI, O.; NICHOLAS, M. Hybrid expert system for construction planning and sheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.116, n.2, p.221-238, 1990.
- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM; total productive maintenance**. Cambridge: Productivity Press, 1988.
- NUNNALLY, S.W. **Managing construction equipment**. New Jersey: Prentice - Hall/ Englewood Cliffs, 1977.
- O'KEEFE, R.M.; BALCI, O.; SMITH, E. Validating expert system performance. **IEEE Expert**, p. 81-90, Winter 1987.
- OLIVEIRA, M. et al. **Levantamento de equipamentos para a indústria de construção civil**, Formoso C.T.(Ed.), Porto Alegre: UFRGS, NORIE, 1994. Publicação interna.
- ORTOLANO, L.; PERMAN, C. Software for expert system development. **Journal of Computing in Civil Engineering**. New York: ASCE, v.1, n.4, p.225-240, Oct. 1987.
- PINI SISTEMAS, Taxas de leis sociais e riscos do trabalho. **Construção**. São Paulo: PINI, v.48, n. 2476, p.38, Julho 1995.
- PORTER, M.E.; MILLAR, V.E. How information gives you competitive advantage. **Harward Business Review**, v.63, n.4, p.149-160, 1985.

- POWEL, J.; NEWLAND, P. An integrating interface to data. In: Brandon and Betts (Ed.), **Integrated construction information**. London: E & FN Spon, 1995.
- PRERAU, D.S. Selection of an appropriate domain for an expert system. **AI Magazine**, v. 6, n.2, p.26-30, Summer 1985.
- REICHEL, W.; GLATTE, R. **Beton: Herstellung, Verarbeitung, Erhärtung**. Band 2. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1980.
- ROTH, E.M.; WOODS D.D. Cognitive task analysis: an approach to knowledge acquisition for intelligent system design. In: Guida and Tasso (Ed.), **Topycs in expert system desidgn**. Amsterdam: North Holland, p.233-264, 1989.
- SAGALOWICZ, D. Development of an expert system. **Expert Systems**. v.1, n.2, p.137-141, 1984.
- SCARDOELLI L.S. et al. **Melhorias de qualidade e produtividade; iniciativas das empresas de construção civil**. Programa da Qualidade e Produtividade da Construção Civil no Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- SILVA, M.A.C. Racionalização da construção: a evolução tecnológica e gerencial no Brasil. In: Formoso C.T. (Ed.), **Simpósio a pesquisa em construção no sul do Brasil; balanço e tendências**. Porto Alegre: UFRGS/ CIENTEC, 1991.
- SLAGLE, J.R.; WICK, M.R. A method for evaluating candidate; expert system applications. **AI Magazine**, p.44-53, Winter 1988.
- STEFIK, M.; BOBROW, D.G. Object-oriented programming; themes and variations. **The AI Magazine**, v.6, n.4, p.40-62, 1986.
- TAVARES, L.A. **Controle de manutenção por computador**. Rio de Janeiro: Técnica , 1987.
- TCPO : **Tabelas de composições de preços para orçamentos**, São Paulo: PINI, 1992.
- TRIMBLE, G. Knowledge acquisition for expert systems in construction. In: Adeli (Ed.), **Expert systems in construction and structural engineering**. Chapman and Hall Publishing, 1987.
- VALLINGS, H.G. **Mechanization in building**. London: Applied Science Publishers, 1976.
- WALLACE, K.; BELL, N.; TANG, M.X. Object-oriented tecnologia in engineering design. **Engineering Computing Newsletter**, v.56, p.4-5, May 1995.
- WARZAVSKI, A. Expert systems in construction planning. In: **International symposium on economic evaluation and the building environment**. Lisbon: Keynote Papers, v.6, p. 1-10, 1993.
- WATERMAN, D.A. How do expert systems differ from convencional programs? **Expert Systems**, v.3, n.1, p.16-19, Jan. 1986.

