

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

SELEÇÃO DE SISTEMAS CAD/CAE/CAM PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE
PLÁSTICOS ATRAVÉS DE TESTES DE *BENCHMARK*

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

AUGUSTO RIBEIRO JUNIOR

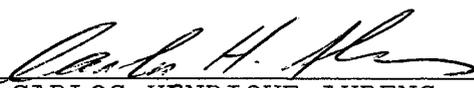
FLORIANÓPOLIS, SETEMBRO DE 1996

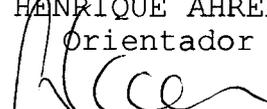
SELEÇÃO DE SISTEMAS CAD/CAE/CAM PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE
PLÁSTICOS ATRAVÉS DE TESTES DE *BENCHMARK*

AUGUSTO RIBEIRO JUNIOR

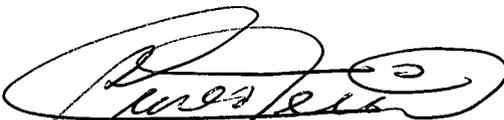
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA FINAL
PELO PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. CARLOS HENRIQUE AHRENS, Dr.Eng.Mec.
Orientador

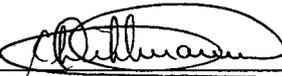

Prof. ABELARDO ALVES DE QUEIROZ, Ph.D.
Coordenador do curso

BANCA EXAMINADORA


Prof. ÁUREO CAMPOS FERREIRA, Ph.D.


Prof. ABELARDO ALVES DE QUEIROZ, Ph.D.


Prof. FERNANDO ANTÔNIO FORCELINI, Dr.Eng.Mec.


Eng. CHRISTIAN DIHLMANN, M.Eng.Mec.

À Gi, pelo amor e "paciência", elementos cruciais não apenas para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Augusto e Mary, por tudo.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Carlos H. Ahrens (CAICO), pelo apoio durante todo o processo.

Ao prof. Áureo Campos Ferreira, por permitir e auxiliar meu ingresso no grupo de *software* do GRUCON (início do CIMJECT).

À empresa Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda., por permitir a participação no processo de seleção do sistema CAD, bem como na publicação de algumas informações internas.

À empresa Multibrás S.A., por permitir a participação no processo de seleção de seu novo sistema CAM.

Ao amigo Luis Renato (Caspa), pelo auxílio na execução do estudo de caso.

Ao Vinícius, pelo auxílio no desenvolvimento do *software*.

Aos amigos do GRUCON/CIMJECT, por estarem "sempre" presentes.

A todos os amigos da Mecânica, pelas mais diversas opiniões.

A todos que tenham, direta ou indiretamente, colaborado neste processo de aprendizagem.

SUMÁRIO

ASSUNTO	PÁG.
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos do trabalho.....	5
1.2. Estrutura do trabalho.....	6
2. Considerações gerais sobre implantação de sistemas CAD/CAE/CAM.....	8
2.1. A ferramenta CAD/CAE/CAM.....	8
2.2. A seleção do <i>software</i>	10
2.3. A importância do <i>hardware</i>	10
2.4. O fator humano.....	16
2.5. O treinamento.....	18
2.6. Formação profissional.....	24
2.7. Considerações finais.....	26
3. Fundamentos de BENCHMARKING.....	27
3.1. O processo genérico de BENCHMARKING.....	29

3.2. Tipos de BENCHMARKING.....	32
3.2.1. BENCHMARKING interno.....	33
3.2.2. BENCHMARKING competitivo.....	33
3.2.3. BENCHMARKING funcional/genérico.....	34
3.3. O teste de BENCHMARK.....	34
3.4. Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão....	35
3.4.1. A dificuldade de formulação do processo de decisão.....	36
3.4.2. Algumas metodologias para auxílio à tomada de decisões.....	37
4. O método AHP.....	40
4.1. O AHP como metodologia multicritério de apoio à decisão.....	42
4.2. Base teórica do AHP.....	44
4.2.1. Considerações iniciais.....	44
4.2.2. Os 4 axiomas principais.....	48
4.2.3. Fundamentos matemáticos do AHP.....	51
5. <i>Software</i> de apoio à tomada de decisões.....	58
5.1. Edição da hierarquia (árvore).....	60
5.2. Edição das matrizes de julgamentos.....	62
5.3. Comparação entre critérios e subcritérios.....	63
5.4. O resultado final.....	64
6. Estudo de caso.....	66

6.1. Aplicação do AHP num grupo de decisão.....	68
6.1.1. Formação do grupo.....	68
6.1.2. Construção da hierarquia.....	69
6.1.3. A obtenção do consenso geral.....	86
7. Conclusões e sugestões para novos trabalhos.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXO A Uma descrição, passo a passo, do método AHP.....	103
ANEXO B Extensões da metodologia básica do método AHP.....	126
ANEXO C Critérios considerados 'imprescindíveis'.....	130
ANEXO D Teste de BENCHMARK: matrizes de julgamentos.....	134
ANEXO E Exemplo de planilhas para avaliação de <i>softwares</i> ..	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Crescimento percentual do número de ferramentarias que dispõem de sistemas CAD/CAM no Brasil.....	3
Figura 1.2. Destino e valores (%) dos ferramentais Brasileiros exportados.....	4
Figura 1.3. Países que exportam ferramentais para o Brasil...	4
Figura 3.1. O processo de BENCHMARKING de cinco estágios....	30
Figura 4.1. Comparação de <i>softwares</i> com relação a um determinado critério.....	45
Figura 5.1. O algoritmo do protótipo.....	59
Figura 5.2. A definição da hierarquia.....	61
Figura 5.3. Edição das matrizes de julgamentos.....	63
Figura 5.4. Comparações entre critérios e subcritérios.....	64
Figura 5.5. O resultado final.....	65
Figura 6.1. Hierarquia do problema analisado junto à Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda.....	70
Figura 6.2. Subcritérios de 1a. Ordem.....	72
Figura 6.3. Subcritérios de 2a. Ordem.....	78
Figura 6.4. Tela do <i>software</i> desenvolvido no GRUCON/CIMJECT, mostrando o resultado final....	88
Figura 6.5. Ampliação do resultado final de forma gráfica...	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Exemplos de sistemas CAD/CAE/CAM e as plataformas atualmente disponíveis.....	12
Tabela 2.2. Exemplos de <i>workstations</i> disponíveis no mercado e suas respectivas configurações.....	14
Tabela 4.1. Escala de razões para o AHP.....	47
Tabela 4.2. Índice de inconsistência randômica.....	54
Tabela 6.1. Pesos definidos pela empresa Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda, para a avaliação dos diversos sistemas envolvidos no teste de BENCHMARK.....	87
Tabela 6.2. Resultados do teste de BENCHMARK.....	88
Tabela 7.1. Resultados obtidos pelas metodologias AHP e a utilizada pela empresa Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda.....	91

LISTA DE SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
C.I.	Índice de Consistência (Consistency Index)
C.R.	Razão de Consistência (Consistency Ratio)
P.R.	Prioridade Relativa
R.I.	Índice de Inconsistência Randômica (Random Index)
P.C.	Personal Computer

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo global fornecer informações capazes de auxiliar as empresas da área de moldes no processo de seleção de sistemas CAD/CAE/CAM. Este auxílio é necessário e importante devido ao fato de muitas ferramentarias brasileiras não darem a devida atenção a necessidade de uma sistemática no processo de seleção, o que tem contribuído para dificultar a modernização deste setor em geral. Portanto, dos objetivos definidos para o trabalho, destacam-se o estudo de uma metodologia que auxilie na escolha de sistemas CAD/CAE/CAM para a área de moldes, bem como o desenvolvimento de um *software* para apoiar o teste de BENCHMARK. Para demonstrar a utilização da metodologia proposta, é apresentado um estudo de caso realizado junto a uma empresa do setor de moldes. Como conclusão do trabalho, são destacadas as contribuições feitas e as questões importantes observadas ao longo do estudo desenvolvido. No final, são apresentadas sugestões de novos trabalhos que poderão dar continuidade a este.

ABSTRACT

This work was written to help brazilian moldmaker companies for SELECTING COMPUTER AIDED SYSTEMS. These companies don't give a proper attention to this subject, criating difficulties to modernize this area. Nevertheless, from the defined objectives of this work it is possible to evidence the research and implementation of a methodology that helps selecting Computer Aided Systems, as well as a software development to help BENCHMARK tests. In order to understand this methodology, an application example (case study) is shown based on the proposal. As a conclusion of this work, the contributions are presented and important questions are discussed. Suggestions for new researches and developments are made, considering several subjects that were studied.

1. Introdução

A globalização da economia vem deixando de ser, já há algum tempo, tema restrito à seminários de estudiosos do comércio internacional, para se transformar em realidade no cotidiano das empresas da maior parte dos países industrializados. Além disso, o comércio internacional não mais se limita, há muito tempo, aos produtos industrializados: cresce a passos largos a oferta mundial de serviços (SCHULZ, 95).

Para avaliar o que está ocorrendo a nível mundial, basta examinar o calendário de feiras internacionais e constatar o aumento no número de feiras de subcontratação que vêm sendo realizadas. Tais eventos são importantes porque neles os fornecedores de serviços promovem seu trabalho, descobrem novos clientes e incrementam seus negócios. Nos últimos anos vêm sendo realizadas várias feiras envolvendo a prestação de serviços de

fundição, usinagem, estamparia e ferramentaria, para citar algumas (M. E METAIS,93). Entre os eventos de destaque, na área de prestação de serviços, somente na Europa, cabe citar a Feira Industrial de Hannover (dois pavilhões exclusivos para a subcontratação) e a Feira de Subcontratação de Bilbao (Espanha).

Neste cenário, as empresas fabricantes de moldes nacionais, comumente denominadas de ferramentarias ou matrizarias, têm procurado sobreviver através de investimentos em tecnologias como CNC, CAD/CAM, digitalização de modelos, entre outras (CAVALLIN, FACCHIN, ZANELATTO, 91), (M. E Metais, 92), (M. E METAIS, 93), (M. E METAIS, 94), (M. E METAIS, 95), (KOIKE, 95).

Este crescente investimento em novas máquinas e equipamentos, objetivando melhorar a qualidade dos moldes, reduzir seus custos finais e o prazo de entrega, vem ocorrendo devido a uma forte concorrência imposta pelo mercado externo que, em 1994, já correspondia a um percentual de 60 a 70% dos moldes de maior tonelagem e complexidade utilizados pela indústria de transformação do país (como por exemplo, a indústria automobilística). Aos fabricantes nacionais, cabia o fornecimento de moldes menores e mais simples, de baixo valor agregado (KOIKE, 95).

Referindo-se especialmente à CAD e CAM, ao longo dos últimos anos, tem havido um substancial crescimento na aquisição de tais sistemas por parte das empresas fabricantes de moldes, conforme pode ser observado pela distribuição mostrada na Figura 1.1.

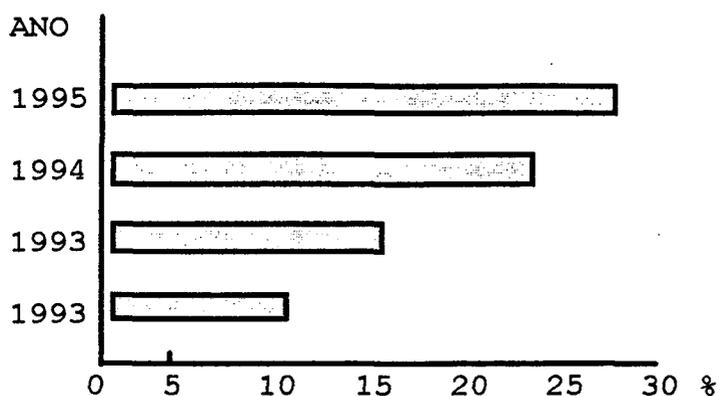


Figura 1.1. Crescimento percentual do número de ferramentarias que dispõem de sistemas CAD/CAM no Brasil (KOIKE, 95), (M. E METAIS, 92), (M. E METAIS, 93), (M. E METAIS, 94), (M. E METAIS, 95).

Tal situação tem possibilitado a algumas poucas ferramentarias brasileiras, competir e exportar seus moldes conforme pode ser constatado por (M. E METAIS, 93) cujos valores são apresentados na Figura 1.2.

Contudo, apesar do crescente investimento em modernização e da capacitação tecnológica alcançada por algumas empresas do setor de ferramentarias do país, o Brasil ainda vem sendo considerado um mercado muito promissor para as ferramentarias estrangeiras, como pode ser observado na Figura 1.3. (M. E METAIS, 93), que apresenta, como exemplo, a distribuição percentual de ferramentais estrangeiros importados pelo Brasil em 1993.

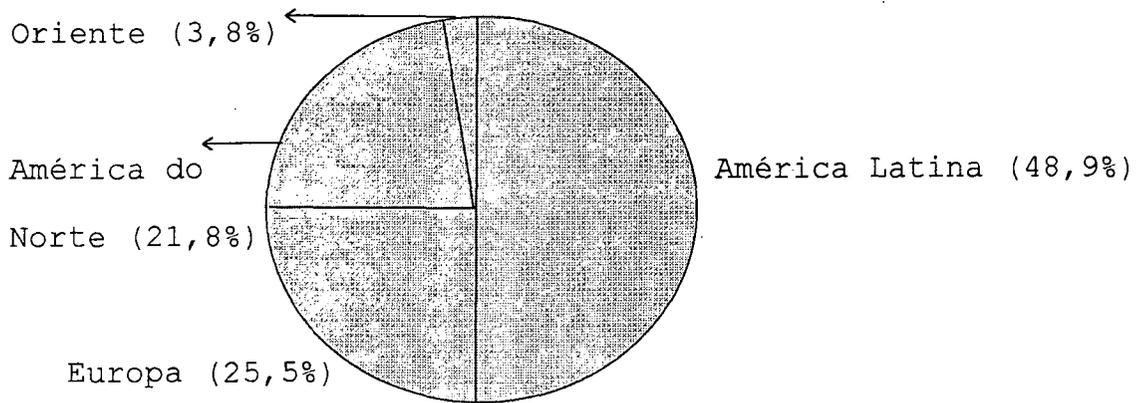


Figura 1.2. Destino e valores (%) dos ferramentais* Brasileiros exportados (M. E METAIS, 93).

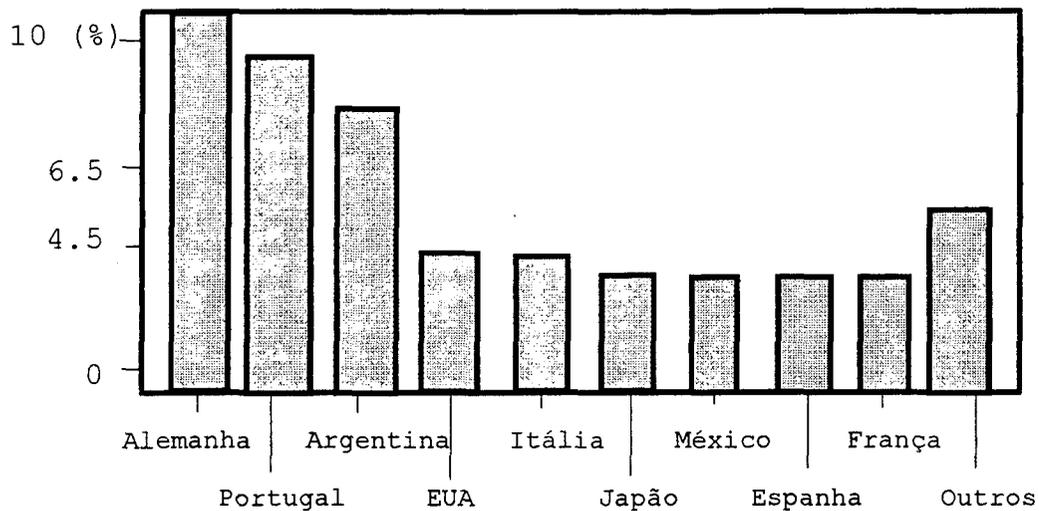


Figura 1.3. Países que exportam ferramentais para o Brasil (M. E METAIS, 93).

Isto se deve, em parte, ao fato de muitas ferramentarias brasileiras não darem a devida atenção a necessidade de empregar uma sistemática no processo de seleção de sistemas CAD/CAE/CAM,

* O termo "ferramentais" engloba todas as ferramentas produzidas por ferramentarias (matrizes, moldes), estamparias (estampos) e fundições (fundidos).

o que tem contribuído para dificultar o processo de modernização deste setor em geral (AHRENS, 94), (CORRÊA, 95).

1.1. Objetivos do trabalho

Este trabalho tem por objetivo global estabelecer uma metodologia capaz de auxiliar as empresas da área de moldes, no processo de seleção de sistemas CAD/CAE/CAM. Para tanto, tem como objetivos específicos:

1. Apresentar uma abordagem clara e objetiva sobre os aspectos que devem ser considerados para implantar sistemas CAD/CAE/CAM na área, mostrando a importância de um selecionamento correto;
2. Apresentar uma revisão bibliográfica sobre BENCHMARKING para mostrar suas principais características e onde o teste de BENCHMARK se enquadra;
3. Apresentar uma revisão bibliográfica sobre "metodologias multicritérios de apoio à decisão";
4. Desenvolver uma metodologia, baseada no método **AHP** (**A**nalytic **H**ierarchy **P**rocess, ou, Método da Análise Hierárquica), que auxilie na escolha de softwares CAD/CAE/CAM para a área de moldes;
5. Desenvolver um protótipo de software para apoiar o teste de BENCHMARK.
6. Realizar um estudo de caso para mostrar a utilidade e a aplicabilidade da metodologia desenvolvida;

1.2. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em sete capítulos, para melhor compreensão do tema abordado.

Assim, este capítulo, além da apresentação dos objetivos do trabalho, aborda uma visão geral sobre a situação vivida pelo setor de moldes de injeção.

O capítulo 2 apresenta o assunto referente à "tecnologia de implantação de sistemas CAD/CAE/CAM" ou, em outras palavras, orientações para se conseguir bons resultados de um ambiente com estas tecnologias.

No capítulo 3 são descritos brevemente os conceitos fundamentais do processo de BENCHMARKING. Além das etapas principais deste processo, são descritos os três tipos existentes de BENCHMARKING, dando-se maior ênfase àquele que se enquadra ao processo de selecionamento de produtos oferecidos por diferentes empresas (teste de BENCHMARK).

Para realizar um teste de BENCHMARK, este deve estar embasado numa metodologia de apoio a decisão. Assim, o capítulo 4 trata de explicar, através de seus principais tópicos, o método escolhido para o desenvolvimento do "teste de BENCHMARK". Ao longo deste capítulo, fica claro sua inserção dentro do assunto "Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão".

Para auxiliar na realização do estudo de caso, foi desenvolvido um protótipo de *software* baseado no **AHP**. Este protótipo é explicado no capítulo 5.

Como forma de demonstrar a utilização da metodologia proposta, é apresentado, no capítulo 6, um estudo de caso.

Finalizando o trabalho, o capítulo 7 contém as conclusões gerais com sugestões para o desenvolvimento de novos trabalhos na área estudada.

Ainda são apresentados, após o capítulo 7, alguns anexos com informações adicionais sobre o tema estudado.

2. Considerações gerais sobre implantação de sistemas CAD/CAE/CAM

2.1. A ferramenta CAD/CAE/CAM

Há uma década atrás, implantar um sistema CAD significava fazer um investimento de milhares de dólares. Hoje, com um décimo deste valor, pode-se instalar um sistema muito mais poderoso e com funcionalidades que o engenheiro daquela época podia apenas sonhar (EXAME INFORMÁTICA, 95).

Cada vez mais, ferramentas tecnológicas têm sido utilizadas visando reduzir custos, melhorar a qualidade de produtos e tornar sua produção mais eficiente. Por isso, os *softwares* de CAE/CAD/CAM têm tido uma participação fundamental nesse processo (ROSA, FORCELLINI et al., 90). Os sistemas CAD são ferramentas de

projeto computadorizadas que possibilitam muito mais do que substituir as pranchetas dos desenhistas. Além de reduzir o tempo gasto no projeto, o número de protótipos que precisam ser feitos e, dependendo do produto, o número de moldes a serem fabricados antes de chegar à versão definitiva, também permitem a integração com os *softwares* de CAM, que auxiliam na geração do comando numérico para a usinagem da peça ou do molde a ser utilizado em sua fabricação (EXAME INFORMÁTICA,95). Além da ligação com o CAM, os sistemas CAD também são utilizados com a tecnologia CAE, responsável por análises estruturais, reologia, resfriamento de moldes, etc.

Mesmo com todas estas vantagens oferecidas pelos sistemas CAD/CAE/CAM, o que ainda falta para muitas ferramentarias nacionais, é a conscientização de que para se obter 100% de qualidade num produto, requer-se 100% de qualidade na maneira como o mesmo é projetado, desenhado, planejado e fabricado. Em muitas situações, apenas através da automatização e da sua consistente repetição, é possível atingir esta meta (LEOCÁDIO,89).

É neste contexto que as tecnologias CAD/CAE/CAM se enquadram: uma possível solução para um aumento da competitividade das empresas.

2.2. A Seleção do SOFTWARE

A escolha do *software* é uma tarefa fundamental num processo de implantação de um sistema CAD/CAE/CAM, uma vez que se trata em escolher o elo de ligação entre o trabalho concluído e o usuário, devendo permitir, a este último, o melhor nível possível de interação durante a execução de suas tarefas. Esta escolha está diretamente ligada a outra, a saber, a seleção do *hardware*, como será melhor explicado no item seguinte.

Assim, para que sejam satisfeitas as expectativas criadas durante a implantação do sistema, um processo criterioso de seleção deve ser levado em consideração, assunto este a ser abordado nos capítulos 4 e 6, e que se constitui no tema central deste trabalho.