- WATSON, I.D. et al. A knowledge analysis methodology using an intermediate knowledge representation based on conceptual graphs. In: **International workshop on expert systems and their applications**, v.1, n.9, p. 183-198, 1989.
- WATSON, I.D.; BASDEN, A.; BRANDON, P.S. The client centered approach; expert system development; expert systems. **The Internacional Journal of Knowledge Engineering**, v.9, n.4, p 181-196, 1992.
- WEISS, S.; KULIKOWSKI, C. **A practical guide to desighing expert systems**. New Jersey, Totowa: Rowman and Allenheld, 1984.
- WIELINGA, B. et al. **KADS Suntyhesis**. Amsterdam: University os Amsterdam, 1989. Document identity: UvA-Y3-PR-001.
- WIELINGA, B.; SCHREIBER, G. **Future directions in knowledge aquisition**. Amsterdam, 1990.
- WIJESUNDERA, A.; HARRIS, F.C. Using expert systems in construction. **Construction Computing**, p.14-17, July 1986.
- WORLD BANK, The **The construction industry; issues and strategies in developing countries**. USA: Washington, D.C., 1984.
- YOUNG, R.M. Role of intermediate representations in knowledge elicitation. In: Research and development in expert systems, v.4. **Journal of Cambridge University**, British Computer Society Workshop Series, p. 287-289, 1989.

# ANEXO

DEMONSTRAÇÃO DO PROTÓTIPO



Figura 1 - Tela inicial do sistema: apresenta o nome, descrição do sistema, botões para início de consulta, para uma identificação (autores e ano de desenvolvimento) e para saída do sistema.

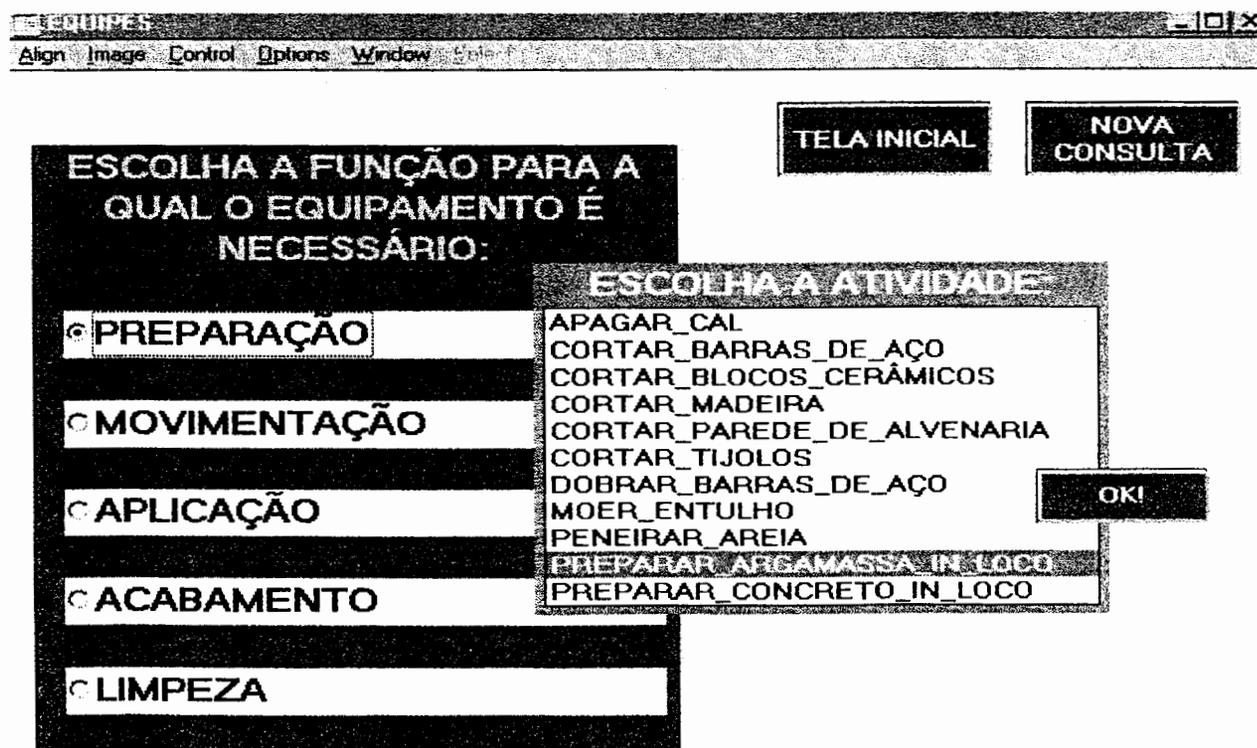


Figura 2 - Menu para escolha da atividade: escolhe-se a função para a qual se quer escolher o equipamento. Feita esta definição, mostra-se outro menu para a escolha da atividade.

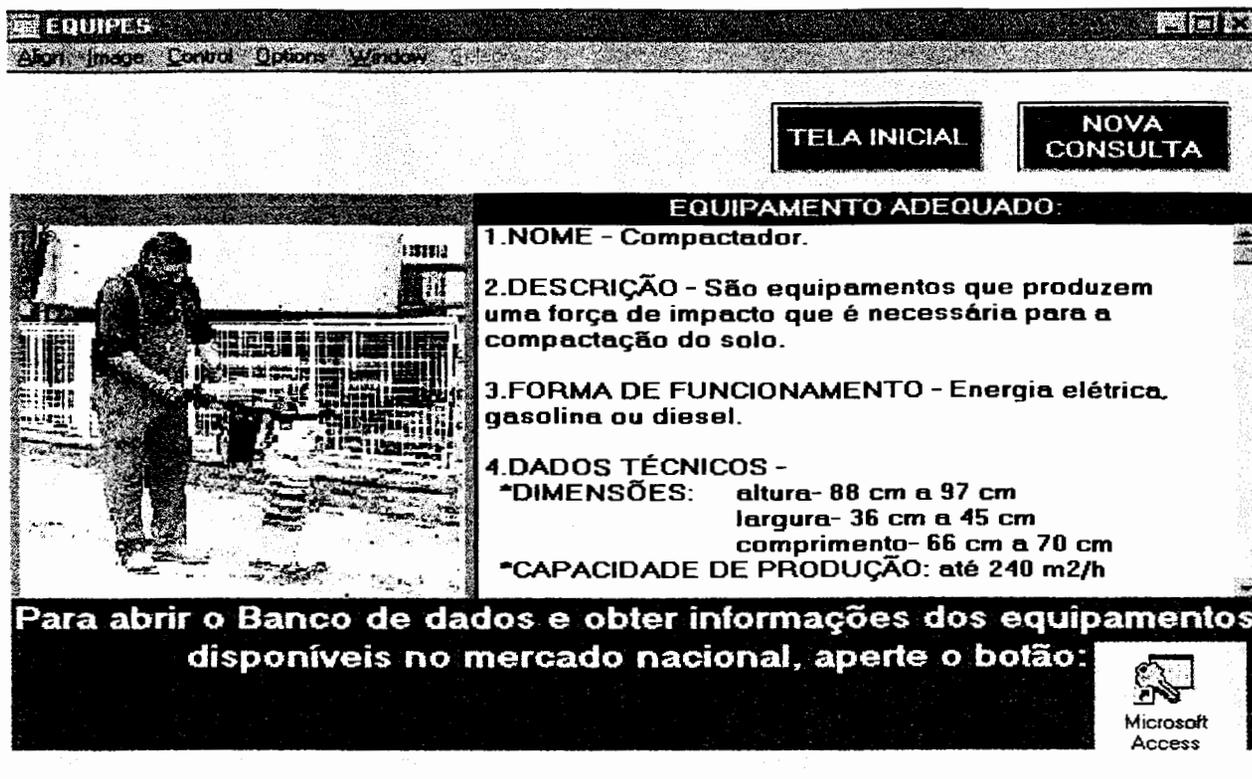


Figura 3 - Descrição do equipamento: aparece uma tela com uma foto do equipamento e a sua ficha técnica genérica, que independe da marca. Existe a possibilidade de abrir o Banco de Dados e conhecer os diferentes modelos do equipamento, disponíveis no mercado nacional.