2.3. A importância do HARDWARE

Muitas vezes, no processo de seleção de sistemas CAD/CAE/CAM, as empresas de moldes não dão a devida atenção sobre quais equipamentos deverão adquirir. Segundo (KOIKE,95), (CORRÊA,95), isto ocorre, principalmente, devido a dois fatores: desconhecimento dos quesitos fundamentais a considerar e/ou a necessidade de redução de custos, sem avaliar as desvantagens daí decorrentes.

De maneira geral, as empresas dão preferência à soluções baseadas em arquitetura CISC (*Complex Instruction Set Computer*),

utilizadas pelos PC's* (às vezes denominados 'low-end systems' (EXAME INFORMÁTICA,95)), haja vista que os microcomputadores e os sistemas voltados a esse tipo de equipamento têm um custo bem menor, se comparados às *workstations* (estações de trabalho) e seus respectivos sistemas (DUARTE,95).

Isso não implica que a melhor alternativa disponível no mercado, quando se trata de tecnologias CAD/CAE/CAM, seja a de sistemas para PC (DUARTE,95).

Muitos desenvolvedores destinam seus respectivos sistemas ao uso de *workstations* (sendo comumente denominados 'high-end systems' (EXAME INFORMÁTICA,95)), devido ao grande volume de cálculos matemáticos, principalmente em operações com pontos flutuantes (números reais), que podem ser executados nestes equipamentos para gerar modelos geométricos, simulações numéricas, trajetórias de usinagem e outros (ROSA,88).

Assim, como as estações de trabalho apresentam melhor desempenho, estas têm sido escolhidas por um grande número de empresas de *software* para suportarem aplicações pesadas e críticas, que exigem grande capacidade e velocidade de processamento (EXAME INFORMÁTICA,93), (TESCHLER,91).

Mesmo com as possibilidades de uso e desempenho comprometidas, quando comparadas com as versões para *workstations*, já existem muitos sistemas CAD/CAE/CAM, voltados para PC, fundamentados no mercado (tabela 2.1).

* Microcomputadores de arquitetura padrão IBM ou compatível.

Uma justificativa para esta aparente contradição, reside nos esforços que vêm sendo realizados visando o crescimento de desempenho dos microcomputadores e, paralelamente, a compactação das *workstations*. O resultado desta "conversão" é o que se chama hoje de "Personal Workstations", ou seja, estações de trabalho utilizadas como ferramenta de produtividade pessoal e trabalhos técnicos mais simplificados (DUARTE, 95), (TESCHLER, 91).

Tabela 2.1. Exemplos de sistemas CAD/CAE/CAM e as plataformas atualmente disponíveis (KOIKE, 95).

SISTEMA	MÓDULOS	FABRICANTE	ÁREA DE APLICAÇÃO	PLATAFORMA
AutoCAD	CAD	Autodesk/USA	Diversas	Workstation/PC
Cadkey	CAD	Ascongraph/USA	Metal-mecânica	PC
Catia	CAE/CAD/CAM	IBM/USA	Metal-mecânica	Workstation
Cimatron	CAE/CAD/CAM	Cimatron/Israel	Metal-mecânica	Workstation/PC
C-MOLD	CAE/CAD	Advanced CAE/USA	Plásticos/moldes	Workstation/PC
DUCT5	CAD/CAM	DELCAM/UK	Metal-mecânica	Workstation/PC
Euclid-IS	CAE/CAD/CAM	Matra Datavision/França	Metal-mecânica	Workstation/PC
I-DEAS	CAE/CAD/CAM	SDRC/USA	Metal-mecânica	Workstation
Intergraph	CAE/CAD/CAM	Intergraph/USA	Metal-mecânica	Workstation
MicroStation	CAD	Intergraph/USA	Diversas	Workstation/PC
MoldFlow	CAE/CAM	MoldFlow/ Austrália	Plásticos/moldes	Workstation/PC
Nastran	CAE/CAD	MSC/USA	Metal-mecânica	Workstation
SmartCAM	CAD/CAM	Point Control/USA	Metal-mecânica	Workstation/PC

Um exemplo de "Personal Workstation" é a família TD criada e comercializada pela SISGRAPH/INTERGRAPH. Dotadas de dois

processadores Pentium, da INTEL, de 90 MHz, com tecnologia CISC, são especialmente configuradas para aplicação com sistemas CAD/CAE/CAM (DUARTE,95).

Segundo (KOIKE,95), em relação às *workstations*, os processadores centrais são do tipo RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), no entanto, cada fabricante denomina seu respectivo processador com um nome específico (tabela 2.2).

Dois padrões são utilizados para identificar a velocidade de processamento das mesmas (EXAME INFORMÁTICA,93): **MIPS**, (quantos milhões de instruções por segundo são necessários para executar uma certa operação) e os **MFLOPS**, (milhões de instruções envolvendo números reais por segundo).

Como outras características, além de uma alta velocidade de processamento, é fundamental que o computador voltado a atender sistemas CAD/CAE/CAM para a área de moldes, disponha de uma grande capacidade de armazenamento de dados, tanto em memória volátil quanto de massa. As várias opções de mercado permitem dispor de discos rígidos que podem chegar à vários *Gbytes*, conforme mostra a tabela 2.2. (KOIKE,95).

Também de elevada importância é a configuração dos periféricos, principalmente o monitor de vídeo, que deve ter processador gráfico para manipular e editar as imagens rapidamente, liberando a CPU para outras tarefas, como acesso à disco e cálculos numéricos (ROSA,88).

Tabela 2.2. Exemplos de Workstations disponíveis no mercado e suas respectivas configurações (KOIKE, 95).

Modelo	Fabricante	Processador	RAM (MB)	MIPS	MFLOPS	Disco Rígido	Frequência (MHz)	Sistema Operacional
500 AXP e 500X AXP	DEC	Alpha AXP	32 MB a 16 GB	151,5 a 201	29,6 a 39,8	426 MB a 100 GB	150/200	Open VMS e DEC OSF/1
715/33 e 715/50	HP	PA-RISC	8 a 256	41 a 62	8,6 a 13	525 MB a 2 GB	33/50	HP-UX
755	HP	PA-RISC	64 a 768	124	40	2 a 4 GB	99	HP-UX
POWER-station M20	IBM	IBM-POWER	16 a 64	-	6,6	-	33	AIX/6000
POWER-station 500	IBM	IBM-POWER	16 MB a 1 GB	-	11,9 a 38,1	400 MB a 7,2 GB	25 a 62	AIX/6000
6850 e 6880	Intergraph	RISC Clipper C400	32 a 512	85	16,5	1 a 10,4 GB	-	CLIX
IRIS Indigo	Silicon Graphics	Mips R3000/ R400/ R4400	32 a 384	33 a 120	4,2 /16/22	236 MB a 3,6 GB	33/100/150	IRIX
Onyx L,XL	Silicon Graphics	Mips R4400 (2 a 24)	64 MB a 16 GB	128 a 528	22 a 528	2,4 GB a 3,5 TB	150	IRIX
SPARC-station 10	SUN Microsystems	Super-SPARC (até 4)	32 a 512	101,6 a 488	20,5 a 99,6	424 MB a 41 GB	36 a 45	Solaris
SPARC-center 2000	SUN Microsystems	Super-SPARC (até 20)	64 MB a 5 GB	739,8	170,1	4 GB a 1 TG	40	Solaris

Devido as diferenças existentes entre os sistemas operacionais de cada fabricante de workstations, os desenvolvedores de sistemas CAD/CAE/CAM possuem uma versão distinta do sistema para cada fabricante diferente desses

equipamentos, sendo que tais versões não são intercambiáveis entre si. Para (KOIKE,95), isto ocorre em consequência da falta de padronização.

Não existe uma forma definida, aplicável a um sistema qualquer, para se selecionar uma configuração de *hardware* adequada a um certo sistema CAD/CAE/CAM. As soluções atuais são bastante versáteis, pois pode-se definir uma configuração própria reunindo componentes de diferentes fabricantes, resultando em um equipamento voltado à uma situação específica.

Segundo (KOIKE,95), a definição da alternativa final a ser adotada, deve ser criteriosamente realizada considerando-se, entre outros fatores:

- 1.os requisitos do sistema CAD/CAE/CAM a ser utilizado;
- 2.as capacidades de memória RAM e de disco rígido necessárias;
- 3.a versão adequada do sistema operacional;
- 4.o uso de placa controladora de vídeo (com acelerador gráfico);
- 5.a resolução do monitor de vídeo;
- 6.a possibilidade de expansão de configuração (*upgrading*);
- 7.velocidade de processamento da(s) CPU(s);
- 8.o tempo de acesso ao disco rígido e a velocidade na transmissão de dados pela placa controladora;
- 9.a alternativa para interligação via redes locais (placa de rede);
- 10.a necessidade de periféricos especiais como unidade leitora de fitas (**dat**) e CD-ROM;

11. uma eficiente assistência técnica por parte do fornecedor.

2.4. O fator humano

O uso eficiente de sistemas CAE/CAD/CAM requer mão-de-obra com conhecimentos muito refinados, capazes de tirar o máximo proveito de cada ferramenta, possibilitando que a empresa venha a obter uma vantagem competitiva sobre a concorrência. Assim, para se alcançar este objetivo, faz-se necessário investir em educação, treinamento e reciclagem de técnicos, para viabilizar a implantação e obter resultados produtivos com o uso dos sistemas computacionais, no mais breve período de tempo (KIEF, WATERS, 92), (JASANY, 94), (AHRENS, 95), (MARKS, RILEY, 95).

Ignorar as necessidades e expectativas dos futuros usuários na implantação destas novas tecnologias é extremamente desaconselhável. Manter o grupo de trabalho informado e obter sua cooperação e suporte entusiasta é tão importante e necessário quanto um treinamento prático inicial, se o objetivo for o de explorar ao máximo esta nova tecnologia (KIEF, WATERS, 92).

Para se conseguir uma transição gradual e homogênea do processo de manufatura convencional (quase artesanal) para outro em que máquinas NC apoiadas por sistemas CAD/CAM sejam o dia-dia para todos, é necessária uma extensiva preparação e um elaborado treinamento (CAVALLIN, FACCHIN, ZANELATTO, 91). Antes e durante o processo de aquisição de sistemas CAD/CAE/CAM, a empresa deve

manter os empregados bem informados a respeito dos motivos que a levaram a tomar tal decisão. Deve-se, acima de tudo, levantar os aspectos positivos a serem alcançados com esta mudança, deixando sempre claro que, sem a colaboração de todos, o processo de evolução tecnológica não ocorrerá de maneira adequada: "o aspecto humano é essencial" (KIEF, WATERS, 92), (GIMENES, 95).

Outro fator importante a salientar, é que o empregado não ficará menos qualificado com a introdução de sistemas CAD/CAE/CAM. Muito pelo contrário, quanto maior a complexidade destes sistemas, maior deve ser o conhecimento do usuário, exigindo-se do mesmo maior conhecimento dos softwares. Adicionalmente, seu conhecimento prático é fundamental, já que muitos possuem anos de experiência em suas áreas específicas, tirando-se assim um maior proveito do sistema (JASANY, 94).

Estas informações fornecidas aos funcionários, podem ser realizadas através de panfletos, filmes, material ilustrativo, etc. Deve-se deixar claro que o "status" de cada funcionário aumentará, já que o mesmo irá adquirir maior conhecimento, tornando-se assim mão-de-obra ainda mais especializada e imprescindível para a empresa (CANÇADO, 95).

O grau de informação fornecido aos funcionários também é outro fator muito importante, já que, para garantir uma transição suave e sólida para novas tecnologias, conhecimentos muito superficiais do assunto não são suficientes. Deve-se buscar atingir o mais alto grau de informação para as pessoas

envolvidas no processo (tanto a nível de chefia, quanto entre os futuros usuários) o mais cedo possível (WELBOURN,91).

Uma boa organização implica ter tempo suficiente para providenciar as informações necessárias e o treinamento. Vale lembrar que o processo de aprendizagem será maior e mais difícil se as pessoas envolvidas estiverem muito tempo afastadas de tecnologias mais avançadas (KIEF, WATERS,92). Até mesmo a habilidade de "aprender" deve ser "reaprendida".

2.5. O treinamento

Uma das maiores causas do baixo rendimento de ambientes de projeto com tecnologias CAD/CAE/CAM, é a realização de treinamentos inadequados e ineficientes (GIMENES,95), (MARKS,RILEY,95). Não existe uma fórmula que garanta o sucesso de um treinamento em um sistema CAD/CAE/CAM. No entanto, seguindo algumas recomendações básicas, a probabilidade de sucesso é maior. Para (WELBOURN,91), (CANÇADO,95) e (KIEF, WATERS,92), é recomendável que o treinamento nestas tecnologias seja dividido em partes, tendo o conteúdo programático baseado no tipo de usuário a ser treinado.

Em se tratando de empresas de médio a grande porte, com sistemas CAD/CAE/CAM já implantados, os treinamentos devem ter como características básicas: curta duração e o atendimento de necessidades específicas dos solicitantes (empresas). Para pequenas ferramentarias, o assunto torna-se um pouco mais

delicado, já que o pequeno número de funcionários é um fator limitante para a definição do tipo e profundidade do treinamento em sistemas CAD/CAE/CAM (TURRIN,91).

É muito usual treinar os futuros usuários (desenhistas, projetistas, etc.) em plataformas e cursos básicos de programação, o que é um erro clássico, pois esse treinamento normalmente cria uma cultura que se expande rapidamente nas empresas, prejudicando a produção (WELBOURN,91), (CANÇADO,95), (KIEF, WATERS,92).

Segundo (CANÇADO,95) e (WELBOURN,91), além de desenvolver o treinamento de acordo com o público-alvo, torna-se necessário estabelecer pré-requisitos para cada tipo de curso a ser realizado, tais como:

- Os usuários de produção, por exemplo, devem ser treinados para operar ambientes customizados e aplicativos disponíveis para o desenvolvimento de suas tarefas;

- Os profissionais de desenvolvimento precisam ser treinados em algoritmo, programação, sistemas operacionais, técnicas de customização, plataformas básicas e suas ferramentas e também em operação de aplicativos;

- O mesmo treinamento deve ser dado aos profissionais de suporte, adicionando conhecimentos sobre o hardware utilizado;

- O treinamento dos profissionais de desenvolvimento e suporte deve ser feito na época da aquisição do ambiente de

projeto, para otimizar o tempo de aculturação sobre o ambiente;

- Os profissionais de produção deverão ser treinados durante, ou poucos dias antes, à implantação do ambiente customizado ou do aplicativo. Esses procedimentos aceleram o aculturação da equipe, evitando a perda de produtividade.

Segundo (JASANY,94) e (CANÇADO,95), os problemas mais comuns com que as empresas se deparam, no processo de implantação de sistemas CAD/CAE/CAM, são:

Rejeição inicial: Como em todas as novas tecnologias, existe sempre uma rejeição devido aos paradigmas existentes no sistema, associados a um temor dos profissionais de serem superados por outros ou mesmo substituídos pela máquina. Esse aspecto deve ser tratado com muito cuidado, programando-se um período para adaptação e fazendo com que os usuários participem ao máximo do processo de implantação (AHRENS,95). "O ambiente ideal é aquele definido pelos operadores e aprimorado pelo pessoal de desenvolvimento".

Desnivelamento: A falta de planejamento para implantação de ambientes CAD/CAE/CAM pode provocar uma certa rivalidade entre órgãos, devido ao desnivelamento das tecnologias utilizadas. Isso pode causar sentimento de inferioridade ou superioridade nos profissionais em função do ambiente de trabalho.

Especificações inadequadas: Treinamento inadequado gera especificações que nunca atingirão o objetivo. Geralmente são feitas várias tentativas para consertar os problemas em uma situação em que o mais adequado seria refazer todo o processo.

O custo desenvolvido na realização de um treinamento completo e adequado é válido, pois os prejuízos advindos de um treinamento insuficiente no sistema escolhido, poderão gerar desinteresses pela incapacidade em atingir as expectativas existentes antes da implantação. Para permitir uma adaptação sem traumas da empresa à nova tecnologia, é necessário tempo suficiente para se incorporar todas as potencialidades da mesma, trazendo o retorno do investimento feito. Portanto, a experiência tem demonstrado que o estabelecimento de prazos fixos para atender as necessidades de produção, não devem ser exigidas sem a devida adaptação do usuário ao sistema (AHRENS, 95), (GIMENES, 95).

Segundo (AHRENS, 95), dúvidas existentes quanto a quem treinar, qual a formação necessária para os futuros usuários e quantos devem ser treinados, não são perguntas fáceis de serem respondidas, existindo apenas algumas recomendações baseadas na experiência dos que já estão empregando a tecnologia.

Segundo (WELBOURN, 91) se o objetivo for apenas a implantação de um sistema CAD, não deverá ocorrer problemas sérios no treinamento de desenhistas iniciantes (juniors) da empresa, uma vez que os mesmos já apresentam o conhecimento

técnico necessário. A idade do usuário não constituirá nenhum problema se este estiver motivado pela mudança. A maioria dos desenhistas conseguirá adquirir os conhecimentos básicos em apenas uma semana, sendo auto-suficiente depois de um mês, embora levará meses antes que se possa tirar proveito completo do sistema CAD. Tempo e esforço gastos com a customização do software nesta etapa serão muito úteis no futuro (CANÇADO,95).

Já o treinamento de desenhistas mais experientes (seniors) pode ser um problema, pois normalmente estes possuem outras tarefas além do desenho propriamente dito. Algumas empresas solucionaram este aparente impecilho através da união da experiência com a inexperiência. Desenhistas iniciantes na profissão aprendem a utilizar o sistema CAD sob supervisão dos profissionais com mais experiência e técnica em desenhos. Numa pequena empresa pode não haver pessoal suficiente para este tipo de solução, gerando a necessidade de sobrecarregar o desenhista disponível (WELBOURN,91).

Com sistemas CAD/CAM a história já é bem diferente. Muitos desenhistas não levam em consideração o processo de fabricação tão a sério quanto o desenho propriamente dito, e uma série de tentativas e erros acabam sendo realizadas antes de atingir o projeto definitivo. Por isso, as pessoas mais indicadas como futuros usuários, são ferramenteiros e/ou operadores de máquinas, pois possuem a experiência necessária para realizar a ligação entre CAM e a fabricação propriamente dita (TURRIN,91), (WELBOURN,91), (CAVALLIN, FACCHIN, ZANELATTO,91).

Na implantação de sistemas CAD/CAE/CAM, o número de funcionários da empresa não influencia tanto no conteúdo do treinamento, já que os primeiros usuários devem sempre conhecer bem o sistema utilizado, para que repassem para outros apenas o necessário, alcançando assim um nível ótimo de produção, sem tempo gasto com treinamentos desnecessários (AHRENS,95). Neste caso, os treinamentos usuais fornecidos pelas "software-houses" se aplicam muito bem: treinamentos separados em módulos (básico, intermediário e avançado) intercalados por períodos de experiência prática de várias semanas. O tamanho da empresa influencia fortemente no número de pessoas a serem treinadas. Um mínimo aconselhável seria de três pessoas (limitado pelo tamanho da empresa) para que nunca ocorra problemas de falta de pessoal especializado para utilizar o sistema CAD/CAE/CAM, além de que a motivação dos futuros usuários seria maior (um certo nível de competição sempre deve existir) (CANÇADO,95), (AHRENS,95), (WELBOURN,91), (TURRIN,91).

Para um "upgrade" de versões, o treinamento deve ser customizado para as necessidades do cliente (empresa), assim como para o treinamento de novos usuários.

2.6. Formação Profissional

Nestes últimos anos, investimentos visando melhorar a formação profissional para a área de moldes têm tido um acentuado crescimento, sem contudo atingir os objetivos

pretendidos, uma vez que tem se deparado com vários fatores altamente condicionantes do seu sucesso, dos quais pode-se destacar (FIGUEIREDO,91), (AHRENS,94):

- **Ausência de ensino médio de caráter técnico:** Este fato já vem se modificando nos últimos anos na realidade brasileira. Escolas técnicas em todo o Brasil já estão se preocupando com a formação a nível de 2º grau voltada especialmente a área de projeto e fabricação de moldes.
- **Ausência de ensino superior:** Praticamente não existem cursos de nível superior voltados para a área de moldes. Como o mercado vem exigindo a formação de profissionais mais qualificados para lidar com projeto e fabricação de moldes, a tendência é o crescimento da atenção das universidades para o assunto.
- **Fraca rentabilização dos meios envolvidos nos sistemas de ensino:** Sem uma remuneração atrativa, fica difícil atrair ou manter um maior número de profissionais capacitados para a área de pesquisa e ensino.
- **Grande distância entre ensino e indústria:** O aluno sai da instituição de ensino com uma série de idéias, de "nomes novos" e com o conhecimento de novas técnicas, mas daí a aplicá-los na vida real vai um grande passo. Além disso, ainda há o "abismo" existente entre teoria e prática. Uma solução para este problema que já vem sendo realizada por muitas universidades e escolas técnicas, é o estágio de período integral durante um determinado período (seis meses, por exemplo) nas empresas;

- **Disponibilidade de formadores:** Existem poucos formadores devidamente habilitados para satisfazer as necessidades criadas pelo mercado (prática aliada a teoria);
- **Tamanho das empresas:** Mais uma vez, o número de funcionários também é aqui um fator a ser considerado. Genericamente falando, o reduzido número de trabalhadores e a debilidade estrutural das empresas da área, geram dificuldades para a organização de ações de formação na própria empresa, e muito mais ainda para a disponibilização de pessoal e financiamento de deslocamento e estadias prolongadas nos centros urbanos onde se realizam a maior parte destas ações;
- **Falta de tradição:** Frases como "Para chegar até aqui não necessitei de nada disso" ou "Não me importo de ir a um curso desde que seja dentro do horário do trabalho ou que me paguem as horas" tem que rapidamente deixarem de serem ditas... É sempre difícil mudar mentalidades.

A importância estratégica da formação profissional impõe que rapidamente se ultrapassem as condicionantes apontadas. Todos os esforços têm que caminhar nesse sentido (FIGUEIREDO, 91), (AHRENS, 94):

- O governo, através de uma reestruturação do ensino e do apoio financeiro necessário;
- As empresas, por si só ou associadas em organizações regionais ou setoriais através de uma intervenção mais dinâmica na

definição de *curriculum vitae* (maior participação junto as universidades) e na motivação dos seus trabalhadores;

- As universidades, melhorando sua capacidade em atender as carências das empresas;
- Os trabalhadores, assumindo a necessidade de uma evolução contínua que lhes permita continuar a competir no mercado de trabalho.

2.7. Considerações finais

Conforme pôde ser verificado, duas questões que quase sempre são levantadas inicialmente por empresas interessadas na implantação de sistemas CAD/CAE/CAM, são: a) a necessidade da empresa estar segura quanto as vantagens a serem obtidas com o emprego destes, e b), uma vez decidida pela implantação, como e o que selecionar de SOFTWARE e HARDWARE.

Contudo, outros fatores são considerados fundamentais no processo, tais como:

- 1.A importância em manter os empregados sempre bem informados em todos os níveis hierárquicos da empresa;
2. Que um treinamento planejado e executado adequadamente é fundamental;
- 3.A necessidade de treinamento de pessoal responsável pela manutenção destas novas tecnologias num estágio inicial, e sua atualização constante.

Como citado no item 2.2., a seleção do *software* se constitui numa etapa fundamental do processo que tem como principal atividade, a realização de testes de BENCHMARK, assunto que será tratado a seguir.

3. Fundamentos de Benchmarking

A primeira manifestação formal de BENCHMARKING surgiu nos Estados Unidos por volta de 1979, apresentada pela empresa XEROX (CAMP,89), (SPENDOLINI,92), (PINTO,93). Interpretou-se, na época, como sendo uma reação norte americana em relação aos japoneses, devido à crescente perda de mercado por parte dos primeiros, tanto a nível interno quanto externo (PINTO,93).

Não existe, no idioma português, um termo que expresse com fidelidade o significado de BENCHMARKING. Uma tradução aproximada, adotada pela Fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade, é "referenciais de excelência", que tem, entretanto, o inconveniente de não ser suficientemente abrangente, por restringir-se aos números ou indicadores utilizados pela técnica (ver descrição no anexo D). Uma outra expressão utilizada é

dos três tipos de BENCHMARKING, cuja descrição é apresentada no item 3.2. (SPENDOLINI,92).

Segundo (SPENDOLINI,92) e (CAMP,89), a melhor definição formal de BENCHMARKING pode ser expressa como sendo "*Um processo contínuo e sistemático para avaliar produtos, serviços e/ou processos de produção de empresas que são reconhecidas como representantes das melhores práticas, com a finalidade de melhorar sua estrutura organizacional*". Em outras palavras, o processo de BENCHMARKING é um instrumento que visa auxiliar as empresas a encontrar soluções capazes de conduzi-las a um desempenho superior, na respectiva prática associada. Neste contexto, trata-se de um instrumento importante para assegurar a competitividade e o conseqüente sucesso das empresas no mercado, pois estabelece metas operacionais baseadas nas melhores soluções encontradas (PINTO,93).

3.1. O processo genérico de BENCHMARKING

(CAMP,89) cita três passos que considera fundamentais para que no processo de BENCHMARKING, a empresa possa ser conduzida a resultados mais sólidos e eficientes:

- *Análise da estrutura interna.*
- *Identificação das melhores práticas.*
- *Implementação.*

Uma divisão mais abrangente destes passos básicos, é apresentada por (SPENDOLINI,92) (Figura 3.1):

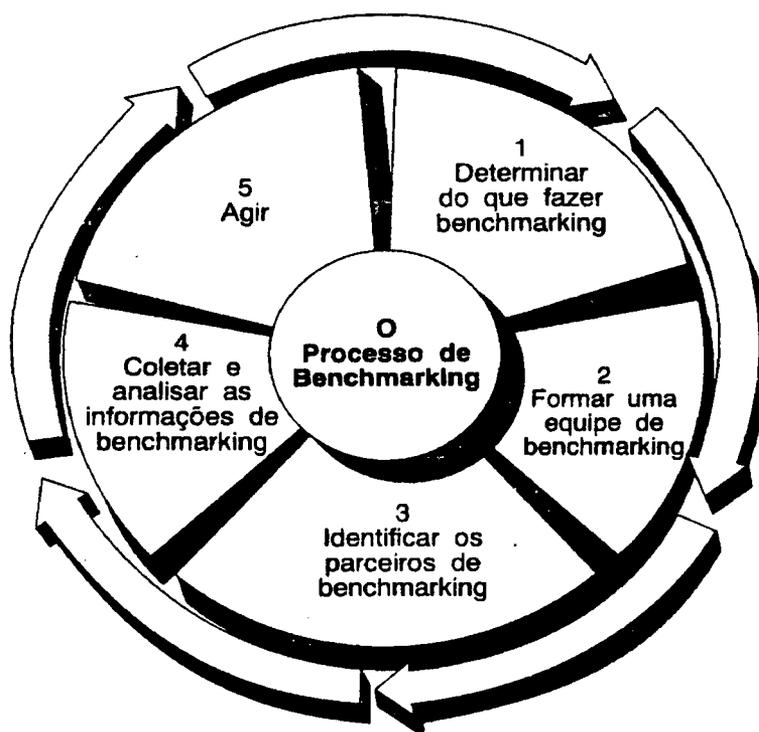


Figura 3.1. O processo de BENCHMARKING de cinco estágios (SPENDOLINI,92).

1. Determinar do que fazer BENCHMARKING. É preciso que as empresas conheçam seus pontos fortes e fracos com relação à concorrência. Esta etapa visa identificar claramente os problemas existentes na estrutura interna da empresa. Uma vez os problemas terem sido identificados, é preciso estabelecer as condições necessárias, para que a investigação de BENCHMARKING venha a ser bem sucedida. Dentre tais condições, convém citar: pessoal envolvido, tempo gasto e custos a serem desembolsados.

2. Formar uma equipe de BENCHMARKING. Embora este possa ser realizado por apenas uma pessoa, a maioria dos esforços dispendidos são atividades de equipe. O processo de seleção, orientação e gerenciamento de uma equipe de BENCHMARKING é o segundo maior estágio do processo. Os papéis e as responsabilidades específicos são atribuídos aos membros da equipe. Ferramentas de gerenciamento de projeto (QFD, método da função síntese, método da análise de valores, entre outras) devem ser introduzidas para garantir que as atribuições do BENCHMARKING se tornem claras para todos os elementos envolvidos na equipe, e que sejam identificadas as principais metas operacionais a serem atingidas.
3. Identificar os parceiros de BENCHMARKING. Com base nos resultados obtidos no item 1, buscar identificar no mercado empresas que apresentem desempenho superior na resolução dos problemas a serem abordados. Tal identificação consiste em coletar informações de diversas fontes que poderão incluir funcionários das empresas envolvidas, consultores, analistas, fontes governamentais, literatura especializada, relatórios da indústria e bancos de dados computadorizados, só para mencionar alguns.
4. Coletar e analisar informações de BENCHMARKING. Durante este estágio do processo, devem ser selecionados os métodos específicos para coleta de informações, tais como: formulários, reuniões das equipes envolvidas, entre outros. É importante que as pessoas responsáveis pela coleta tenham experiência com os

métodos selecionados. Após identificar e contatar os parceiros de BENCHMARKING, as informações devem ser coletadas segundo um protocolo previamente estabelecido e, posteriormente, resumidas para análise, onde por sua vez, as recomendações de ações são produzidas.

5. Agir. Este estágio consiste em implementar as recomendações obtidas na etapa anterior.

3.2. Tipos de BENCHMARKING

Existem várias maneiras para classificar o processo de BENCHMARKING, sendo a maioria destas classificadas em relação a origem da fonte de informação. (CAMP,89) utiliza uma classificação composta de quatro tipos. Já (SPENDOLINI,92) e (KEHOE,BAGHERI,96) utilizam apenas três, ainda que diferentes entre si.

Cada definição tem seus benefícios e deficiências e, em certas condições, uma pode ser mais adequada que a outra. Com o objetivo de apresentar uma descrição do assunto e facilitar seu entendimento, os tipos de BENCHMARKING explicados neste trabalho serão referentes ao utilizado por (SPENDOLINI,92), pois este autor foi o que se mostrou mais claro e conciso nestas explicações.

3.2.1. BENCHMARKING interno

Normalmente, muitas empresas apresentam funções semelhantes em diferentes unidades operacionais. Uma das investigações mais fáceis de BENCHMARKING é comparar essas funções internas pois, nestes casos, os dados e informações devem estar facilmente disponíveis, bem como não devem existir problemas de confidencialidade (CAMP,89), (SPENDOLINI,92).

As investigações internas podem prover informações úteis para ajudar a definir a razão de um estudo externo.

3.2.2. BENCHMARKING competitivo

O BENCHMARKING competitivo trata da identificação de informações específicas dos produtos, serviços e processos de produção dos concorrentes diretos da empresa que o realiza, para depois comparar com aquelas mesmas informações encontradas em sua estrutura interna (CAMP,89), (SPENDOLINI,92), (KEHOE,BAGHERI,96).

Contudo, neste tipo de BENCHMARKING a dificuldade de obtenção destas informações pode ser muito grande, porque são exclusivas e constituem a base da vantagem competitiva do concorrente (CAMP,89), (SPENDOLINI,92). A troca de informações pode se dar, caso se deseje, através de um elemento mediador, como um consultor, que garanta confidencialidade e anonimidade no decorrer do processo (A. MACHINIST,94).

3.2.3. BENCHMARKING funcional/genérico

O BENCHMARKING funcional se constitui na identificação de produtos, serviços e processos de produção de empresas que não são necessariamente concorrentes diretas da empresa que conduz o BENCHMARKING. O objetivo do BENCHMARKING funcional é identificar as melhores práticas em qualquer tipo de organização que estabeleceu uma reputação de excelência na área específica sujeita ao BENCHMARKING (CAMP,89), (SPENDOLINI,92). O termo *funcional* é usado porque o BENCHMARKING, neste nível, quase sempre envolve atividades específicas em determinada área funcional, como projeto, fabricação, marketing ou recursos humanos (SPENDOLINI,92).

Este tipo de BENCHMARKING também é conhecido por *genérico*, uma vez que não se aplica a identificar as melhores práticas de uma empresa em particular (CAMP,89).

3.3. O teste de BENCHMARK

Como pôde ser visto até agora, o processo de BENCHMARKING é complexo, e para assegurar o seu sucesso, é necessário, principalmente, organizar a coleta e análise das informações obtidas através do que é conhecido por "testes de BENCHMARK". Deve-se salientar neste ponto que, enquanto BENCHMARKING se refere ao processo global, o termo BENCHMARK diz respeito às medidas adquiridas com sua aplicação (SPENDOLINI,92), (A.

MACHINIST,94). Estas medidas se constituem no fundamento para escolha da melhor prática, já que quantificam através de notas, probabilidades, julgamentos pessoais, etc, as alternativas estudadas.

No caso da seleção de sistemas CAD/CAE/CAM, os testes de BENCHMARK são bastante recomendados, objetivando-se com isso, atender da melhor maneira possível as necessidades da empresa que realiza o teste, diminuindo as chances de ocorrer futuramente uma má implementação (AHRENS,94), (A. MACHINIST,94).

Para que o teste de BENCHMARK mostre resultados consistentes e confiáveis, este deve se basear numa metodologia multicritério de apoio à decisão. Metodologia esta, que procura dar uma conotação lógica/científica á análise das diversas alternativas (melhores práticas) presentes no teste de BENCHMARK.

3.4. Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão

Todo processo que envolve uma metodologia multicritério de apoio à decisão deve estar baseado em algum tipo de modelo formalizado, uma vez que as recomendações elaboradas neste processo, devem responder, o mais claramente possível, às questões que se colocam a um ou vários dos atores* durante um processo de decisão (BANA E COSTA, 95).

O objetivo desta formalização é elaborar uma estrutura, que deverá ser compartilhada pelos atores, partindo depois para a

* Dificilmente as decisões são assuntos da responsabilidade de um só indivíduo. Quanto mais complexa é a situação, maior é o número de personagens envolvidos, direta ou indiretamente, no processo que conduz à tomada de decisão, também denominados de atores (BANA E COSTA,95), (GOLDEN,WASIL,HARKER,89).

elaboração de um modelo de avaliação, seguindo uma abordagem interativa, construtiva e de aprendizagem, e não assumindo um posicionamento taxativo, onde a vontade de alguns prevalece sobre muitos. De acordo com (BANA E COSTA,95), num sistema formado pelo processo de apoio à decisão, todos os componentes evoluem conjuntamente, ampliando suas idéias e enriquecendo o processo.

3.4.1. A dificuldade de formulação do processo de decisão

Segundo (BANA E COSTA,95), no processo de decisão, a estruturação e avaliação do problema deve merecer uma atenção particular. Somente assim, o processo conduzirá a seleção da melhor solução.

No entanto, a formulação do referido problema é o que há de mais difícil, uma vez que existem situações em que a decisão a tomar é influenciada por pontos de vista dos diversos atores participantes do processo (SAATY,91). Em alguns contextos problemáticos, um consultor pode ser chamado para ajudar a formular o problema sem participar da fase de avaliação propriamente dita, por exemplo, ajudando na compreensão do contexto da decisão, na identificação das condições que restringem o desenvolvimento de hipóteses de escolha, ou mesmo, limitando-se a uma descrição das ações possíveis e de suas consequências.

A elaboração de julgamentos é muitas vezes baseada no resultado de um processo intuitivo, onde todo um conjunto de fatores iniciais de avaliação não são analisados de uma forma organizada. Este processo informal de avaliação, onde os atores expressam seus desejos sem nenhuma lógica os apoiando, é difícil de compreender, quanto mais convencer alguém de que a decisão tomada através deste processo é a correta. No momento de justificar suas preferências ao restante do grupo, esses atores não conseguirão transmitir suas idéias de uma forma clara e objetiva, já que suas opiniões estão apenas fundamentadas na experiência e intuição pessoal. Mesmo em situações onde esse ator é um *decisor* isolado ou "ditatorial", ele pode querer "validar" a sua opção, sendo que sem um embasamento lógico, isto se tornará cada vez mais difícil (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91), (BANA E COSTA, 95).

Nesta situação, uma metodologia de apoio à decisão exerce um papel duplamente importante, por um lado, de *suporte à comunicação* entre os atores e, por outro, de *guia para a elaboração, justificativa e/ou transformação dos seus julgamentos de valor* (BANA E COSTA, 95).

3.4.2. Algumas metodologias para auxílio a tomada de decisões

O método mais simples e eficiente para se tomar uma decisão, é a análise **holística**: tendo conhecimento do desejado ("se você sabe o quer"), escolha-o! Contudo, pode haver dúvida na opção de

escolha, ou então é necessário convencer mais alguém quanto a decisão tomada (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

Outro método bastante popular para auxiliar a tomada de decisões, é analítico e decompõe o problema em sub-componentes: o método da listagem dos **prós e contras**. Muitos analistas de decisões já utilizaram este método alguma vez: toma-se um pedaço de papel, lista-se os aspectos positivos e os negativos de uma alternativa, e escolhe-se a alternativa com mais **prós**. O maior problema desta técnica é que implicitamente assume que todos os **prós e contras** possuem o mesmo grau de importância. Porém, para a maioria dos problemas isto não é verdade, e um método, que permite pesos desiguais das alternativas, é mais recomendável. A técnica de **matrizes de decisão** (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89) pode ser considerada uma extensão da técnica da listagem dos **prós e contras** e, portanto, está sujeita aos mesmos problemas conceituais.

Outro método utilizado para uma decisão em grupo é a **técnica Delphi**, na qual um grupo de pessoas responsáveis pela decisão a ser tomada são interrogadas a respeito de suas preferências, através de um questionário distribuído a cada um dos integrantes do grupo ou através de entrevistas individuais. Esta maneira de coleta de informações serve para listar suas preferências sobre um grupo de alternativas, as quais são então estatisticamente analisadas para se alcançar o resultado final (SAATY, 91).

Um outro método de decisão é o **multi-attribute utility theory** ou **MAUT** (KEENEY, RAIFA, 76), (BANA E COSTA, 95).

Basicamente, requer que o analista responda questões lidando com probabilidades. Em alguns contextos, as questões probabilísticas são bastante naturais (isto é, quando se está analisando quantidades estatísticas, graus de risco, etc.), mas em outros, como nos critérios mostrados no capítulo 6, isto se torna mais difícil (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

Conforme descrito, existem várias metodologias para auxiliar pessoas a tomar as mais diversas decisões. Nesta dissertação, a metodologia multicritério de apoio à decisão, escolhida para auxiliar o teste de BENCHMARK, foi o **Analytic Hierarchy Process (AHP)**. Sendo mais formal que simplesmente escolher com base em listagens de *prós e contras*, e não lidando diretamente com probabilidades ou riscos como o método MAUT, o **AHP** fornece uma ferramenta eficiente e efetiva para auxiliar a tomada de decisões num grande contexto de problemas (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). Assim, o próximo capítulo explica este método com mais detalhes, e o capítulo subsequente mostra um estudo de caso realizado com o auxílio deste método.

4. O MÉTODO AHP

A ciência da administração é uma disciplina dedicada ao desenvolvimento de técnicas que auxiliem pessoas a lidar com a crescente complexidade de tomar decisões todos os dias. Equações matemáticas que auxiliem este processo de decisão são criadas e desenvolvidas com o intuito de facilitar a vida de quem lida diariamente com problemas. Um método conhecido mundialmente por sua eficiência e precisão, aliado a uma grande simplicidade matemática, foi desenvolvido pelo professor **Thomas L. Saaty** quando trabalhava para o departamento de defesa dos Estados Unidos da América no início dos anos 70 (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89). Nesta época, o professor Saaty lidava diretamente com uma gama muito variada de problemas complexos, tais como: controle de armas, auxílio a países do terceiro mundo, conflitos internacionais, etc. Tendo até então realizado grandes contribuições na área matemática e operacional, logo

grandes contribuições na área matemática e operacional, logo sentiu a necessidade de desenvolver uma técnica matemática para análise de situações complexas, a qual por sua vez, deveria ser simples, porém segura nos resultados. Esta técnica se tornou conhecida como **AHP (Analytic Hierarchy Process)** ou **Método de Análise Hierárquica**, e tem se tornado muito útil na estruturação e análise de uma grande gama de problemas (GOLDEN, HARKER, WASIL, 89), (SAATY, 91).

Desde o desenvolvimento inicial do método **AHP**, no início dos anos 70, e seu primeiro livro sobre o assunto em 1980, inúmeras extensões teóricas e aplicações empíricas têm aparecido na literatura. Em anos recentes, jornais especializados em Ciência de Planejamento Sócio-Econômico e Modelamentos Matemáticos, têm se dedicado ao estudo do método **AHP** (GOLDEN, HARKER, WASIL, 89). Estas publicações e os procedimentos da primeira conferência dedicada exclusivamente ao **AHP** (realizada em Tianjin, China), ilustram o fato de que este método tem sido aceito pela comunidade científica internacional como uma ferramenta muito útil no auxílio à tomada de decisões (GOLDEN, HARKER, WASIL, 89). Além destes fatores, muitas corporações e governos tem utilizado rotineiramente o **AHP** em muitas tomadas de decisões (GOLDEN, HARKER, WASIL, 89), inclusive no Brasil (SAATY, 91).

4.1. O AHP como metodologia multicritério de apoio à decisão

Existem diversas ferramentas para auxiliar a tomada de decisões (conforme visto brevemente no capítulo anterior), cada uma sendo mais apropriada a um determinado contexto. O método **AHP** é intuitivo e simples para formulação e análise de decisões, como ilustrado nos exemplos contidos no anexo A. O exemplo da escolha de cidades ilustra os três principais conceitos do referido método: **analítico**, **hierárquico** e **processo** (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). Visando facilitar o entendimento da razão de escolher o método **AHP** como metodologia multicritério de apoio à decisão para esta dissertação, faz-se necessário apresentar uma breve explicação da filosofia contida nos conceitos citados:

Analítico. Há boas razões para se utilizar matemática para compreender e/ou descrever a decisão tomada para outros. Neste sentido, métodos que utilizem um raciocínio matemático ou lógico para descrever uma decisão, como o **AHP**, são analíticos.

Hierárquico. O **AHP** estrutura o problema de decisão em níveis de importância (metas, critérios, sub-critérios e alternativas), que correspondem à compreensão de uma situação por um determinado grupo de pessoas. O primeiro exemplo do Anexo A, apresenta uma hierarquia relativamente simples, já que consiste de apenas quatro níveis. Outros exemplos na literatura a respeito (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (GOLDEN, WASIL, LEVY, 86), (SAATY, 91), mostram a complexidade que pode ser alcançada em uma

hierarquia. Através da divisão do problema em níveis, a pessoa responsável pela tomada de decisão pode se concentrar em pequenos pontos de cada vez (SAATY, 91), (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89).

Processo. Decisões importantes não devem ser tomadas em uma única reunião. É preciso haver tempo suficiente para pensar sobre a decisão, conseguir mais informações, negociá-la com outros (sendo um grupo de decisão), etc. Portanto, qualquer problema de decisão ^o envolve um processo de aprendizagem, debate e revisão das prioridades. Assim, o **AHP** foi criado para auxiliar e organizar o referido processo de decisão, contribuindo para reduzir o período de tempo necessário para conduzir todo o processo. O **AHP** indica onde é necessário mais informação, onde existe um maior número de desacordos, etc (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

Concluindo, a filosofia global do **AHP** é a de providenciar um método sólido e científico (a parte analítica) para auxiliar na formulação criativa e na análise de um problema. Baseado nestas três características principais, este método se enquadra perfeitamente num teste de BENCHMARK, onde tanto uma base lógica e confiável, quanto simplicidade são fatores desejáveis.