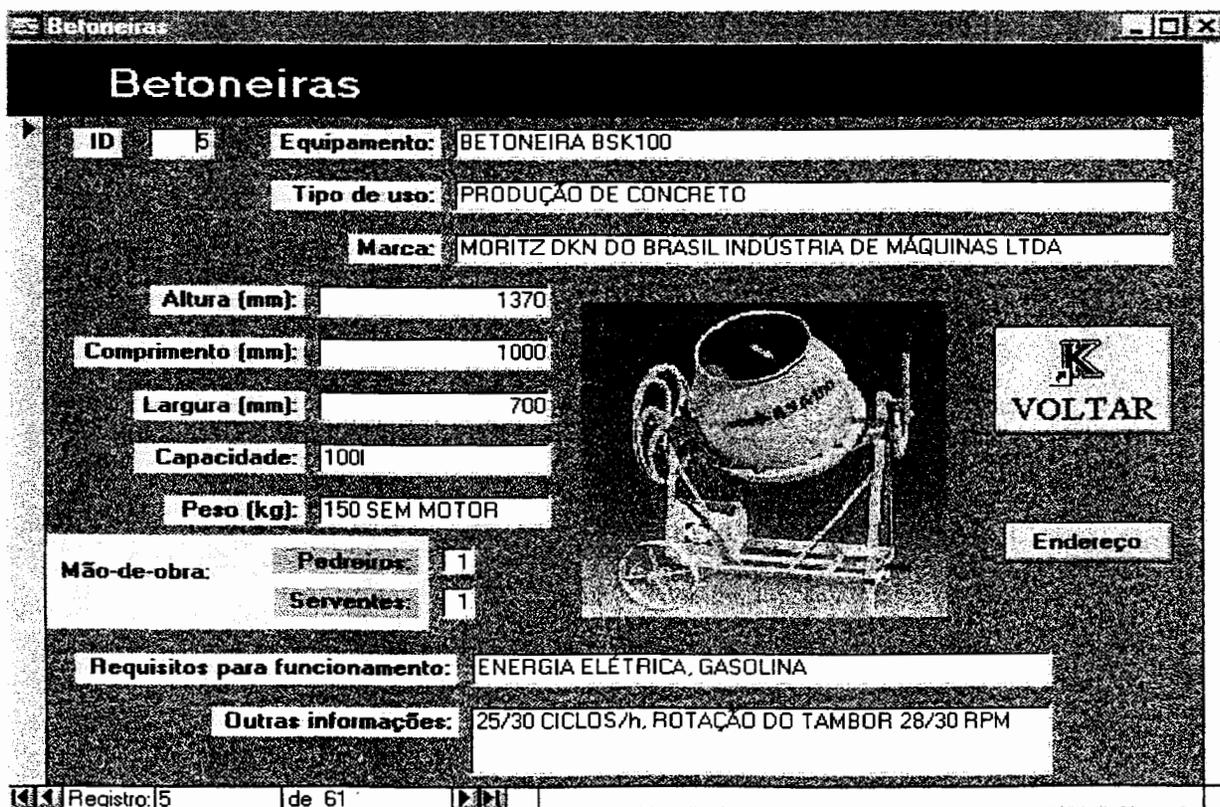


Figura 4 - Modelos de equipamentos do Banco de Dados: possui informações específicas de cada marca, incluindo o nome e endereço do fabricante. A informação disponível neste Banco de Dados será de responsabilidade dos fabricantes.