4.2. Base teórica do AHP

4.2.1. Considerações iniciais

O método **AHP** analisa alternativas e critérios de uma forma organizada e simples, através do que é conhecido por "matrizes de julgamentos" (figura 4.1). O preenchimento destas matrizes $n \times n$, onde n é o número de alternativas em consideração (*softwares*, por exemplo) relacionadas a um determinado critério, é realizado através de uma **escala de razões** (ver tabela 4.1 mais adiante), a qual fornece os julgamentos (notas) das alternativas. Estes julgamentos são feitos aos pares entre as diversas alternativas, resultando, então, no que o método denomina de **prioridades relativas (P.R.s)**, que nada mais são, do que notas parciais das alternativas, referentes a um determinado critério.

Estas comparações são recíprocas, conforme ilustrado mais adiante no axioma 1 nesta mesma seção, sendo apenas necessário responder $n(n - 1)/2$ das comparações para preencher completamente a matriz de julgamentos $A = (a_{ij})$. A questão agora é como derivar a ordenação geral das alternativas a partir das comparações aos pares, obtendo desta maneira as prioridades relativas. O primeiro método, e também o mais fácil, é o de simplesmente normalizar uma coluna da matriz. Contudo, como podem ocorrer inconsistências durante os julgamentos, a resposta final dependerá de qual coluna foi escolhida para a normalização

(este fato é melhor ilustrado no item 4.4 e no primeiro exemplo do Anexo A) (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

Comparações aos pares					
	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	Prioridade relativa
CAD A	1	1/3	2	5	0.259
CAD B	3	1	4	5	0.537
CAD C	1/2	1/4	1	2	0.132
CAD D	1/5	1/5	1/2	1	0.072
					C.R. = 0,026

Figura 4.1. Comparação de *softwares* com relação a um determinado critério.

(SAATY, 91) propôs um método para a estimativa das prioridades relativas de uma matriz de comparações aos pares A (este método é melhor explicado no próximo item). Como descrito por (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), outros métodos de estimativa existem. Contudo, a aproximação feita por Saaty é considerado como um método satisfatoriamente comprovado na prática e também na teoria. Portanto, a estimativa dos pesos de um dado grupo de alternativas é um procedimento bem sedimentado e facilmente implementado.

Após a estimativa dos pesos, a pessoa responsável pelo processo também possui uma medida da inconsistência das comparações feitas. Como descrito no próximo item, esta **razão de consistência** (C.R. - **consistency ratio**) providencia uma medida da probabilidade da matriz A ter sido preenchida ao acaso. Isto é, o C.R. é uma comparação entre a matriz analisada e uma

resposta puramente randômica das questões (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). O valor 0.1, que é aceito como o valor limite para o C.R., significa que existe uma chance de 10% das questões terem sido respondidas de uma maneira randômica. Quanto mais julgamentos consistentes, menor o valor de C.R. Se C.R. > 0.1, é fortemente recomendável que o analista revise alguns dos julgamentos realizados, já que eles são altamente inconsistentes. Assim, o **AHP** não requer que o analista de decisões seja consistente; ao invés disso, ele fornece uma medida de inconsistência bem como um método para reduzi-la se esta for muito alta (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

A última questão diz respeito a relação entre a escala de razões e o preenchimento das matrizes de julgamento. O axioma 2 (mostrado mais adiante) requer que as comparações aos pares aij estejam dentro de uma dada faixa de valores, mas não indica nenhum valor orientativo. Na tabela 4.1, o limite superior escolhido é 9, porém em teoria, qualquer número menor que infinito pode ser utilizado como limite superior. Contudo, segundo (SAATY, 91) e (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), extensivas experiências práticas, sugerem que 9 é um bom limite superior a ser utilizado. Assim, a escala mostrada é a indicada pelo autor do método, nada impedindo que o analista de problemas sinta-se mais confortável com outros valores para a mesma, ou então até mesmo, encontre uma outra forma de preencher as matrizes de julgamento.

Tabela 4.1. Escala de razões para o AHP.

<u>Valores numéricos</u>	<u>Definição</u>
1	Igualmente importante ou preferido
3	Um pouco mais importante ou preferido
5	Fortemente mais importante ou preferido
7	Muito mais importante ou preferido
9	Extremamente mais importante ou preferido
2,4,6,8	Valores intermediários para refletir compromisso
Recíprocos	Usados para refletir domínio da segunda alternativa quando comparada com a primeira

Após a estimativa de um grupo de prioridades relativas w_a^c para cada alternativa $a \in A$ sobre um determinado critério $c \in C$, o **princípio de composição hierárquica** (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91), fornece uma maneira de calcular a prioridade global das alternativas (resultado final), somando as prioridades sobre cada critério "c vezes" a prioridade do critério c (isto é, $w_a^c \times V_c$) ou

$$W_a = \sum_{c \in C} V_c w_a^c \quad (\text{Equação 4.1})$$

onde

W_a = prioridade global

V_c = importância relativa de cada critério

w_a^c = prioridades relativas

C = critérios

Este princípio simplesmente diz que os pesos são criados somando-se as prioridades de cada alternativa de acordo com um dado critério, através do peso daquele critério. Portanto, uma função aditiva linear é utilizada para representar as prioridades globais das alternativas (SAATY,91), o que é facilmente compreensível e pode ser logo aplicado pelos analistas de decisão. O leitor interessado pode encontrar maiores detalhes para este procedimento em (GOLDEN,WASIL,HARKER,89), (SAATY,91) e no anexo A.

4.2.2. Os 4 axiomas principais

Após esta breve explanação das linhas gerais em que se baseia o método **AHP**, pode-se apresentar agora os quatro axiomas principais que governam o mesmo (GOLDEN,WASIL,HARKER,89), (SAATY,91):

Axioma 1. Dadas quaisquer duas alternativas (ou sub-critérios) i e j de um grupo de alternativas A , as pessoas responsáveis pela tomada de decisão (os atores segundo (Bana e Costa,95)) são capazes de realizar uma *comparação recíproca*, aos pares a_{ij} destas alternativas, sobre qualquer critério c

pertencente ao grupo de critérios C com base numa **escala de razões**; isto é,

$$a_{ji} = 1/a_{ij} \text{ para todos } i, j \text{ pertencentes a } A.$$

Este axioma, presente no exemplo contido no Anexo A, ilustra que se alguém é capaz de afirmar que um item é cinco vezes mais importante que outro, então esta mesma pessoa deve concordar que a reciprocidade do julgamento é válida ($a_{ji} = 1/a_{ij}$).

Axioma 2. Quando comparando quaisquer duas alternativas i e j pertencentes a A , nunca uma alternativa será julgada infinitamente melhor que outra sobre qualquer critério c pertencente a C , isto é

$$a_{ij} \neq \infty \text{ para todos } i, j \text{ pertencentes a } A.$$

O segundo axioma é de vital importância, pois afirma que preferências infinitas não são permitidas. Considere uma situação na qual uma alternativa tenha uma infinita preferência sobre um determinado critério. Nesta situação, realmente não há escolha, uma vez que outras alternativas não terão a mínima importância. Desta maneira, não há a necessidade de um método para auxiliar na tomada de decisão, pois a resposta já é conhecida.

Axioma 3. Pode-se formular o problema de decisão sob a forma de uma hierarquia.

Este axioma pode ser melhor compreendido através do capítulo 6, referente ao estudo de caso, e no Anexo A. Contudo, apesar desta afirmação ser válida para a maior parte dos problemas, segundo (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89) e (SAATY, 91), nem todas as soluções se encaixam perfeitamente nesta forma de estruturação e, portanto, deve-se ter cuidados nesta etapa de análise do problema. Se o delineamento de critérios, sub-critérios, alternativas, e suas relações for claro, então facilmente será possível a estruturação do problema sob a forma de uma hierarquia (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

Axioma 4. Somente os critérios e alternativas que tenham alguma influência no problema de decisão, devem ser representados na hierarquia. Isto é, toda a intuição das pessoas responsáveis pela tomada de decisão deve ser representada, em termos de critérios e alternativas na estrutura, e devem ser assumidas prioridades que são compatíveis com a intuição.

Portanto, se houver o desejo de incluir um novo critério ou alternativa, deve-se estar seguro dos motivos que conduziram a esta decisão. A razão para isto é que, como mostrado através do segundo exemplo do Anexo A, o **AHP** pode apresentar resultados bastantes diferentes (SAATY, 91).

Os axiomas citados servem para descrever duas características básicas do **AHP**: formulação e solução do problema

como uma hierarquia (3 e 4), e julgamentos de esclarecimento da decisão na forma de comparações aos pares (1 e 2). Para descrever o método em mais detalhes, será analisado cada um destes passos a seguir (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89).

4.2.3. Fundamentos matemáticos do AHP

Em termos matemáticos, a primeira grande característica do AHP, envolve a estimação dos pesos de um grupo de objetos (critérios ou alternativas) pertencentes a uma matriz obtida de comparações realizadas aos pares $A = (a_{ij})$, a qual é positiva e recíproca. Assim, dada a matriz

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

onde

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \text{ para } i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (\text{Axioma 1})$$

gostaria-se de calcular um vetor de pesos ou prioridades $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$. É importante notar que através da utilização da escala de razões, os pesos estimados podem apenas ser multiplicados por um valor constante, isto é, w é equivalente à " $c \times w$ " onde $c > 0$. Portanto, pode-se normalizar w de forma que some 1 ou 100 por conveniência.

Se os julgamentos forem perfeitamente consistentes, isto é,

$$a_{ik}a_{kj} = a_{ij} \text{ para todo } i, j, k = 1, 2, \dots, n, \quad (\text{Equação 4.2})$$

então os valores iniciais da matriz A não conteriam erros e poderiam ser expressos como:

$$a_{ij} = w_i/w_j \quad (\text{Equação 4.3})$$

Para verificar este último resultado,

$$a_{ik}a_{kj} = w_i w_k / w_k w_j = w_i / w_j = a_{ij} \text{ para todo } i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Equação 4.4})$$

Neste caso, simplesmente normalize qualquer coluna j de A para obter os pesos finais:

$$w_i = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Equação 4.5})$$

Contudo, conforme citado anteriormente, erros em julgamentos são muito comuns. Portanto, o resultado final utilizando a normalização de colunas dependeria de qual coluna fosse escolhida. Segundo (SAATY,91) existem dois métodos para a estimação dos pesos quando erros em julgamentos existem: *logarítmo dos mínimos quadrados* (logarithmic least squares -

LLS) e o método dos autovetores de Saaty (eigenvector method). O LLS estima os pesos w de forma a minimizar a seguinte Equação:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\ln a_{ij} - \ln w_i + \ln w_j)^2 \quad \text{(Equação 4.6)}$$

O método de Saaty calcula w como o autovetor (vetor de PERRON) da matriz A :

$$Aw = \lambda_{\max} w, \quad \text{(Equação 4.7)}$$

onde λ_{\max} é o valor máximo (raiz de PERRON) da matriz, ou

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{\lambda_{\max}} \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n \quad \text{(Equação 4.8)}$$

Como discutido em (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89) e (SAATY, 91), ambos os métodos possuem suas vantagens. Contudo, como mostrado em (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), o método de Saaty tem a característica de ser um processo simples de cálculo de médias, através do qual os pesos finais w são as médias de todas as possíveis alternativas de comparação.

O método vetorial de Saaty também fornece uma medida natural para inconsistências. Como mostrado por (SAATY, 91), λ_{\max} é sempre maior ou igual à n para matrizes positivas e recíprocas, e é

igual à n se, e somente se, A for uma matriz consistente. Portanto, " $\lambda_{\max} - n$ " fornece uma medida útil para o grau de inconsistência. Normalizando esta medida pelo tamanho da matriz, Saaty define o *índice de consistência* (C.I. - consistency index) como:

$$\text{C.I.} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad \text{(Equação 4.9)}$$

Para cada tamanho da matriz n , matrizes randômicas são geradas e seus valores de C.I., chamados de *índices randômicos* (R.I.), podem ser calculados. Estes valores estão ilustrados na tabela 4.2.

Tabela 4.2. Índice de inconsistência randômica.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Utilizando estes valores, a *razão de consistência* (C.R. - consistency ratio) é definida como a razão de C.I. para o R.I.; portanto, C.R. é uma medida de como uma dada matriz se compara à uma matriz randômica em termos de C.I.s. Portanto,

$$\text{C.R.} = \text{C.I.} / \text{R.I.} \quad \text{(Equação 4.10)}$$

Um valor de C.R. menor ou igual à 0.1 é tipicamente considerado aceitável; valores maiores requerem decisões dos

analistas para reduzir as inconsistências através da revisão dos julgamentos (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89).

O cálculo do vetor característico principal (prioridades relativas, P.R.) é obtido através de uma exponenciação crescente (K) e de uma normalização da matriz A:

$$w = \lim_{k \rightarrow \infty} A^k e / e^T A^k e \quad \text{(Equação 4.11)}$$

onde

$$e = [1, 1, \dots, 1]$$

$$e^T \equiv \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix}$$

Por exemplo, considerando o primeiro exemplo do Anexo A, onde

$$A^1 = A = \begin{bmatrix} 1 & 1/9 & 1/3 & 1/4 \\ 9 & 1 & 3 & 2 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1/2 \\ 4 & 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

se cada coluna for normalizada, os seguintes valores de pesos são obtidos:

$$A^1 = \begin{bmatrix} 0.0588 & 0.0571 & 0.0526 & 0.0667 \\ 0.5294 & 0.5143 & 0.4737 & 0.5333 \\ 0.1765 & 0.1714 & 0.1579 & 0.1333 \\ 0.2353 & 0.2571 & 0.3158 & 0.2667 \end{bmatrix}$$

É importante notar que cada coluna apresenta um valor diferente. Aplicando-se a primeira iteração da Equação 4.9, obtem-se:

$$w^1 = A^1 e / e^T A^1 e = [0.05837, 0.51675, 0.16651, 0.25837] \text{ (Equação 4.12)}$$

Elevando A à segunda potência $A^2 = A \times A$, obtem-se

$$A^2 = \begin{bmatrix} 4 & 0.4583 & 15 & 0.8889 \\ 35 & 4 & 13 & 7.75 \\ 11 & 1.25 & 4 & 2.4167 \\ 18.5 & 2.1111 & 6.8333 & 4 \end{bmatrix}$$

que por sua vez, gera a segunda matriz dos pesos:

$$W^2 = A^2 e / e^T A^2 e = [0.05867, 0.51196, 0.15994, 0.26943] \text{ (Equação 4.13)}$$

Continuando este processo:

$$w^3 = A^3 e / e^T A^3 e = [0.05882, 0.51259, 0.15958, 0.26890] \text{ (Equação 4.14)}$$

$$w^4 = A^4 e / e^T A^4 e = [0.05882, 0.51261, 0.15971, 0.26886] \text{ (Equação 4.15)}$$

$$w^5 = A^5 e / e^T A^5 e = [0.05882, 0.51261, 0.15971, 0.26886] \text{ (Equação 4.16)}$$

Assim, neste exemplo, o processo convergiu na quinta iteração.

Uma vez que tenha sido computado os pesos como $w = w^5$, a medida de consistência pode ser calculada como a seguir:

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^4 a_{1j} w_j}{w_1} = 4.01636 \quad \text{(Equação 4.17)}$$

$$\text{C.I.} = (4.01636 - 4) / 3 = 0.0054667 \quad \text{(Equação 4.18)}$$

$$\text{C.R.} = \text{C.I.} / \text{R.I.} = 0.0054667 / 0.90 = 0.006 \quad \text{(Equação 4.19)}$$

Portanto, a matriz é muito consistente. Como uma regra geral, quanto mais inconsistente for a matriz, maiores serão os erros e mais tempo computacional para a convergência.

A segunda maior característica na análise de uma hierarquia, é a síntese dos julgamentos realizados através de sua estrutura para se calcular as prioridades globais das alternativas com respeito à meta. (SAATY, 91) descreve o **princípio de composição hierárquica** em detalhes (mostrado no item anterior, Equação 4.1.).

5. Software de apoio à tomada de decisões

Conforme apresentado no capítulo 4, o método AHP requer a realização de vários cálculos iterativos, tarefa típica para ser desenvolvida através de ferramentas computacionais. Para tanto, foi desenvolvido um sistema em linguagem VISUAL BASIC, com a finalidade de auxiliar na avaliação dos resultados provenientes de "testes de BENCHMARK". Este *software*, ainda um protótipo, é constituído por cinco etapas principais, que formam o "algoritmo", cujos passos estão relacionados na figura 5.1.

As principais funções do *software* estão divididas em quatro telas:

1. Edição da árvore (hierarquia);
2. Edição das matrizes;
3. Comparação entre critérios e sub-critérios;
4. Resultado final.

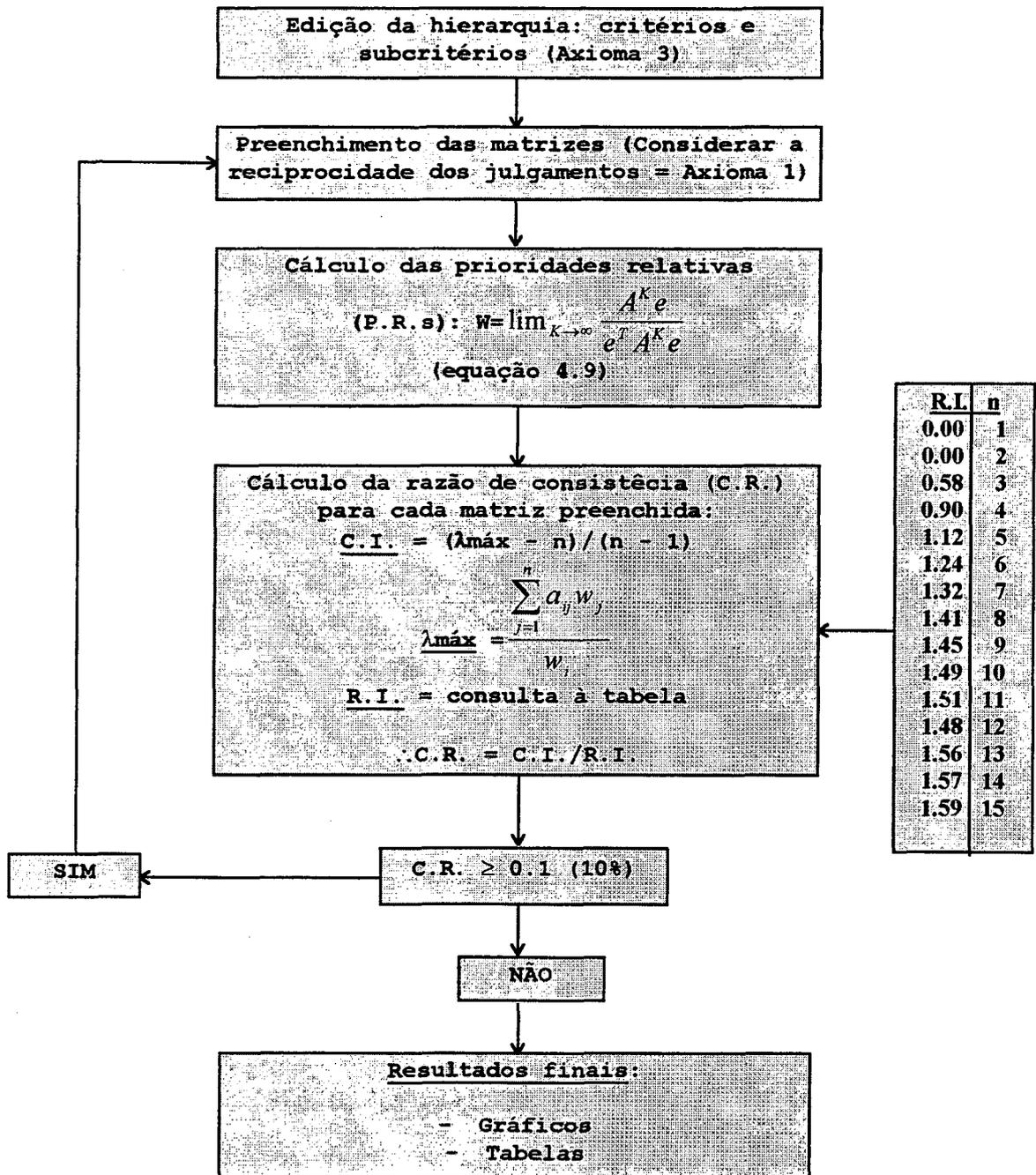


Figura 5.1. O algoritmo do protótipo.

5.1. Edição da hierarquia (árvore)

Os primeiros campos a serem preenchidos são os relativos à identificação dos critérios e subcritérios da hierarquia, que se encontram na primeira tela apresentada pelo sistema quando inicializado (figura 5.2.), e se distribuem em três funções principais, a saber:

- **Número máximo de ramificações:** local onde se define quantos níveis de subcritérios a hierarquia possuirá.
- **Operação atual:** possibilita recuperar antigas hierarquias da memória e as utilizar novamente. O número que aparece na inicialização do *software*, é a operação corrente.
- **Edição da hierarquia:** é o campo principal desta tela. Nele são definidos os critérios e os subcritérios de diferentes ordens, sempre os posicionando sobre sua respectiva coluna, por exemplo: coluna identificada pelo número 1 para critérios; coluna identificada pelo número 2 para subcritérios de primeira ordem; coluna identificada pelo número 3 para subcritérios de segunda ordem, e assim por diante. A hierarquia se define por completo quando se estabelecem as correlações entre os diversos subcritérios, ou seja, a que critérios estes "pertencem", o que é definido pelos números definidos na coluna NÍVEL (ver também figuras 6.1, 6.2 e 6.3 no capítulo 6).

As outras funções desta tela são:

- **Apagar:** apaga a árvore selecionada (corrente ou da memória).
- **Entra nova árvore:** possibilita gravar a hierarquia definida. Qualquer alteração que seja feita nesta hierarquia, deve-se pressionar este menu novamente.
- **Compara concorrentes:** uma vez finalizada a edição da hierarquia, a segunda tela deve ser acionada.
- **Sair:** sai do software.

EDICAÇÃO DA ARVORE DE ESTRUTURA DAS MATRIZES

Operacao Atual: ← 24 → Numero Maximo de Ramificacoes: 2 Entra

Apagar Arvore.

NIVEL	1	2	2	3	3
	NOME	DONO	NOME	DONO	NOME
1	FUNCIONAIS	1	MODELAMENTO	1	SKETCH
2	TECNOLOGICOS	1	ASSEMBLY	1	EDIÇÃO
3	INTERFACEAMENTO	1	DRAFTING	1	MODELOS BÁSICOS
4	SUORTE TÉCNICO	2	criação LISTAS	1	GERAÇÃO DETALHES
5		2	VIA BANCO DE DADOS	1	GERA. ENTIDA. AUXI.
6		2	PARA BANCO DADOS	1	CÓPIA MOVIM. FEATU
7		2	CUSTOMIZAÇÃO	1	SUPERFÍCIES
8		2	MÓDULOS/BIBLIOT.	1	BI-DIRECIONALIDADE
9		2	UTILID. INF. GERADAS	1	QUEB. E RET. ASSOC.
10		3	ARQUI. VISUA. RAPID.	1	OPERA. AMBI. HÍBRID.
11		3	ARQUI. TRANSFERE.	1	UNDO/REDO
12		4	SATISF. USUÁRIOS	2	EDIÇ. COMP. INDIVID.
13		4	TREIN. SUPOR. LOCAL	2	EDIÇ. COMP. ARQ. REFE
14		4	INTERES. CUSTOMI.	2	RECONHE. FEATURES
15		4	HOT-LINE	2	POSI. DE COMPONENT.
16		4	QUALID. DOCUMENT.	2	ANÁLISE DE INTERF.
17		4	CONTINUI. PRODUTO	2	FEAT. LAMBDA. COLUPO

Certifique-se de que sua árvore este correta antes de clicar OK

Entra Nova Arvore

Clique aqui para entrar as notas dos concorrentes.

Compara Concorrentes

SAIR

Figura 5.2. A definição da hierarquia.

5.2. Edição das matrizes de julgamentos

A segunda tela (figura 5.3.) tem por finalidade preencher as matrizes de julgamentos. É composta por cinco campos principais:

- **Número de elementos:** define quantas alternativas serão julgadas.
- **Nomes dos elementos:** define quais são as alternativas.
- **Comparação entre elementos:** neste campo são fornecidos, pelo usuário, os julgamentos (valores numéricos, notas) entre as diversas alternativas respectivas a um determinado critério ou subcritério.
- **Ponte:** possibilita que os julgamentos sejam processados e se obtenham as prioridades relativas (P.R.s) para cada alternativa. Nesta parte, o menu *Gráfico* pode ser acionado, mostrando graficamente os resultados parciais.
- **CHECK C.R.:** para cada P.R. obtida, pode-se verificar a razão de consistência (C.R.) da matriz de julgamentos analisada, que deve ser sempre menor que 0,1 (aproximadamente 10%), conforme já mencionado no capítulo 4.

Os outros campos desta tela são:

- **Edita nova árvore:** retorna à primeira tela para reinicializar o processo.

- **Entra notas dos subcritérios:** aciona a terceira tela.
- **Entra dados:** grava os P.R.s no banco de dados.

EDICAO DAS MATRIZES DE UMA ARVORE

Numero de Elementos: Refresh

Nomes dos Elementos:

Nº	NOME
1	CAD A
2	CAD B
3	CAD C
4	CAD D

Entrar Nomes

QUALID. DOCUMENT. Comparacao Entre Elementos:

	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D
CAD A	1	1	1	1
CAD B	1	1	1	1
CAD C	1	1	1	1
CAD D	1	1	1	1

Ponte

NOME	PR
CAD A	.25
CAD B	.25
CAD C	.25
CAD D	.25

Entrar Dados

Check CR CR: 0

Edita Nova Arvore. Entra Notas dos Subcritérios.

Antes de finalizar, certifique-se de que os dados estão corretos

Figura 5.3. Edição das matrizes de julgamentos.

5.3. Comparação entre critérios e subcritérios

A terceira tela apresentada pelo software (figura 5.4.) é semelhante à anterior, sendo que neste caso, as comparações são efetuadas entre os critérios e subcritérios, para se obter as importâncias relativas entre estes. Esta tela apresenta três novas funções:

- (RE-) Processa resultado: realiza os cálculos necessários para a última etapa.
- Reedita as notas dos concorrentes: volta a etapa anterior.
- Ver resultado já processado: aciona a quarta tela.

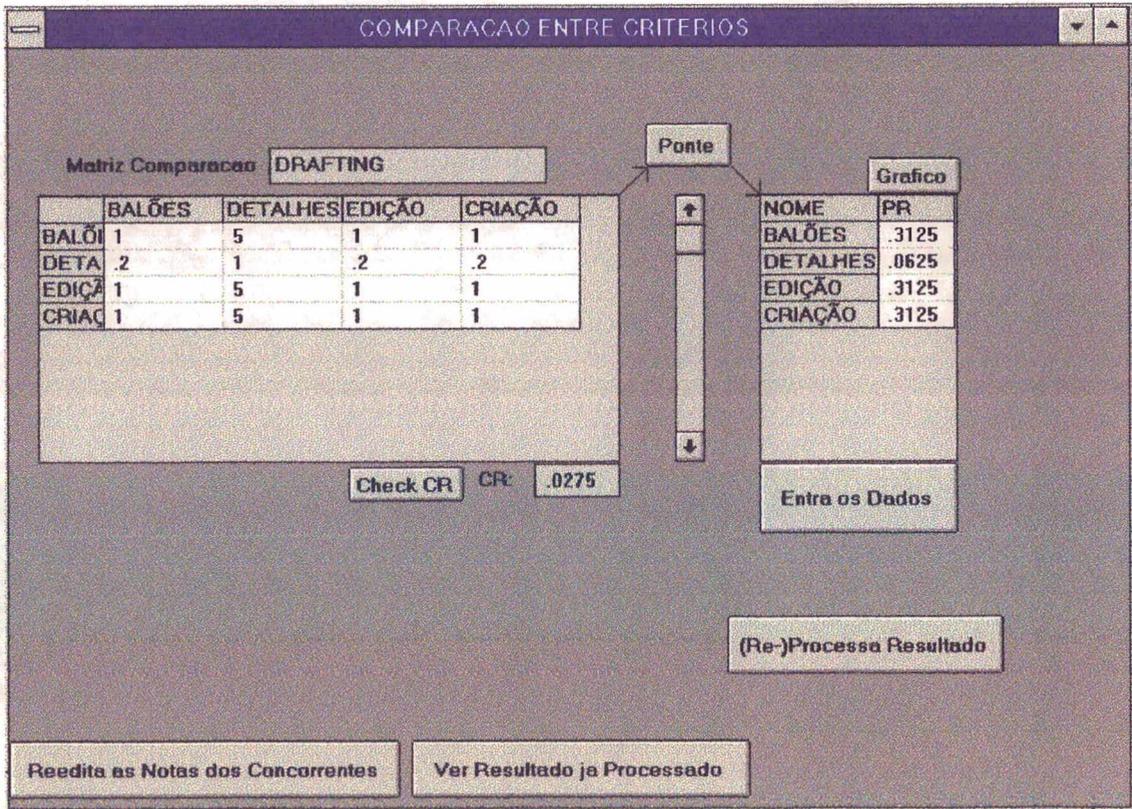


Figura 5.4. Comparações entre critérios e subcritérios.

5.4. O resultado final

A quarta e última tela (figura 5.5.) mostra os resultados, obtidos com o teste de BENCHMARK, de duas maneiras: uma gráfica e outra na forma de uma tabela. Através do menu "Reedita Subcritérios", pode-se retornar à etapa de julgamentos das

alternativas, analisando assim a influência na alteração dos julgamentos sobre o resultado final.

Com o auxílio deste *software*, pode-se realizar o teste de BENCHMARK mais facilmente, sem se preocupar com a parte matemática do mesmo, o que pode ser comprovado através do estudo de caso descrito no capítulo 6. Com isso, os atores tem mais tempo para analisar e discutir os resultados obtidos pelo *software*.

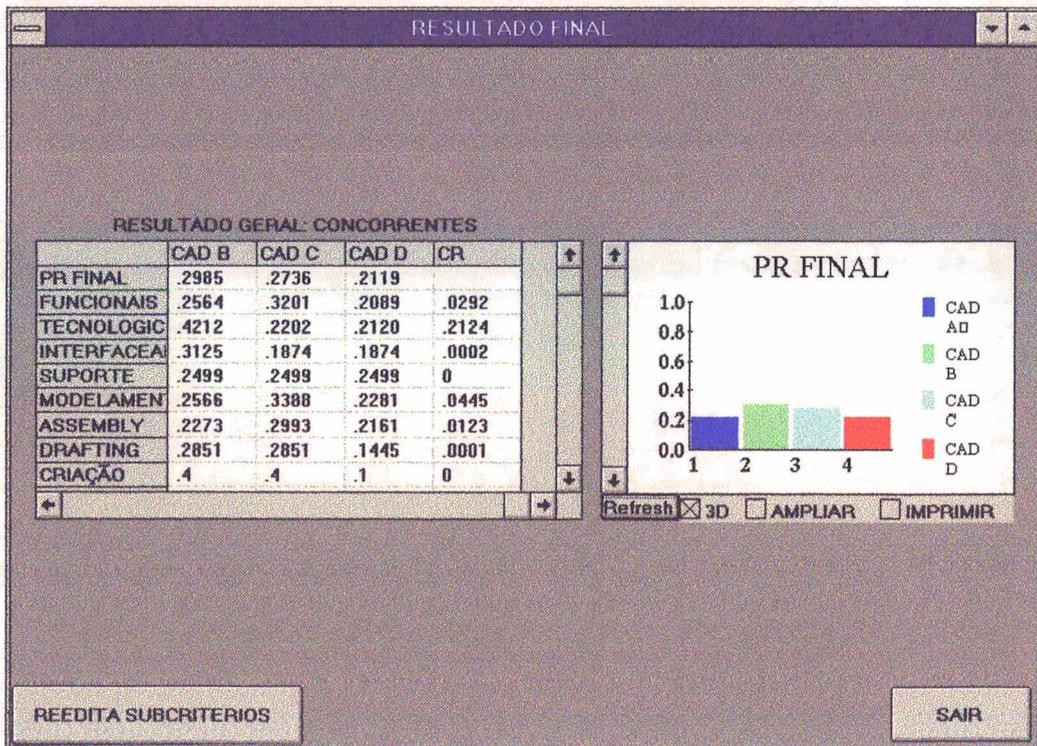


Figura 5.5. O resultado final.

6. Estudo de caso

Definido o método e a sistemática para o teste de BENCHMARK, foi realizado um estudo de caso visando a seleção de um sistema CAD/CAE/CAM para a área de moldes, através de um trabalho de cooperação indústria/universidade.

A empresa que possibilitou esta cooperação foi a ferramentaria Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda., localizada em Joinville. O objetivo da empresa consistia em evoluir do sistema CAD atual para um sistema 3D, modelador de sólidos, baseado em FEATURES*, que atendesse as necessidades da empresa.

O processo de BENCHMARKING (ver capítulo 3) desenvolvido pela empresa, consistiu basicamente, na realização das seguintes etapas principais:

* Segundo (SHAH, 91), FEATURES são formas genéricas às quais os engenheiros associam certas propriedades ou atributos e conhecimentos úteis em processos de raciocínio sobre o produto. Ou seja, as FEATURES podem ser vistas como primitivas de engenharia.

1. Definição, por parte da Fred Jung, das necessidades (critérios) a serem atendidos pelo *software*. Nesta etapa, a empresa classificou estes critérios em diversos graus de importância, sendo alguns considerados "imprescindíveis" (ver Anexo C);
2. Avaliação, por parte de fornecedores de *softwares*, quanto ao atendimento das necessidades (critérios) definidas pela FRED JUNG como "imprescindíveis";
3. Seleção, pela FRED JUNG, das empresas que atenderam, ao menos satisfatoriamente, estes primeiros critérios;
4. Desenvolvimento e posterior envio, por parte da FRED JUNG, da proposta de trabalho a ser desenvolvida durante a apresentação do *software*;
5. Análise, por parte do fornecedor, da proposta de trabalho;
6. Realização do teste de BENCHMARK nas dependências da FRED JUNG e,
7. Avaliação e análise, por parte da FRED JUNG, dos resultados obtidos com o teste de BENCHMARK, culminando com a seleção do *software*.

O estudo de caso limitou-se a utilizar o método **AHP**, apoiado pelo *software* desenvolvido no GRUCON/CIMJECT, com base nos critérios fornecidos pela Fred Jung. Para tanto, foi permitida a participação no teste de BENCHMARK e o acesso à informações referentes ao desenvolvimento do processo de BENCHMARKING na empresa.

6.1. Aplicação do AHP num grupo de decisão

Decisões que irão, de alguma maneira, envolver vários setores de uma empresa, são bastante complexas, como é o caso da seleção de um sistema CAD/CAE/CAM para a área de moldes. Conforme já citado no capítulo 4, tais decisões devem ser tomadas uma vez definida a formação do grupo, a hierarquia, e a obtenção do consenso geral durante a avaliação dos diversos *softwares*.

6.1.1. Formação do grupo

No caso analisado junto à ferramentaria Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda., dez pessoas estiveram envolvidas no teste de BENCHMARK, entre projetistas, pessoal responsável pelo suporte técnico e alta chefia. Desta maneira, a empresa conseguiu aliar vários níveis hierárquicos num único grupo, tentando reduzir dificuldades inerentes a grupos de decisão, tais como:

- Alguns membros do grupo, por exercerem cargos com maior poder de decisão dentro da empresa, podem se recusar a participar do processo de decisão, uma vez que temem perder ou diminuir suas influências num grupo onde todas as opiniões são importantes.
- Contudo, se tais membros participarem ativamente do processo de decisão, provavelmente irão influenciar fortemente o processo com respeito às suas preferências.

- Por outro lado, resultados gerados por um grupo que consiste apenas de pessoas com pouco poder de decisão, podem ser de difícil implementação.
- Membros que já possuam alguma experiência em algum dos sistemas CAD/CAE/CAM sujeitos ao teste de BENCHMARK, poderiam ser tendenciosos em seus julgamentos.

6.1.2. Construção da hierarquia

Como visto em maiores detalhes no capítulo 4, esta etapa é muito importante, pois é ela que define os critérios a serem avaliados durante o teste de BENCHMARK. Se os critérios já forem conhecidos, igualmente é importante organizá-los de forma clara e estruturada.

No caso em questão, os critérios e sub-critérios foram determinados ao longo de quatro meses de intensa pesquisa.

Debates e discussões entre os participantes foram utilizados para gerar uma hierarquia que representasse adequadamente o problema. Cada membro apresentou suas definições próprias, argumentos e pontos de vista sobre os critérios em cada nível da mesma. Naturalmente, alcançar um consenso sobre a estrutura global da hierarquia, não foi uma tarefa muito fácil.

Uma visão geral da hierarquia final obtida, com seus critérios e sub-critérios, é mostrada na Figura 6.1.

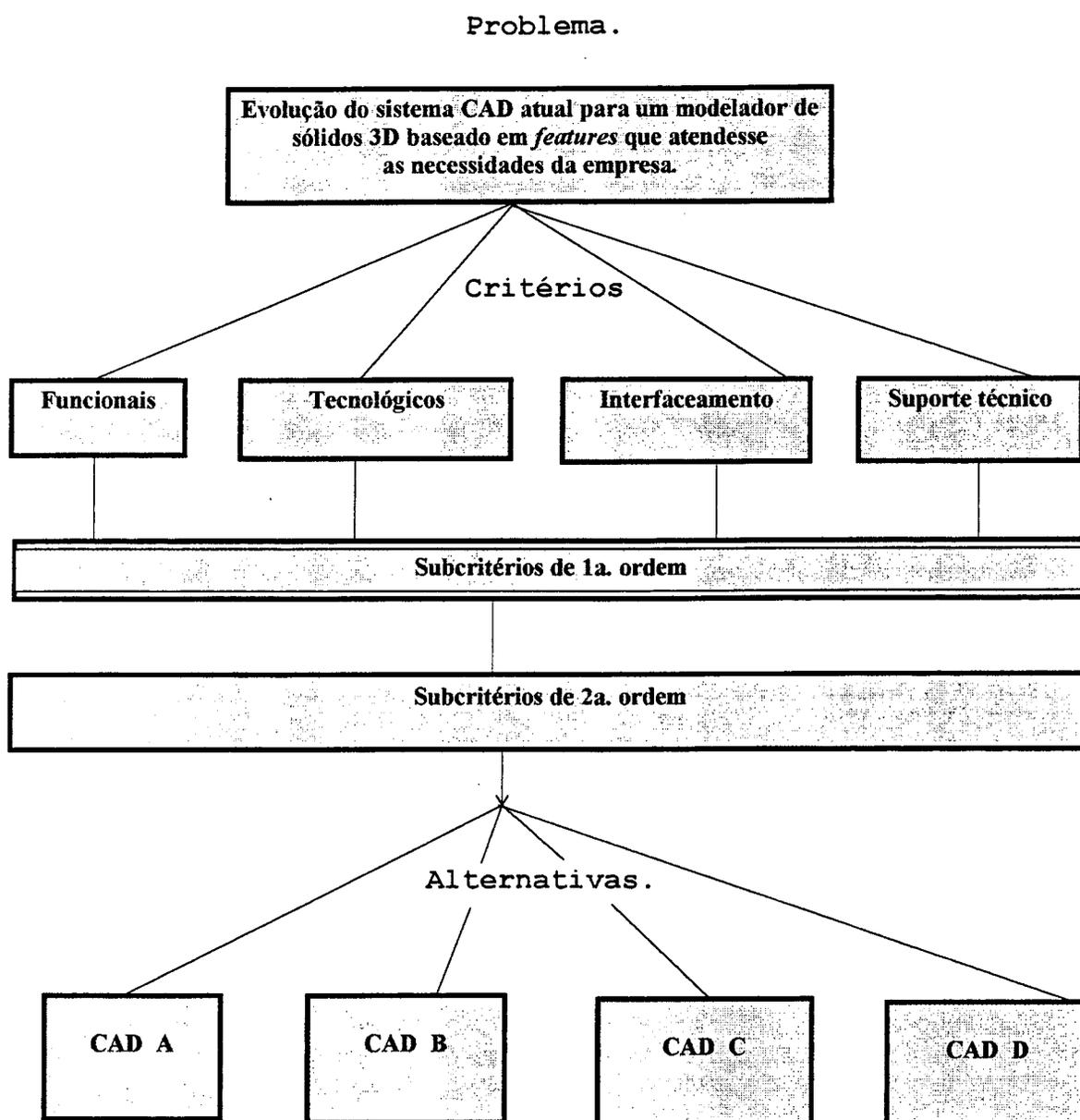


Figura 6.1. Hierarquia do problema analisado junto à Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda.

Quatro critérios foram definidos como sendo os mais relevantes:

Funcionais: Visa avaliar o *software* quanto a sua capacidade de criação e manipulação da *feature*.

Tecnológicos: Este critério tem por objetivo avaliar o suporte que o sistema oferece às tecnologias que visam adaptá-lo ao padrão produtivo desejado pela empresa.

Interfaceamento: São discutidos os aspectos de transferência de informações e imagens de/para o sistema analisado.

Suporte Técnico: Capacitação e disponibilidade em fornecer assistência à utilização do sistema.

Com relação aos subcritérios de 1ª. ordem, mostrados na Figura 6.2, foram definidos:

A) Com relação ao critério "funcionais":

Modelamento: Neste item serão avaliados diversos fatores que influenciam a geração e tratamento de formas geométricas em sistemas CAD baseados no modelamento de sólidos, e que espelham a produtividade do *software* no ambiente da empresa.

Montagem (Assembly): O sub-critério *assembly* diz respeito ao tratamento e posicionamento de componentes durante a montagem dos mesmos para determinação do produto final.