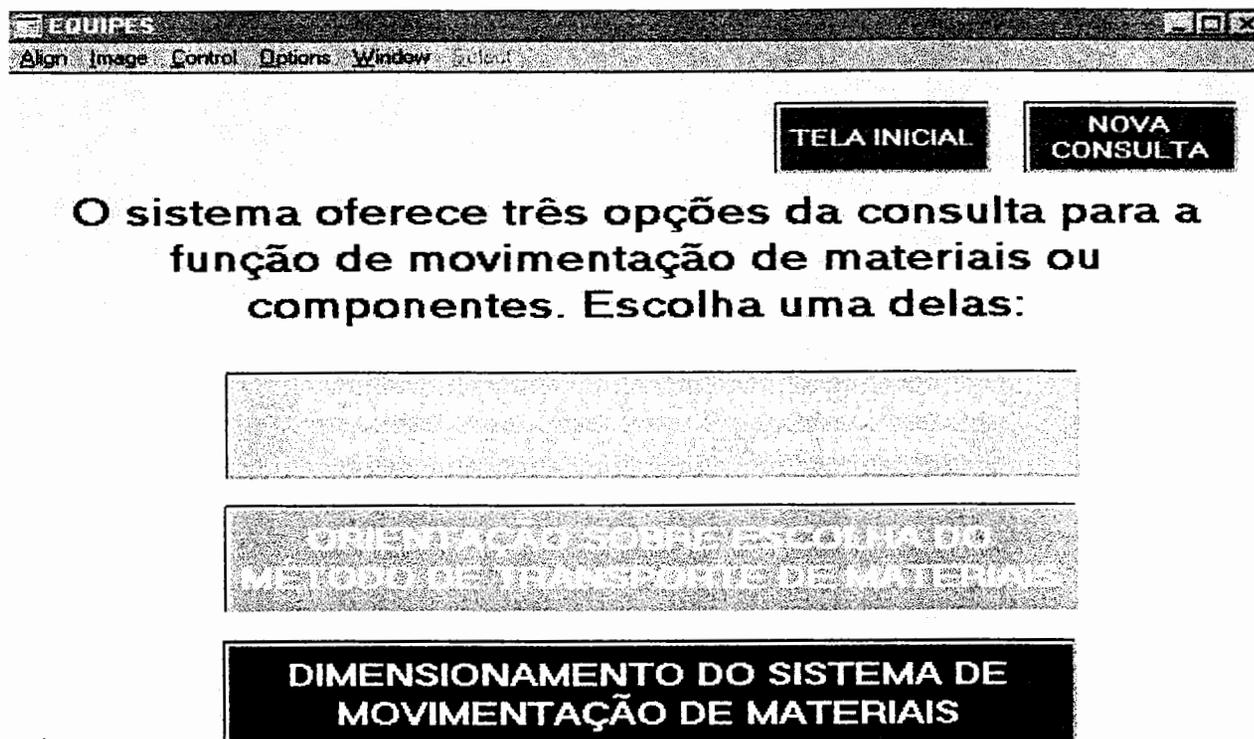


Figura 5 - Possibilidades de consulta na função Movimentação: existem três possibilidades de consulta, dependendo das necessidades do usuário e da disponibilidade de dados. Na primeira opção simplesmente escolhe-se o equipamento sem dimensionar o sistema de movimentação de materiais. Na segunda opção, EQUIPES sugere um sistema de movimentação a partir das escassas informações disponíveis. Na terceira, o usuário entra com algumas características da edificação e com datas do cronograma e EQUIPES faz uma avaliação econômica das diversas alternativas de sistema de movimentação de materiais.

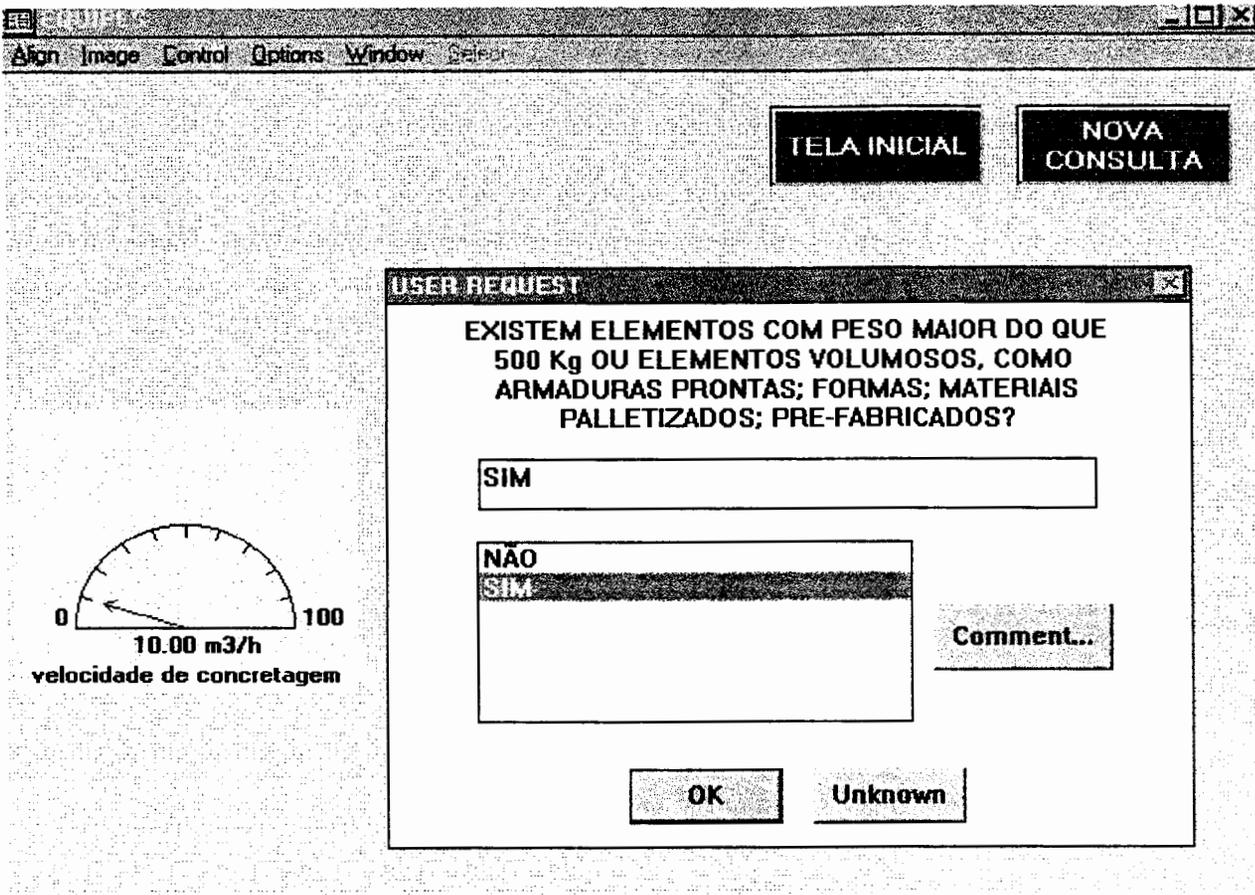


Figura 6 - Definição de características da edificação para a escolha do equipamento.