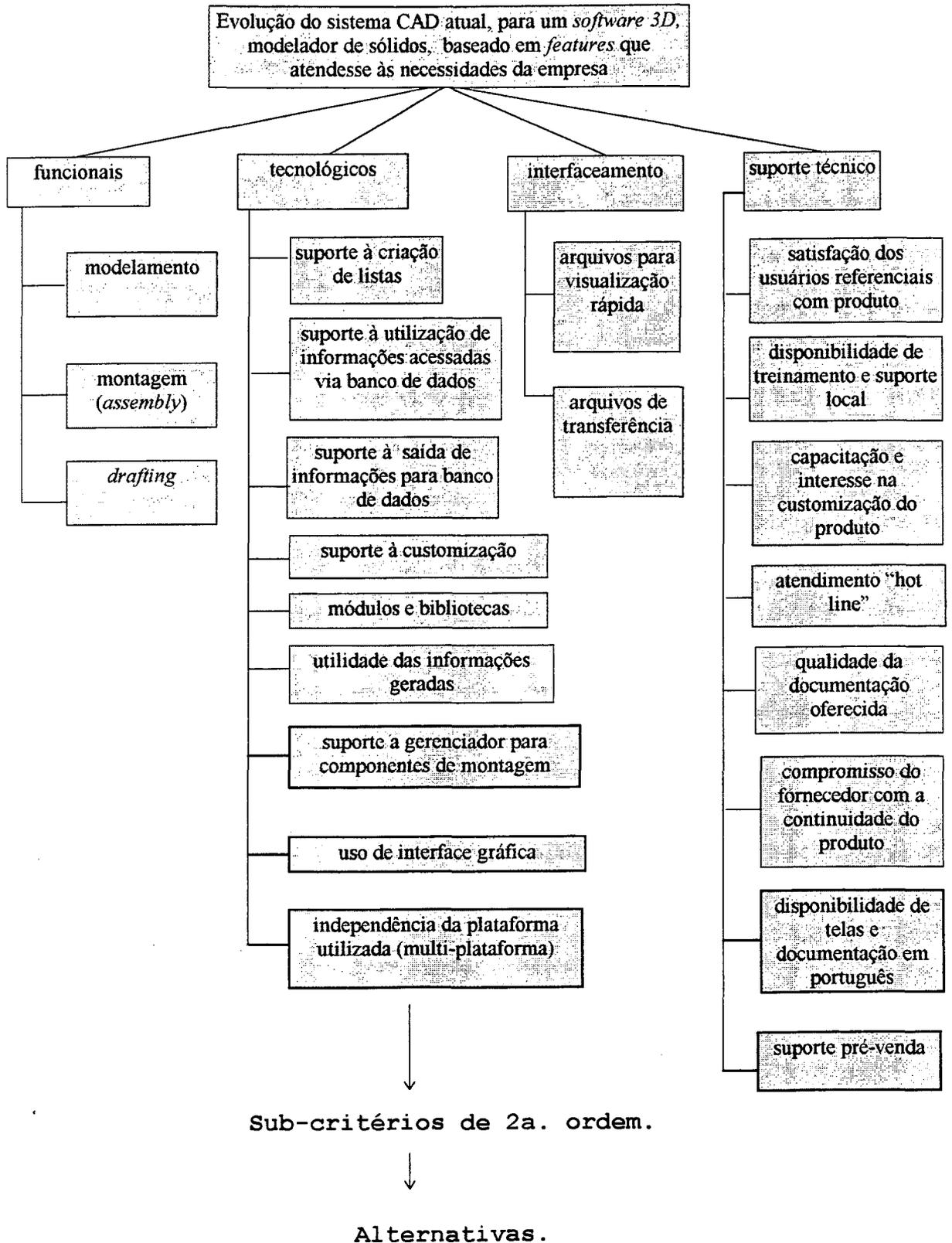


Figura 6.2. Sub-critérios de 1a. ordem.

Drafting: É avaliado o desempenho do sistema na tarefa de detalhamento do modelo com criação de vistas, cortes, cotas, etc.

B) Com relação ao critério "tecnológicos":

Suporte à criação de listas: Facilidade e adequação do sistema à geração de listas no padrão desejado pela empresa. Este item é julgado por:

- Lista de materiais: Verifica a adaptação da lista gerada pelo sistema, bem como as modificações necessárias para adaptá-la ao padrão da Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda. e associatividade da mesma com o modelo gerado.

- Lista de coordenadas: O mesmo do comentado anteriormente para coordenadas de posicionamento (dimensionamento) no módulo de *drafting*.

Suporte à utilização de informações acessadas via banco de dados: É desejável que o sistema tenha capacidade de ler tabelas de formatos padrões no mercado e possa aproveitar as informações ali contidas.

Suporte à saída de informações para banco de dados: É desejável que o sistema gere saídas de dados em formatos padrões, que possam ser entendidos por sistemas que utilizem este tipo de informação.

Suporte à customização: Avalia-se a capacidade e a necessidade de adaptação do sistema analisado. Este item engloba linguagens de programação suportadas para implementação de rotinas, estruturação de programas, necessidade de compiladores externos, etc.

Módulos e bibliotecas: Verifica a disponibilidade de customizações para setores específicos criados pela própria empresa fornecedora do *software* ou autorizada, com especial interesse na área de projeto de moldes e setor metal-mecânico.

Utilidade das informações geradas: Verifica-se a possibilidade de utilização dos modelos gerados no próprio projeto e em outros setores da empresa (CAPP, CAM, etc.):

- usinagem em 2½ e 3 eixos; informações quantitativas de massa, volume, área projetada.

Suporte a gerenciador para componentes de montagem: Um gerenciador trabalha de forma a organizar arquivos conforme sua origem e/ou posição mantendo as informações contidas nestes arquivos atualizadas, além de controlar o acesso às mesmas. Neste sentido, deseja-se que o sistema possua (ou suporte) um gerenciador que funcione de modo análogo com os componentes de cada montagem.

Uso de interface gráfica: O uso de interface gráfica é uma característica importante nos softwares atuais, possibilitando uma interface amigável e intuitiva com os usuários, reduzindo, desta forma, o esforço compreendido com treinamento e familiarização com o software.

Independência da plataforma utilizada (multi-plataforma): Um sistema multi-plataforma permite que seja transportado a outra plataforma (i.e. outra estrutura de hardware) sem que as funcionalidades e os dados tenham que ser alterados.

C) Com relação ao critério "interfaceamento":

Arquivos para visualização rápida: Neste sub-critério de 1a. ordem, verificam-se os padrões raster (arquivos utilizados para tratamento de imagens) suportados pelo sistema. Por serem compactos, estes arquivos se tornam bastante práticos principalmente no acompanhamento do 'workflow' (projetos executados e em execução): - BMP; PCX; TIFF; GIF; WMF; EPS; DWG; DXF.

Arquivos de transferência: São analisados os tipos de arquivos suportados pelo sistema para transferência de dados de/para outros sistemas: - DWG; DXF; STL; IGES; STEP; SAT (ACIS); VDA.

D) Com relação ao critério "suporte técnico":

Satisfação dos usuários referenciais com o produto: Este sub-critério de 1a. ordem procura atribuir um valor ao depoimento dos usuários apontados pelo fornecedor como referenciais, com os quais a Fred Jung teve contato no processo de avaliação do produto.

Disponibilidade de treinamento e suporte local: Avalia-se o interesse e a disponibilidade do fornecedor em prover treinamento (preferencialmente na Fred Jung, eventualmente em Joinville) e suporte necessariamente na Fred Jung (ainda que com custos).

Capacitação e interesse na customização do produto: Este item procura avaliar o interesse, disponibilidade e competência do fornecedor em prover ajustes e adaptações visando tornar o *software* utilizável pela Fred Jung.

Atendimento "hot line": É avaliada a disponibilidade do fornecedor em providenciar suporte por telefone do produto. São avaliados:

- Horário de atendimento; Número de atendentes; Tipos de serviços prestados (atendimento verbal, via modem, monitoração remota, etc.)

Qualidade da documentação oferecida: Este critério procura avaliar a qualidade e suficiência da documentação oferecida com o produto.

Compromisso do fornecedor com a continuidade do produto: Este item procura avaliar o compromisso do fornecedor com a continuidade, aperfeiçoamento e competitividade do produto oferecido. Esta avaliação é baseada nos seguintes fatores:

- Grau de importância que o fornecedor confere ao desenvolvimento e a comercialização do produto;
- Solidez do fornecedor;
- Compromissos contratuais que o fornecedor pode assumir, em caso de fornecimento;
- Histórico da evolução do produto;
- Frequência das versões "significativas" do produto.

Disponibilidade de telas e documentação em português: Este critério procura avaliar se as telas e documentações oferecidas se encontram disponíveis na língua portuguesa.

Levantamento pelo fornecedor da situação em campo (suporte pré-venda): Este critério, subjetivo, procura avaliar os serviços que o fornecedor oferece para levantamento de dados em campo e especificação/parametrização do produto.

Com relação aos subcritérios de 2a. Ordem, mostrados na Figura 6.3, foram definidos:

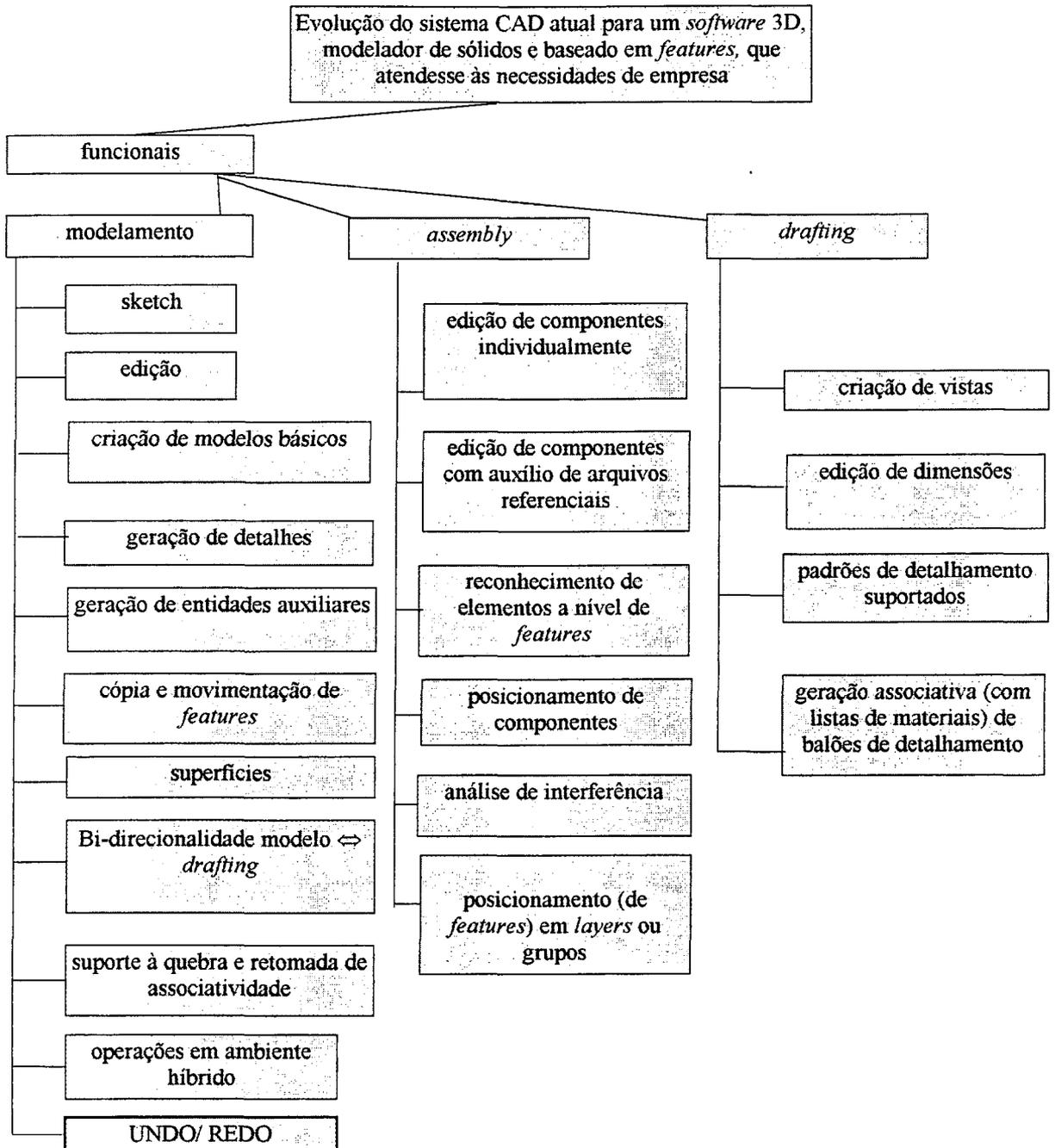


Figura 6.3. Sub-critérios de 2a. Ordem.

E) Com relação ao subcritério de 1a. Ordem "modelamento":

SKETCH: O *sketch* funciona como uma ferramenta justamente para esboçar a geometria que pretende se construir fornecendo a ela, através da criação de entidades básicas, como linhas, arcos, pontos, etc., a forma aproximada da *feature* a ser criada. Neste item são analisados os seguintes pontos:

- Linhas auxiliares para construção: refere-se a linhas, geralmente tracejadas e/ou de cor diferenciada, que o sistema fornece ao usuário durante a elaboração do *sketch*. Estas linhas indicam, conforme o esboço da *feature* é criado, direções e pontos referenciais, como perpendiculares, pontos medianos, pontos finais, etc.

- Dimensionamento da *feature*: questiona a disponibilidade do sistema em permitir a definição total ou parcial, dos parâmetros que identificam uma *feature*, através de valores numéricos ou algébricos (ex: 2; 2.1; A; A+2; A=2; A+B; etc.). Em alguns casos é interessante definir somente alguns desses parâmetros, deixando os restantes para serem definidos em passos posteriores.

- Criação de restrições geométricas: permite definir restrições entre geometrias tais como: paralelismo; perpendicularismo; concentricidade; colinearidade; tangência; etc., permitindo a visualização gráfica destas restrições.

- Suporte à utilização de geometrias referenciais para elaboração do *sketch*: refere-se a possibilidade de utilizar

features independentes como referencias para posicionar a *feature* em construção.

Edição: Diz respeito a alteração de propriedades de um determinado modelo ou *feature*. Neste subcritério são analisados:

- Edição de parâmetros: verifica a possibilidade de edição dos parâmetros determinados durante o *sketch*, onde todo e qualquer tipo de dimensão dado a qualquer característica da *feature* é considerado um parâmetro.

- Edição de *sketch*: Analisa a possibilidade de edição de parâmetros ainda não determinados da *feature*, possibilitando inclusive, alterações na própria geometria da mesma.

- Edição de relações: Questiona o atendimento do sistema no sentido de rever relações, dimensionais e geométricas, entre *features* distintas ou mesmo dentro da própria.

- Edição de restrições: Permite a redefinição de restrições estabelecidas anteriormente (inclusão, exclusão, alteração).

Criação de modelos básicos: Verifica os recursos que o sistema disponibiliza para a criação de modelos sobre os quais serão determinadas as formas finais das *features*. Os requisitos analisados são os seguintes:

- Extrusão: Corresponde a função que apresenta um perfil que se desloca na direção e sentido dado por um vetor, acrescentando ou removendo o sólido gerado às geometrias pré-existentes; permitindo, inclusive, um ângulo de extrusão.

- Revolução: Esta ferramenta cria um objeto sólido a partir da revolução de um perfil em torno de um eixo. Ela deve ser utilizada tanto para adição quanto para remoção de geometrias.

- Drive: Corresponde a função que apresenta uma ou mais seções, que se moldam suavemente ao longo de uma trajetória indicada por um vetor, uma linha, arco ou *spline*^{*}, acrescentando ou removendo o sólido gerado ao modelo pré-definido.

- Furos: Refere-se a função que permite definir furos a partir de *features* padronizadas (ex: passante, rebaixado, rosqueado, escareado, chavetado, etc.).

- Pinos: Semelhante ao item "furos", devendo porém, suportar formas variadas.

- Cascas (*shell*): Refere-se a criação de objetos que apresentam espessura. É interessante que o sistema analisado suporte valores de cascas negativas.

- Cavidades: Diz respeito a criação de cavidades resultantes da extração do produto modelado anteriormente de um bloco (placa cavidade, por exemplo), bem como a definição das linhas de fechamento.

Geração de detalhes: Este item avaliará funções que o sistema oferece ao usuário para determinação da forma final da *feature*. Estas funções são:

- Arredondamento com raios fixos: esta função elimina cantos vivos apresentando um raio fixo ao longo de toda a aresta.

* Uma *spline* é um tipo de curva matematicamente definida por "pontos de controle" ao longo de sua dimensão (BEARD,90), (KOIKE,95).

- Arredondamento com raios variáveis: nesta função deve-se poder atribuir valores ao raio de arredondamento ao longo de toda aresta, podendo ou não haver alguma relação entre os valores atribuídos.

- Chanfros: esta função deve realizar chanfros ao longo de arestas, quer sejam simétricos ou não.

- Drafts: determina a inclinação de faces frente a um referencial como, por exemplo, ângulos de extração em faces verticais.

- Escala: verifica a capacidade do programa em representar o modelo em diferentes escalas definidas pelo usuário.

Geração de entidades auxiliares: Refere-se a criação de entidades como planos e eixos que facilitam e propiciam a determinação da forma final do modelo. São analisados aqui:

- Planos: Verifica a criação de planos auxiliares.

- Eixos: Verifica a criação de eixos auxiliares.

Cópia e movimentação de features: Facilidades e recursos oferecidos pelo sistema para realização destas operações. Os itens analisados são os seguintes:

- Matriciação retangular: analisa cópia e movimentação de *features* por matriciação retangular.

- Matriciação circular: Mesmo que o anterior, com a diferença de ser por matriciação polar (circular).

- *Mirror* (espelhamento): Verifica operações de espelhamento de *features* e objetos (*parts*).

Superfícies: Neste subcritério são analisados:

- Suporte (linkagem) com modelamento de superfícies: avalia a forma como o sistema definirá as superfícies a serem usinadas. A definição destas superfícies pode ser feita através de 'linkagem' com modelador de superfícies próprio ou externo (de outro fabricante).

- Número máximo de superfícies admitidas na conversão superfície > sólido.

- Conversão: Avalia a condição e o tratamento de *features* após a conversão superfície > sólido, avaliando ainda a possibilidade de utilização dos conceitos de parametrização, associatividade e relações com as superfícies convertidas.

Bi-direcionalidade na associatividade modelo ↔ drafting: Avalia-se se o sistema permite a atualização bi-direcional entre os estágios do projeto, no que diz respeito às geometrias associadas e dimensões respectivas.

Suporte à quebra e retomada de associatividade: Deseja-se que o sistema permita a edição de um elemento de uma distribuição individualmente, quebrando a associatividade do mesmo com os demais e, também, que permita retomá-la se desejado.

Operações em ambiente híbrido: Questiona o reconhecimento de entidades geométricas de diversas formas em um mesmo ambiente e a capacidade de editar qualquer um deles sem alteração de ambiente ou módulo.

Comandos de retorno (UNDO/REDO): Verifica a funcionalidade de comandos que desfazem operações já realizadas ou as refazem no caso de haverem sido eliminadas por engano.

F) Com relação ao subcritério de 1a. Ordem "assembly":

Edição de componentes individualmente: Possibilidade de editar componentes de uma montagem, como um modelo independente dos demais presentes.

Edição de componentes com auxílio de arquivos referenciais: Possibilidade de editar componentes criando relações e dependências paramétricas e geométricas com os demais componentes da montagem.

Reconhecimento de elementos a nível de features: Capacidade do sistema de reconhecer *features* como elementos básicos, além de identificar características como dimensões, posição, número de elementos, entre outros.

Posicionamento de componentes: Verifica as referências suportadas pelo sistema para posicionar componentes durante a montagem. São analisados aqui:

- Planos.
- Planos com *offset* (posicionados a uma determinada distância, *offset*, de uma referência).
- Pontos.
- Eixos.

Análise de interferência: Verifica a presença e utilidade da função no sistema. Ambos os tipos de interferência são analisados: estático e dinâmico.

Posicionamento (de features) em layers ou grupos: Analisa a possibilidade de utilização das vantagens do conceito de agrupamento em *layers* durante a montagem.

G) Com relação ao subcritério de 1ª. Ordem "*drafting*":

Criação de vistas: Verifica o desempenho do *software* na criação de vistas e as automaticamente geradas pelo mesmo. Os itens analisados são:

- Vistas ortogonais: Compreende as vistas frontal, lateral e de topo.
- Seções: Verifica a praticidade na criação de seções criando automaticamente a vista destas seções já com a opção de

hachuras associadas ou não. É interessante que estas seções possam ser criadas tanto a partir de vistas 2D como em 3D e que mantenham associatividade bi-direcional com o modelo.

- Detalhes: Analisa a presença de funções para geração e tratamento de detalhes. É também desejado associatividade bi-direcional com o modelo.

Edição de dimensões: Verifica a praticidade com que o sistema atualiza e redefini dimensões dentro das vistas.

Padrões de detalhamento suportados: ANSI, ISO, DIN, JIS, PERSONALIZADO, etc.

Geração associativa (com listas de materiais) de balões de detalhamento: Associa as entidades com a posição que o representa na lista de materiais.

6.1.3. A obtenção do consenso geral

Após os comentários realizados anteriormente sobre a importância do grupo e de sua formação, bem como a definição da hierarquia (itens 6.1.1 e 6.1.2), o próximo passo é o preenchimento das matrizes com os julgamentos dos sistemas, para obter então, os resultados finais.

Buscou-se alcançar um consenso para cada um dos valores atribuídos à cada alternativa das diversas matrizes de

juulgamentos. Para definir o grau de importância de cada critério e subcritério definido na hierarquia, utilizou-se a escala de razão mostrada na Figura 4.1 (capítulo 4) baseada na escala definida pela empresa (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 Pesos definidos pela empresa Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda., para a avaliação dos diversos sistemas envolvidos no teste de BENCHMARK.

Grau de importância de cada critério e subcritério definido na hierarquia	
Imprescindível	10
Muito importante	10
Importante	7
Desejável	5
Interessante	3

Adicionalmente, para facilitar a organização das informações obtidas durante o teste de BENCHMARK, foram elaboradas planilhas, conforme mostrado no exemplo do Anexo E.

Para que sejam conhecidas as *prioridades relativas* (PRs), para cada *software* analisado através do procedimento genérico explicado no capítulo 4, utilizou-se o *software* para auxílio à tomada de decisões criado no GRUCON/CIMJECT, cujos resultados finais são apresentados na tabela 6.2 e nas Figuras 6.4 e 6.5.

A descrição completa do processo, é mostrada no Anexo D, através da apresentação das matrizes de julgamentos.

Tabela 6.2. Resultados do teste de BENCHMARK.

RESULTADO FINAL	P.R.
CAD A	0.2323
CAD B	0.2862
CAD C	0.2756
CAD D	0.2049
	C.R. = 0.0127

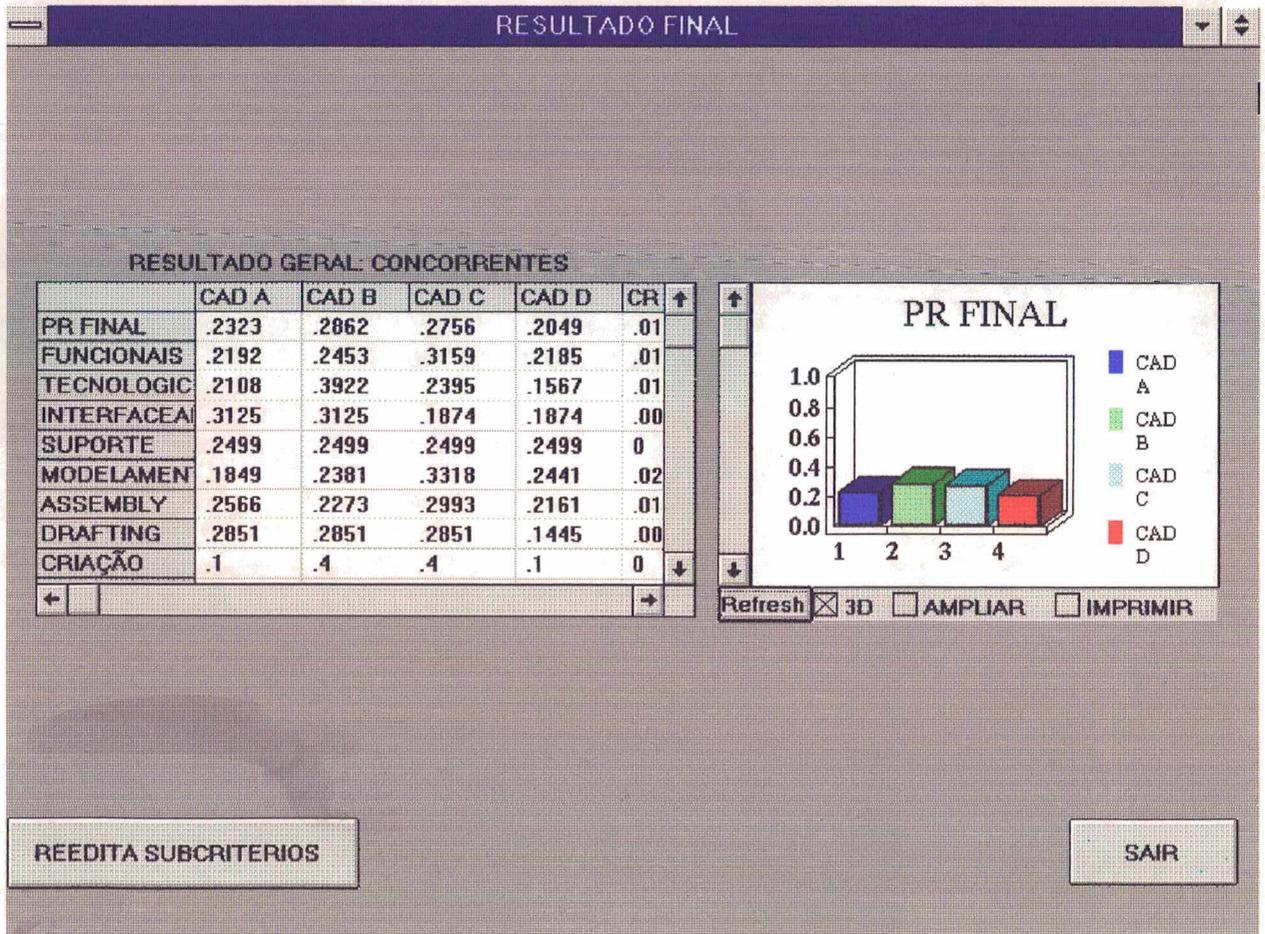


Figura 6.4. Tela do software desenvolvido no GRUCON/CIMJECT, mostrando o resultado final.

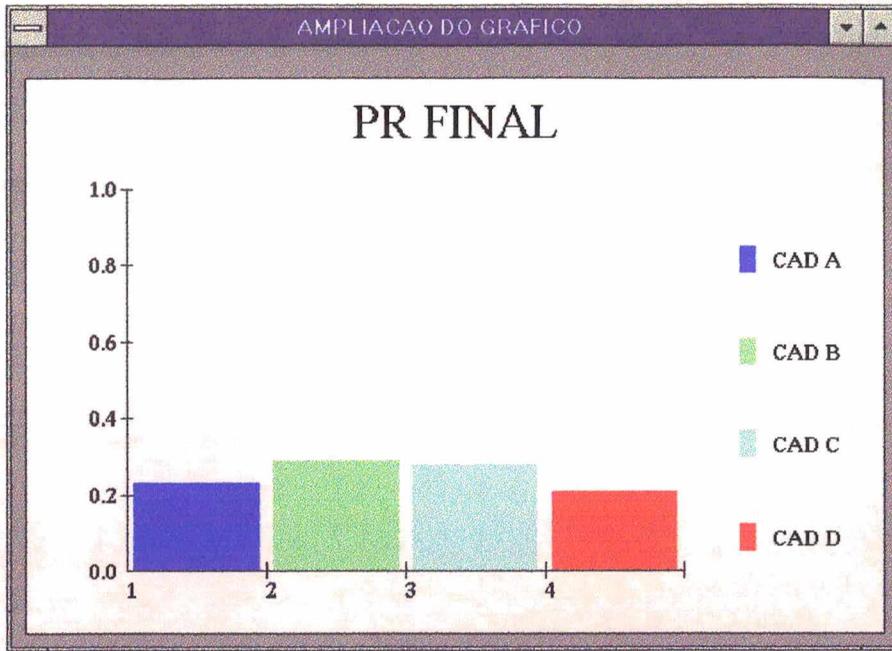


Figura 6.5. Ampliação do resultado final de forma gráfica.

7. Conclusões e sugestões para novos trabalhos

O emprego de uma sistemática para a seleção de sistemas CAD/CAE/CAM para a área de moldes é fundamental. É através desta sistemática que se obtém um processo de seleção, e posteriormente implantação, organizado e com objetivos bem fundamentados e definidos, obtendo-se assim, um maior apoio geral de todos os participantes do processo, o que diminui a rejeição inicial típica à novas tecnologias e processos inovadores. Além disso, é através desta sistematização no processo de seleção, que se pode diminuir a influência do fornecedor do sistema durante o teste de BENCHMARK, facilitando também o controle do processo, através de uma melhor definição dos tempos e custos envolvidos.

Com respeito ao método **AHP**, este se enquadrou muito bem num "teste de **BENCHMARK**", sendo de fácil compreensão e apresentando resultados consistentes, conforme pode ser observado no estudo de caso descrito nos capítulos 4 e 6, onde o método forneceu a mesma classificação entre os *softwares* obtida com a metodologia, baseada em médias ponderadas, utilizada pela empresa Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda. (Tabela 7.1). Na metodologia utilizada pela empresa, os *softwares* que não atenderam um dos critérios considerados "imprescindíveis", obtiveram nota global igual a zero (CAD A e CAD D na Tabela 7.1). Outra diferença existente, é que enquanto o AHP classifica os sistemas de tal forma que juntos somem 100%, a metodologia da empresa atribui notas cujos valores máximo e mínimo são, respectivamente, 10 e zero. Como a empresa Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda. realizou um processo bem estruturado, através de uma sistemática já enraizada na empresa, o teste de **BENCHMARK** realizado pela mesma pôde ser considerado eficiente.

Método Fred Jung		Método AHP	
CAD A	0.00	CAD A	0.2323
CAD B	8.26	CAD B	0.2862
CAD C	7.79	CAD C	0.2756
CAD D	0.00	CAD D	0.2049

Tabela 7.1. Resultados obtidos pelas metodologias AHP e a utilizada pela empresa Fred Jung Moldes e Matrizes Ltda.

Tratando agora a respeito do *software* desenvolvido no GRUCON/CIMJECT, o mesmo mostrou ser uma ferramenta muito útil no processo, pois com sua utilização, foi possível obter gráficos para melhor análise dos resultados parciais, referentes a qualquer critério ou subcritério da hierarquia. Além disso, uma ferramenta computacional para auxiliar testes de BENCHMARK, mostra sua importância facilitando o trabalho do especialista através de uma interface amigável e também apresentando os resultados de uma maneira organizada, permitindo assim, que o grupo mantenha sua atenção na análise dos resultados obtidos.

Outro ponto importante é designar uma pessoa responsável pela aplicação da metodologia escolhida para auxiliar o teste de BENCHMARK. Tal pessoa deverá se preocupar com a documentação do processo, envolvendo a estruturação do problema (desenvolvida pelo grupo), a elaboração das matrizes de decisão (no caso do AHP), até o cálculo dos pesos e indicação do resultado final. Tendo alguém responsável por estas etapas com o auxílio de um *software* de apoio à decisão, o grupo de atores pode focalizar sua atenção nos debates ao longo do processo.

Outro item fundamental para se tirar o máximo proveito de tecnologias CAD/CAE/CAM, é o fator humano. Os problemas que as ferramentarias brasileiras enfrentam, relativos ao treinamento de pessoal, são muitos, como mostrado no capítulo 2. Porém, não é economizando nestes fatores (treinamento e formação profissional), que poderão fazer frente às empresas do 1º mundo. Tal é a importância da formação de recursos humanos para o

futuro das empresas, que (MENDES,91) afirma, baseado em sua experiência: **"se pensa que formar é caro, experimente investir na ignorância"**.

As tecnologias CAD/CAE/CAM aplicadas ao projeto e fabricação de peças de plástico e de suas ferramentas, bem como em inúmeras outras áreas, vieram para ficar. Contudo, somente dando a devida importância a aspectos organizacionais, é que o setor de moldes poderá enfrentar a concorrência do mercado externo.

Ao longo desta dissertação, ficaram evidenciados vários pontos que merecem um estudo específico, de modo a poder complementar e aprimorar os resultados aqui apresentados. Entre estes pontos, sugere-se:

- realizar um estudo detalhado sobre a influência de julgamentos subjetivos nos resultados obtidos de testes de BENCHMARK. Isto é um ponto importante a ser estudado, pois uma vez atribuídos valores (notas) a julgamentos subjetivos, estes deixam de ser subjetivos, e passam a ser representados matematicamente. Qual a melhor maneira de se fazer esta conversão, de tal forma a não permitir uma influência muito grande destes números, é algo que merece um estudo mais aprofundado;

- ampliar os estudos com relação a outras "metodologias multicritérios de apoio à decisão", comparando-as com o método **AHP**;

- aprimorar o protótipo de *software*, de maneira que seja, por exemplo: atendido um maior número de casos práticos, independente da área de aplicação (sem limites para critérios, subcritérios, etc.); melhorada a interface do programa com o usuário; criadas interfaces de comunicação com outros programas/linguagens mais poderosos (como por exemplo o banco de dados ACCES), e possibilitada a impressão das tabelas referentes aos resultados dos testes; entre outros;

- desenvolver outro *software* baseado em outro método (por exemplo, o DELPHI), e comparar a consistência dos resultados obtidos pelos dois sistemas;

- estudar mais a fundo um dos pontos principais de qualquer processo de BENCHMARKING, ou seja, a definição dos critérios, uma vez que, definir as necessidades da empresa em termos de critérios a serem analisados durante o teste de BENCHMARK, é algo que vai além de avaliar simples características tecnológicas. Deve-se buscar, acima de tudo, otimizar a relação custo/benefício, ou seja, de que forma a

nova tecnologia irá colaborar e melhorar o desempenho comercial da empresa (MARKS, RILEY, 95).

Referências Bibliográficas

AHRENS, Carlos H. **Características desejáveis para a implantação e o emprego de sistemas CAE/CAD/CAM no setor de moldes de injeção de plásticos.** Florianópolis, 1994. Tese (doutorado em Eng. Mecânica) - Área de fabricação, Universidade Federal de Santa Catarina.

AHRENS, Carlos H. - **CAE/CAD/CAM para moldes de injeção: manual de orientação.** Março 1995.

AHRENS, Carlos H.; FERREIRA, Aúreo C. - **Cooperação Universidade/Empresa na formação de recursos humanos e no desenvolvimento de pesquisa aplicada, frente à modernização do setor de moldes de injeção de plásticos.** Workshop gerencial sobre o uso de CAE/CAD/CAM na indústria de plástico. São Paulo: 27 de setembro de 1994.

AMERICAN MACHINIST. **Getting a BENCHMARK for excellence.** USA, p.A1-A11, maio 1994.

BANA e COSTA, C. A. **Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão.** Apostila do curso da Escola de Novos Empreendedores (ENE) da Universidade Federal de Santa Catarina. 1995.

BEARD, Tom. **Coping with complex surfaces**. Modern Machine Shop.
vol.63, No 2, p.52-62, 1990.

CAMP, Robert C. **BENCHMARKING, O caminho da qualidade total**.
2.ed. São Paulo, SP: Editora Pioneira, 1989, 249p.

CANÇADO, Mauro Diniz - **Treinamento é peça-chave em ambientes
CAD/CAE**. CADesign, São Paulo: Market Press, No 7 ano I,
setembro 1995.

CAVALLIN, Márcio; FACCHIN, Fernando F.; ZANELATTO, Osmar. **Formação
de mão-de-obra técnica para a aplicação de CAE/CAD/CAM na
indústria de plástico**. Workshop gerencial sobre o uso de
CAE/CAD/CAM na indústria de plástico. São Paulo, setembro
1991.

CORRÊA, Wagner Souza. **Análise da viabilidade do emprego de
sistemas CAD/CAM na fabricação de cavidades para moldes de
injeção em plataforma PC com estudos de casos**.
Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica)
- Área de fabricação, Universidade Federal de Santa
Catarina.

DUARTE, Adriana. **Para quem precisa de mais potência**. CADesign,
São Paulo: Market Press, p.16-20, num.2, 1995.

EXAME INFORMÁTICA. **Novas armas para engenharia.** São Paulo: Ed. Abril, ano 10, núm.108,p.54-58, março 1995.

EXAME INFORMÁTICA. **Workstations para o dia-a-dia.** São Paulo: Ed. Abril, ano 8, núm.5, p.64-68, maio 1993.

FIGUEIREDO, J. - **Tecnologias e formação profissional na indústria de moldes.** O Molde, Marinha Grande, Portugal: CEFAMOL, No 14, dezembro 1991.

GIMENES, Paula. **Treinamento: uma ferramenta a serviço da qualidade.** SINDIMAQ, São Paulo, num.35, ano 9, p.26-28, 1995.

GOLDEN, Bruce L.; WASIL, Edward A.; HARKER, Patrick T. **The Analytic Hierarchy Process.** Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 1989.

GOLDEN, Bruce L.; WASIL, Edward A.; LEVY, Doug E. **Applications of the Analytic Hierarchy Process: A categorized, annotated bibliography.** Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, p.37-45,1986.

JASANY, Leslie. **Why smart engineers develop dumb designs.** American Machinist. USA, p.71-74, julho 1994.

KEHOE, D.; BAGHERI, A. **Manufacturing Engineering: 2000 and Beyond.** IMEC - International Manufacturing Engineering Conference. Pag. 475-478, agosto 1996.

KIEF, Hans B.; WATERS, T. Frederick - **Computer Numerical Control - a CNC reference guide.** MacGraw-Hill: 1992.

KOIKE, Tetsu. **Integração do projeto e da fabricação de moldes para injeção de plásticos com auxílio de tecnologias CAD/CAE/CAM.** Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) - Área de fabricação, Universidade Federal de Santa Catarina.

LEOCÁDIO, A. De Carvalho. **Comunicação entre sistemas e equipamentos na indústria de moldes.** In: 3º Congresso da indústria de moldes (1988: Marinha Grande, Portugal). Anais, Marinha Grande: CEFAMOL, 1989, p.163-179.

LIBERATORE, Matthew J. **A Decision Support Approach for R&D Project Selection.** The Analytic Hierarchy Process - Applications and Studies. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, p.82-100, 1989.

MARKS, Peter; RILEY, Kathleen. **Aligning Technology: for best business results.** California, USA: Design Insight, 1995.

- M. E METAIS. **Guia das ferramentarias brasileiras. Máquinas e Metais**, São Paulo: Aranda Ed., p. 12-20, maio 1992.
- M. E METAIS. **Guia das ferramentarias brasileiras. Máquinas e Metais**, São Paulo: Aranda Ed., p.20-33, maio 1993.
- M. E METAIS. **Guia das ferramentarias brasileiras. Máquinas e Metais**, São Paulo: Aranda Ed., p.46-58, maio 1994.
- M. E METAIS. **Guia das ferramentarias brasileiras. Máquinas e Metais**, São Paulo: Aranda Ed., p.140-147, maio 1995.
- MENDES, Pedro S. - **Qualidade total e gestão de recursos humanos.** O Molde, Marinha Grande, Portugal: Cefamol, No 13, setembro 1991.
- MITCHELL, Kenneth H; WASIL, Edward A. **AHP in Practice: Applications and Observations from a Management Consulting Perspective.** Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, p.192-212, 1989.
- PINTO, Lúcia Regina de Moura. **Modelo para o planejamento de competitividade de pequenas empresas.** Florianópolis, 1993. Dissertação de mestrado em Engenharia - Área de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

ROSA, Edison da. **Sistemas CAD/CAE/CAM I**. Notas de aula, Depto. de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1988.

ROSA, Edison da; FORCELLINI, Fernando; OGLIARI, André; BACK, Nelson. **Novos enfoques para a concepção de produtos com o uso de sistemas CAE/CAD/CAM**. Máquinas e Metais, São Paulo: Aranda Ed., p.22-25, junho 1995.

ROZENFELD, Henrique; VEGA, Hugo de A. **Ambiente distribuído de soluções para suportar a engenharia simultânea**. M. E METAIS, num. 354, p.210-223, maio 1995.

SAATY, Thomas L. **THE Analytic Hierarchy Process**. McGraw-hill, Nova York, 1980.

SAATY, Thomas L. **Group Decision Making and the AHP**. The Analytic Hierarchy Process - Applications and Studies. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, p.59-67, 1989.

SAATY, Thomas L. **Método de Análise Hierárquica**. University of Pennsylvania, U.S.A.: Makron Books (Editora McGraw-Hill Ltda.), 1991.

SCHMIDT, J. **Use of CAE in the Design of Plastics Components**. Kunststoffe, num. 78, p.109-117, fevereiro 1988.

SCHULTZ, Herbert. On the Threshold of an Upturn. **EPE - European Production Engineering**, Munique, Alemanha: Carl Hanser Verlag, No. 3, vol.19, setembro 1995.

SHAH, J.J. **Assessment of features technology**. Computer-aided Design. vol.23, No.5, p 331-343, 1991.

SPENDOLINI, Michael J. **BENCHMARKING**. São Paulo, SP: Editora Makron Books, 1992, 227p.

TESCHLER, Leland. **Workstations get personal**. Machine Design, USA, vol.66, num.10, p.37-39, March,1991.

TURRIN, Marcelo. **Experiências de um usuário no projeto e execução de moldes de injeção de plásticos utilizando as tecnologias CAE/CAD/CAM**. In: Simpósio sobre CAE/CAD/CAM (1991: São Paulo). Anais: São Paulo: SOBRACON, 1991, Cap.X.

VOLPATO, Neri. **Recursos CAD/CAM voltados ao modelamento e à usinagem de cavidades para moldes, com estudo de casos de aplicação**. Florianópolis, 1993. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) - Área de fabricação, Universidade Federal de Santa Catarina.

Welbourn, Dolnald B. - **A implantação de CAE/CAD/CAM em empresas de pequeno e médio porte.** Simpósio sobre CAE/CAD/CAM. São Paulo: 05 a 07 de novembro de 1991.

Anexo A

Uma descrição, passo a passo,
do método AHP

A.1. Uma decisão a tomar

O propósito deste anexo é complementar o resumo apresentado no capítulo 4 sobre a técnica escolhida para auxiliar a tomada de decisões, provendo uma base lógica/científica necessária, sem perder de vista o fato de que as decisões são fortemente dependentes do processo criativo no qual o problema a ser explorado é formulado (GOLDEN, HARKER, WASIL, 89). Assim, será mostrado aqui um exemplo passo-a-passo de sua aplicação.

Quando se precisa tomar uma decisão, muitas vezes algumas pessoas simplesmente a fazem de forma impulsiva, baseadas em alguma experiência anterior, por intuição ou mesmo conselho de outros. Outras consideram esta situação como um verdadeiro problema, seja a mais simples das decisões a ser tomada. Além disso, existem situações em que é necessário convencer pessoas de que a decisão tomada foi a mais correta. Portanto, para uma grande parte dos problemas, existem duas decisões a serem tomadas:

- encarar o problema através de um ponto de vista holístico, no qual a indicação do melhor é feita de forma simples, ou então,
- organizar a decisão em componentes de forma a (a) obter uma melhor compreensão do problema e/ou (b) comunicar a terceiros porque uma determinada ação foi escolhida (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89).