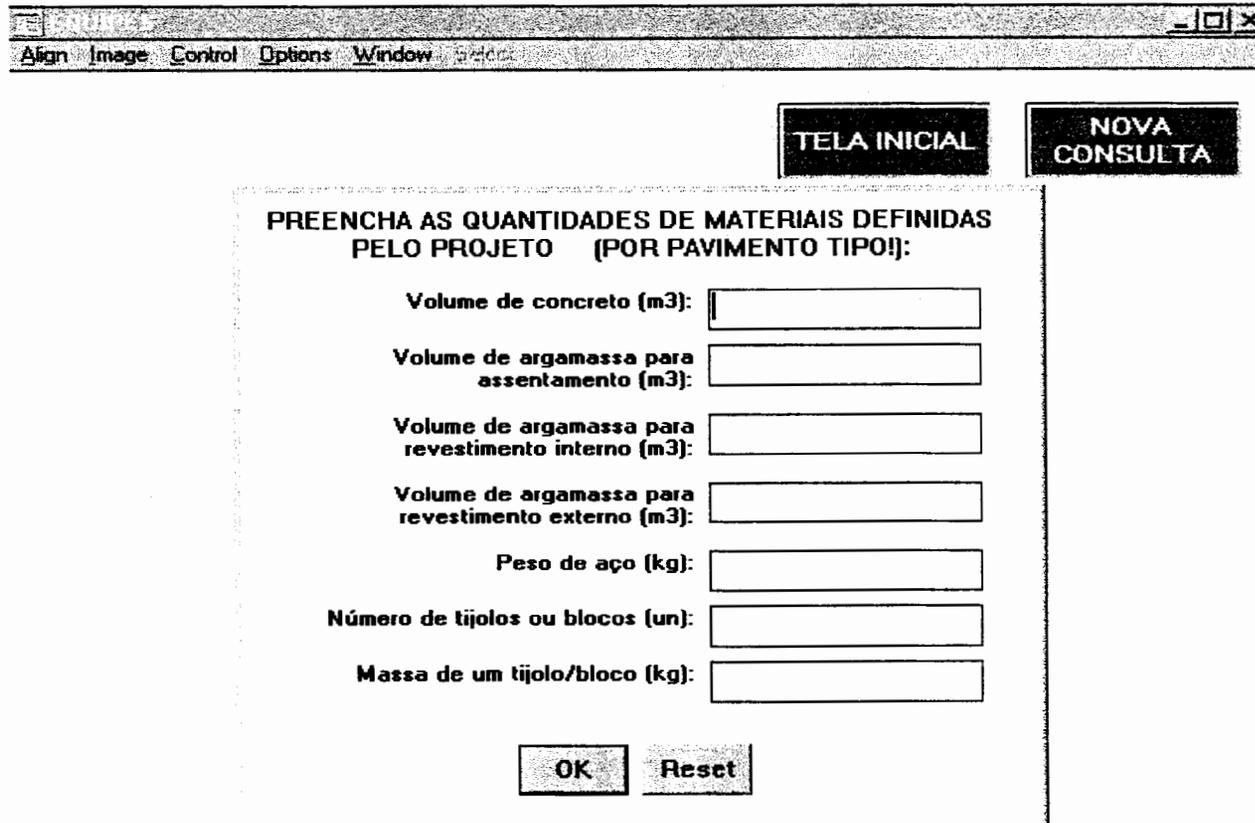


Figura 7 - Tela para entrada das quantidades dos materiais e componentes.

**TELA INICIAL** **NOVA CONSULTA**

**DADOS DO CRONOGRAMA DA OBRA: [Obs.:Tendo como referência o dia de início da estrutura]**

Dia de finalização da estrutura:

Dia de início da alvenaria:

Dia de finalização da alvenaria:

Dia de início do revestimento interno:

Dia de finalização do revestimento interno:

Dia de início do revestimento externo:

Dia de finalização do revestimento externo:

**OK** **Reset**

Figura 8 - Tela para entrada de dados do cronograma da obra.

**TELA INICIAL** **NOVA CONSULTA**

**MÉTODOS DISPONÍVEIS:**

M1 - BOMBA PARA TRANSPORTE DE CONCRETO E GRUA COM GAIOLA PARA OS DEMAIS MATERIAIS;

M2 - BOMBA PARA TRANSPORTE DE CONCRETO E ELEVADOR DE OBRA COM PALETIZAÇÃO PARA OS DEMAIS MATERIAIS;

M3 - BOMBA PARA TRANSPORTE DE CONCRETO E ELEVADOR DE OBRA COM CARRINHOS PARA OS DEMAIS MATERIAIS;

M4 - GRUA PARA TRANSPORTE DE CONCRETO E GRUA COM PALETIZAÇÃO PARA OS DEMAIS MATERIAIS;

M5 - GRUA PARA TRANSPORTE DE CONCRETO E ELEVADOR DE OBRA COM PALETIZAÇÃO PARA OS DEMAIS MATERIAIS;

M6 - GRUA PARA TRANSPORTE DE CONCRETO E ELEVADOR DE OBRA COM CARRINHOS PARA OS DEMAIS MATERIAIS;

M7 - ELEVADOR DE OBRA PARA TRANSPORTE DE CONCRETO E ELEVADOR DE OBRA COM PALETIZAÇÃO PARA OS DEMAIS MATERIAIS;

M8 - CONCRETO E OS DEMAIS MATERIAIS TRANSPORTADOS NO ELEVADOR DE OBRA EM CARRINHOS;

**Quais são os métodos a serem comparados?**

Método\_1  
Método\_2  
Método\_3  
Método\_4  
Método\_5  
Método\_6  
Método\_7  
Método\_8

**OK**

Figura 9 - Identificação dos métodos à serem comparados.

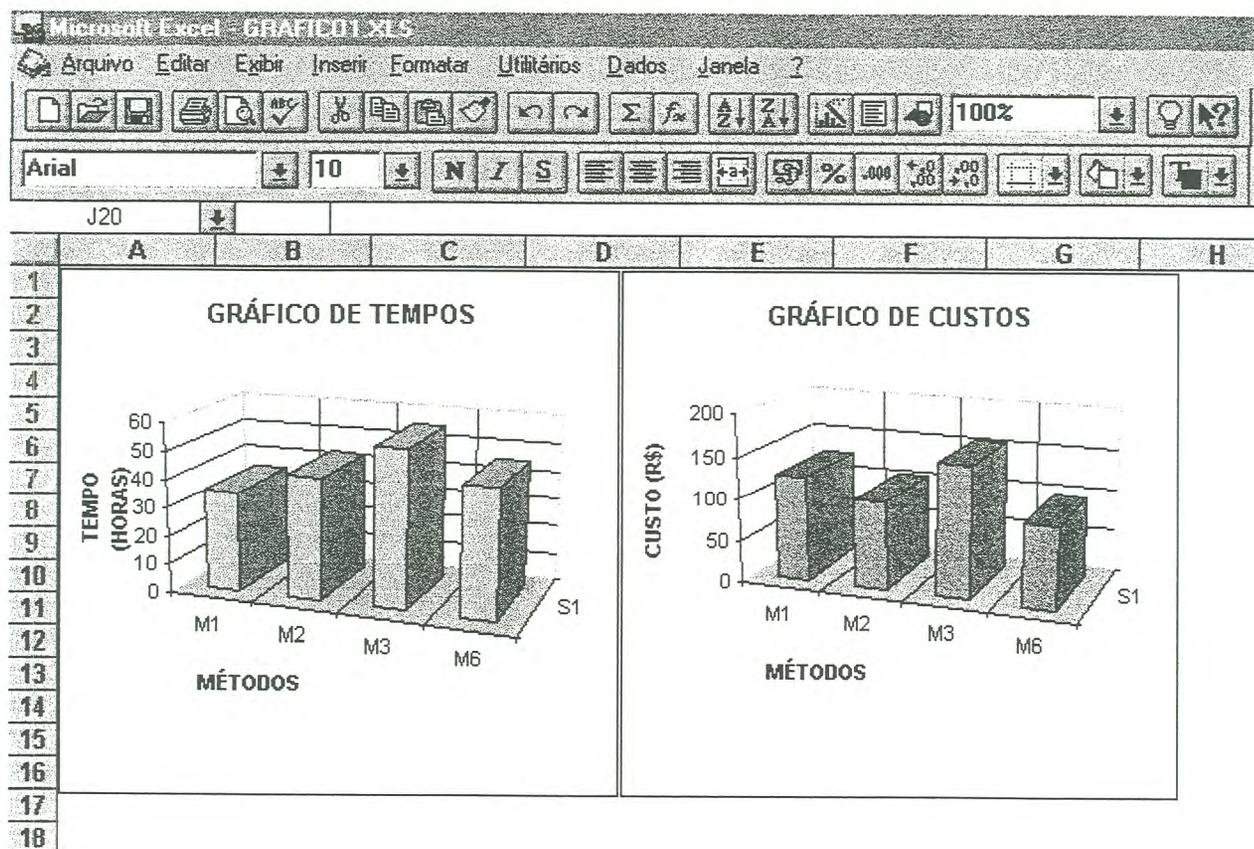


Figura 10 - Gráfico de comparação dos métodos escolhidos em termos de custo e prazo.