Por exemplo, se uma pessoa tiver de decidir pela compra de um novo carro, ela pode ter certeza absoluta qual modelo

escolher (Porsche, por exemplo), sem precisar de nenhuma análise posterior. Neste caso, uma aproximação holística, na qual simplesmente escolhe-se a alternativa preferida sem nenhuma análise, é frequentemente o melhor método para a tomada de decisões. Contudo, esta pessoa pode desejar explorar melhor o problema dividindo o mesmo em três grupos: custo (aquisição e manutenção), *performance* e *estilo*, para uma melhor compreensão de suas "verdadeiras" preferências. Esta divisão é de vital importância se for necessário convencer outra pessoa de que o Porsche é realmente a melhor escolha. Assim, métodos holísticos servem para muitos problemas, mas para as decisões de maior grau de importância, necessita-se de uma aproximação mais científica e lógica (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

1º exemplo: O problema da escolha das cidades

Considere uma simples situação de estimação de distâncias adaptado de (GOLDEN, WASIL, LEVY, 86). Suponha alguém que, sem o acesso a um atlas, desejasse estimar as distâncias relativas de várias cidades (Boston, Los Angeles, St. Louis e Houston) em relação a outra (Philadelphia). A primeira questão a se decidir, diz respeito as informações coletadas. Se o desejado é a comparação de várias cidades em relação à Philadelphia, uma maneira muito natural seria comparar as distâncias relativas das mesmas aos pares. Por exemplo, pode-se estimar que Los Angeles é nove vezes mais afastada de Philadelphia que Boston. Assim, as

cidades estariam sendo julgadas através de uma **escala de razão** relativa à distância entre cada par de cidades, isto é, as respostas à questão de quanto cada cidade é afastada de Philadelphia está na forma de *razões de distâncias*. Além do mais, distâncias não são negativas, e assim, as respostas serão sempre números **positivos**. Além disso, se estimamos que Los Angeles é nove vezes mais afastada de Philadelphia que Boston, então é correto assumir que o contrário é verdadeiro, ou seja, Boston é $1/9$ mais afastada que Los Angeles. Assim, as respostas também seriam **recíprocas** no sentido comentado anteriormente. Finalmente, deve-se concordar que a distância de Boston à Philadelphia, em relação a Boston, é igual a um (1). Resumindo, uma maneira muito natural de responder às questões de comparação de distâncias relativas à Philadelphia é através de **julgamentos positivos e recíprocos** baseados numa **escala de razões**. Um exemplo de grupo destes julgamentos é mostrado na tabela A.1.

Tabela A.1. Julgamentos para o exemplo das distâncias à Philadelphia.

	Boston	Los Angeles	St. Louis	Houston
Boston	1	$1/9$	$1/3$	$1/4$
Los Angeles	9	1	3	2
St. Louis	3	$1/3$	1	$1/2$
Houston	4	$1/2$	2	1

Tabela A.2. Distâncias relativas estimadas

	Distância real (milhas)	Distância Normalizada	Distância Estimada
Boston	296	0.055 (296/5378)	0.059
Los Angeles	2706	0.503	0.513
St. Louis	868	0.161	0.160
Houston	1508	0.280	0.269
	Soma = 5378	Soma ~ 1	C.R. = 0.006

Na tabela A.1. deve-se notar que existem alguns "erros" durante os julgamentos das distâncias. Por exemplo, quando foi afirmado que Houston é quatro (4) vezes mais afastada que Boston e que Los Angeles é duas (2) vezes mais afastada que Houston, isto implicaria que Los Angeles é $2 \times 4 = 8$ vezes mais afastada que Boston; contudo, foi fornecido um nove (9) para o julgamento da distância relativa entre Boston e Los Angeles. De fato, esta "matriz de julgamentos" possui vários outros "erros". Se tais erros não existissem, então poderia-se tomar qualquer coluna da matriz mostrada na tabela A.1 e normalizá-la, obtendo-se assim as distâncias totais para cada cidade. Por exemplo, tomando a coluna de Boston obtería-se: $(1/17, 9/17, 3/17, 4/17) = (0.058, 0.529, 0.160, 0.269)$. Contudo, tomando-se a coluna de Houston, obtería-se uma estimação diferente das distâncias relativas: $(0.067, 0.533, 0.133, 0.267)$. Como explicado em detalhes no capítulo 4, o **AHP** lida formalmente com estes "erros" através da estimação dos pesos globais utilizando toda a informação contida na matriz, não apenas em uma coluna particular como mostrado

acima. Utilizando a técnica descrita na parte de fundamentos matemáticos do **AHP** no capítulo 4, a estimação dos pesos foi calculada e é mostrada na tabela A.2. É importante notar que as estimações iniciais (tabela A.1) se aproximam bastante das medidas corretas, pois é através do valor de **C.R.** que se obtém uma medida de quão inconsistente foi o preenchimento da matriz. Isto é, o **consistency ratio (razão de consistência) C.R.** fornece uma maneira de medir quantos "erros" foram criados durante os julgamentos; uma regra simples, porém de grande valia (baseada na experiência) (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), é de que se o **C.R.** for abaixo de 0.1, então os erros são pequenos e a estimação final pode ser aceita. Como mostrado na tabela A.2, os julgamentos obtidos na tabela A.1 são bem consistentes.

O exemplo mostrado ilustra os procedimentos básicos ("coração") do método **AHP**, a saber, a habilidade de fazer comparações aos pares de objetos com respeito a um objetivo comum ou critério (no exemplo analisado, a distância à Philadelphia). O ser humano lida mais facilmente com dois objetos sendo comparados em relação a um determinado critério do que com, por exemplo, três ou dez (Golden, Wasil, Harker, 89). Através da compreensão do processo exposto anteriormente, demonstrou-se um dos dois componentes essenciais do **AHP** - o processo **analítico** de julgamento e o criativo processo de construção e análise de uma **hierarquia**. Para entender este último componente, será considerado um exemplo mais abrangente (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89).

Tabela A.3. Distâncias inversas à Philadelphia.

	Inverso da distância atual	Distâncias inversas normalizadas
Boston	0.0033784	0.6073
Los Angeles	0.0003695	0.0664
St. Louis	0.0011521	0.2071
Houston	0.0006631	0.1192
	Soma = 0.0055631	

Considere um graduado em engenharia mecânica na cidade de Philadelphia com quatro propostas de emprego em quatro cidades diferentes: Boston, Los Angeles, St. Louis e Houston. Como os empregos nestas quatro cidades são basicamente iguais entre si, o graduado deve decidir baseado na qualidade de vida em cada cidade. Sendo um nativo de Philadelphia, um dos critérios mais importantes a pesar na escolha é a distância a sua cidade natal. Por exemplo, considere os dados contidos na tabela A.2. Desde que o graduado tenha acesso a um atlas, as estimações das distâncias são substituídas por informações reais. Se números maiores dizem respeito a alternativas "mais preferíveis", as distâncias são invertidas e renormalizadas para mostrar os resultados contidos na tabela A.3. Assim, Boston é a cidade mais preferida, seguida por St. Louis, Houston e Los Angeles. Se a distância fosse o único critério a ser analisado, então Boston seria a escolha clara. Contudo, outros fatores influenciam a decisão:

- * Custo de vida;
- * Clima;

- * Facilidades educacionais:
 - Pré-escolas e escolas de 1o e 2o grau;
 - Escolas técnicas e universidades;

- * Fatores de "qualidade de vida":
 - Facilidade em locomoção para e do trabalho;
 - Facilidades para recreação e artes.

A primeira etapa para se alcançar a decisão final (onde todos os itens mencionados acima devem ser considerados) é a *estruturação da problema* (Bana e Costa, 95). Um dos métodos mais simples é a criação de uma **hierarquia** de critérios, sub-critérios e alternativas (figura A.1) (Golden, Wasil, Harker, 89), (Saaty, 91).

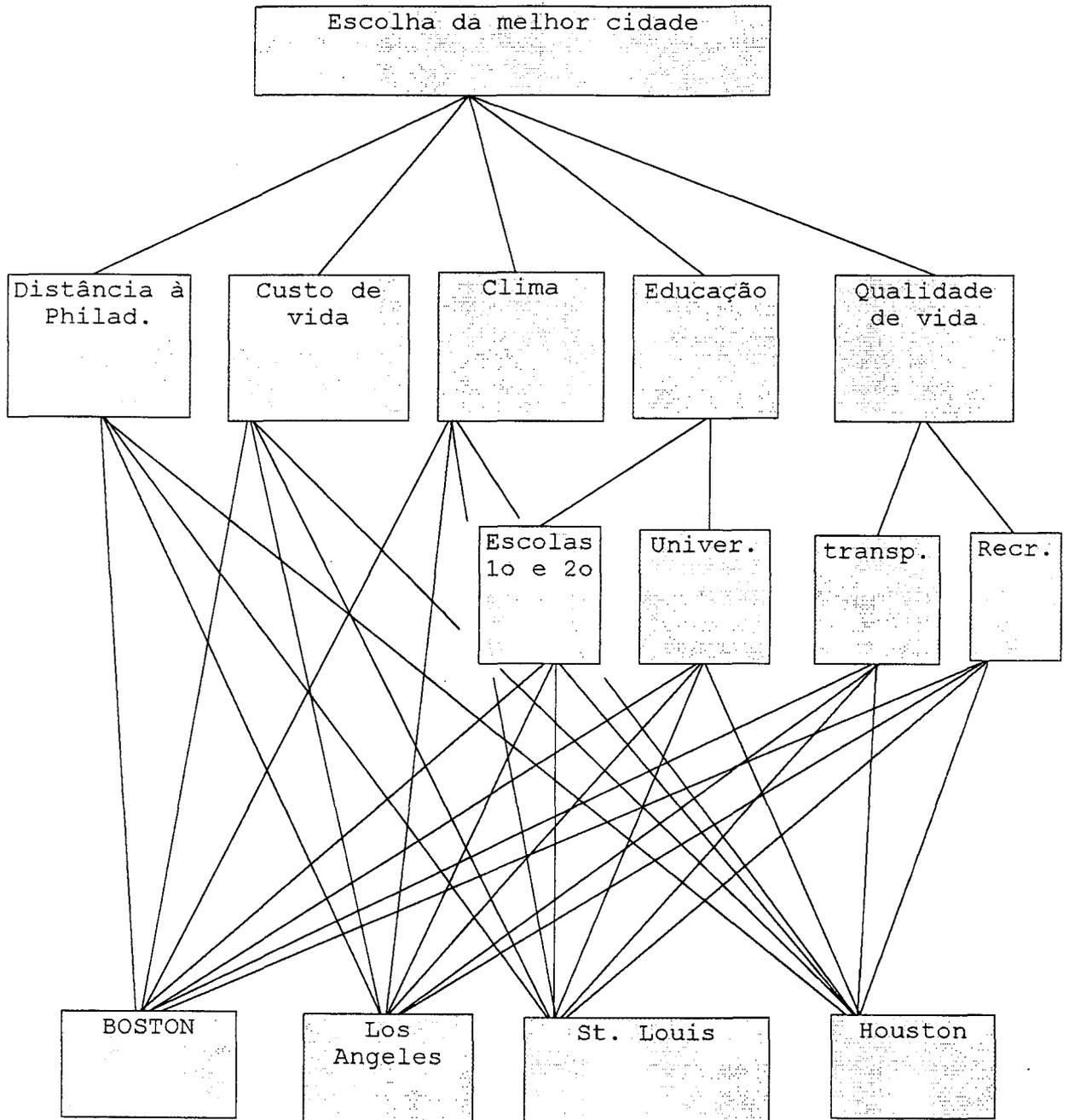


Figura A.1. Hierarquia para o problema da escolha de cidade.

Portanto, a meta (melhor cidade) se encontra no topo da hierarquia, os critérios no nível seguinte seguidos pelos sub-critérios e finalmente as alternativas.

Uma vez finalizada a estruturação do problema, o próximo passo envolve os julgamentos a serem realizados (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). Cada cidade deve ser confrontada perante um determinado item, contra uma outra. Muitas vezes as comparações aos pares (como feito no exemplo de distâncias anterior) não serão necessárias, desde que já existam medidas disponíveis para avaliar os diversos critérios. No exemplo corrente, a tabela A.3 lista os dados necessários para o julgamento das cidades sobre o critério das *distâncias*. Contudo, como obter informações sobre custo de vida e clima? Pode-se encontrar medidas destes itens em estatísticas ou em outros livros de referência, porém estas medidas podem ter ou não um relacionamento adequado quanto à escolha da melhor cidade. Por exemplo, as estatísticas de custo de vida são geralmente realizadas para o consumidor médio. Esta pessoa existe? Mesmo se ela existisse, o graduado se assemelharia a ela? Se a resposta for sim, então as estatísticas de custo de vida publicadas, podem ser usadas da mesma maneira que as informações das distâncias. Se a resposta for não, então julgamentos de valores devem ser realizados para avaliar a "qualidade" de cada cidade quanto àquele critério. No exemplo corrente será assumido que as estatísticas médias de custo de vida são suficientes (veja tabela A.4), mas que o ranqueamento do clima, encontrado na literatura, não é "digno de confiança". Assim, o graduado deve fazer os julgamentos das cidades com respeito ao clima.

Tabela A.4. Ranqueamento das cidades com respeito ao custo de vida.

	Índice de custo de vida (COL)	Percentagem acima do mínimo COL	Inverso da percentagem	Normaliz. do inverso da percentagem
Boston	335,1	1,392	0,7184	0,31836 (0,7184/ 2,0302)
Los Angeles	345,1	4,418	0,2263	0,10031
St. Louis	330,5	1,000	0,0000	0,44315
Houston	341,1	3,207	0,3118	0,13818
			2,0302	

Para serem realizadas os julgamentos sobre o clima, algum tipo de escala é necessário. No exemplo das distâncias, era fácil dizer "St. Louis é 3 vezes mais afastada de Philadelphia que Boston". Com respeito ao clima, contudo, o que "3 vezes" significa? Para solucionar esta dificuldade, será definida a *escala verbal* mostrada na tabela A.5 (a razão para utilização destes números exatos, nesta escala, é explicado no capítulo 4 durante a explanação sobre o embasamento teórico do **AHP**) (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

Tabela A.5. Escala de medidas para o AHP.

<u>Valores numéricos</u>	<u>Definição</u>
1	Igualmente importante ou preferido
3	Um pouco mais importante ou preferido
5	Fortemente mais importante ou preferido
7	Muito mais importante ou preferido
9	Extremamente mais importante ou preferido
2,4,6,8	Valores intermediários para refletir compromisso
Recíprocos	Usados para refletir domínio da segunda alternativa quando comparada com a primeira

Assim, quando comparadas Boston e Los Angeles quanto ao clima, o julgamento é que Los Angeles é um pouco melhor que Boston. A tabela A.6 lista os resultados deste questionamento quanto ao clima. Por exemplo, a entrada de Boston versus Los Angeles é 1/3 e a entrada Los Angeles-Boston é 3 para representar o fato de que Los Angeles é um pouco mais importante ou preferida (IMPORTANTE: OS JULGAMENTOS SÃO RECÍPROCOS!). Como pode ser visto, o graduado sente que Los Angeles é a melhor cidade com respeito ao clima, seguida em ordem por Boston, St. Louis, e Houston.

Tabela A.6. Comparação das cidades com respeito ao clima.

Comparações aos pares					
	Boston	Los Angeles	St. Louis	Houston	Priori. relativa
Boston	1	1/3	2	5	0.259
Los Angeles	3	1	4	5	0.537
St. Louis	1/2	1/4	1	2	0.132
Houston	1/5	1/5	1/2	1	0.072
					C.R.= 0,026

Pode-se proceder os mesmos julgamentos para os critérios restantes, porém, note que no caso onde apenas dois sub-critérios necessitam ser comparados (Pré-escolas e Escolas de 1o e 2o grau / Universidades; Transporte / Artes e Recreação), o procedimento para a comparação dos pares é equivalente a indicar dois números que juntos somam "um" (1) (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). Os resultados destas comparações podem ser encontrados nas tabelas A.7 à A.11; note que os julgamentos são consistentes ao longo das tabelas, já que o C.R. (razão de consistência) é menor que 0.1 para todas as matrizes de comparação.

Tabela A.7. Comparação das cidades com respeito as pré-escolas e as escolas de 1o e 2o graus.

Comparações aos pares					
	Boston	Los Angeles	St. Louis	Houston	Priori. relativa
Boston	1	5	1	4	0.421
Los Angeles	1/5	1	2	2	0.246
St. Louis	1	1/2	1	2	0.229
Houston	1/4	1/2	1/2	1	0.104
					C.R.= 0,071

Tabela A.8. Comparação das cidades com respeito às escolas técnicas e universidades.

Comparações aos pares					
	Boston	Los Angeles	St. Louis	Houston	Priori. relativa
Boston	1	2	5	6	0.538
Los Angeles	1/2	1	2	3	0.253
St. Louis	1/5	1/2	1	2	0.130
Houston	1/6	1/3	1/2	1	0.079
					C.R.= 0,006

Tabela A.9. Comparação das cidades com respeito ao transporte.

Comparações aos pares					
	Boston	Los Angeles	St. Louis	Houston	Priori. relativa
Boston	1	1	1/7	1/6	0.063
Los Angeles	1	1	1/8	1/7	0.059
St. Louis	7	8	1	2	0.530
Houston	6	7	1/2	1	0.348
					C.R.= 0,010

Tabela A.10. Comparação das cidades com respeito às artes e recreação.

Comparações aos pares					
	Boston	Los Angeles	St. Louis	Houston	Priori. relativa
Boston	1	1/2	4	5	0.324
Los Angeles	2	1	5	6	0.508
St. Louis	1/4	1/5	1	2	0.103
Houston	1/5	1/6	1/2	1	0.066
					C.R.= 0,015

Tabela A.11. Comparações de sub-critérios.

<u>Sub-critérios</u>	<u>Prioridade relativa</u>
Pré-escolas e escolas 1o e 2o	0,4
Escola técnica e universidade	0,6
Transporte	0,3
Artes e recreação	0,7

Tabela A.12. Comparação de critérios com respeito à meta.

Comparações aos pares						
	Dist.	Custo	Clima	Educação	Qualid. de vida	Priori. relativa
Dist.	1	2	1/2	2	1/3	0,157
Custo	1/2	1	1/4	2	1/3	0,107
Clima	2	4	1	2	1	0,302
Educação	1/2	1/2	1/2	1	1/4	0,088
Qualid. de vida	3	3	1	4	1	0,346
						C.R. = 0,036

Realizadas todas as comparações, a próxima questão é como juntar estas informações obtidas de maneira a tomar a decisão final. O método clássico é o de simplesmente adicionar os números sobre cada critério e escolher a cidade com a maior soma (a este método dá-se o nome de "prós e contras", ou seja, seleciona-se a alternativa com mais prós). Contudo, os critérios não possuem pesos iguais! Assim, deve-se ter em atenção os diferentes graus de importância para cada critério (note que

este processo se iniciou com a verificação da importância dos sub-critérios) (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). A tabela A.12 mostra a matriz de comparação para o julgamento de quais critérios são mais importantes com respeito ao objetivo final, que é a escolha da melhor cidade para se viver. Como pode ser visto claramente, os critérios são diferentes.

Possui-se agora as prioridades ou preferências de cada cidade quanto aos vários critérios e sub-critérios, bem como a importância relativa destes critérios. O próximo passo será adicionar as prioridades relativas P.R. (valores obtidos nas tabelas anteriores) pesando juntamente as prioridades globais dos critérios fornecidos (tabela A.12). Por exemplo, a tabela A.13 contém a soma dos pesos das cidades com respeito aos quatro sub-critérios. Esta adição cria uma medida composta da importância ou preferência para cada cidade com respeito aos critérios globais de educação e qualidade de vida. Note que as medidas de consistência (C.R.) também devem ser somadas, pesando-as de acordo com a prioridade de cada critério. A intuição por trás desta última operação, é que se em algum momento o julgamento de algum critério não muito importante for muito inconsistente, isto realmente não deveria ter importância. (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). Finalmente, a tabela A.14 contém os resultados da soma de todas as prioridades das cidades sobre cada critério para alcançar prioridades compostas finais. Este processo de se movimentar para cima na hierarquia mostrada (figura A.1) para alcançar os pesos finais para cada alternativa

sobre a meta definida, é conhecida como **composição ou síntese hierárquica** e será melhor descrita na seção referente ao embasamento teórico do **AHP** do capítulo 4 (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). Sem a demonstração matemática deste processo, contudo, este procedimento é intuitivo e deveria ser de fácil compreensão. Analisando os resultados finais, nota-se que a opção escolhida será a cidade de BOSTON (maior P.R, tabela A.14). Porém, como a diferença entre Boston e Los Angeles é muito pequena, deveria-se explorar o impacto na decisão final com algumas mudanças nos julgamentos, para se ter mais certeza da resposta obtida.

Tabela A.13. Prioridades compostas sobre educação e qualidade de vida.

	Prioridades relativas para educação			Prioridades relativas para a qualidade de vida		
	univers. (0.4)	escolas técnicas (0.6)	composto	transp. (0.3)	artes e recreio (0.7)	composto
Boston	0.421	0.538	0.491	0.063	0.324	0.246
Los Angeles	0.246	0.253	0.250	0.059	0.503	0.373
St. Louis	0.229	0.130	0.170	0.530	0.103	0.231
Houston	0.104	0.079	0.089	0.348	0.066	0.151
C.R.	0.071	0.006	0.032	0.010	0.015	0.014

Tabela A.14. Prioridades compostas para as cidades.

	Dist. (0.157)	Custo de vida (0.107)	Clima (0.302)	Educação (0.088)	Qualid. de vida (0.346)	Composto
Boston	0.607	0.318	0.259	0.491	0.246	0.336
Los Angeles	0.066	0.100	0.537	0.250	0.373	0.335
St. Louis	0.207	0.443	0.132	0.170	0.231	0.215
Houston	0.119	0.138	0.072	0.089	0.151	0.115
C.R.	0.000	0.000	0.026	0.032	0.014	0.015

Este exercício de *análise sensitiva* é um passo crucial em qualquer modelamento de problemas e não deveria ser ignorado numa aplicação cuidadosa do método **AHP** (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

2º exemplo: Semelhanças na Hierarquia

Apesar do princípio de composição hierárquica ser intuitivo, deve-se ter cuidados em sua utilização. Tome, por exemplo, a seguinte situação adaptada de (SAATY, 91). Suponha que se esteja decidindo entre a compra de um Chevrolet, um Honda e um Porsche sobre os seguintes critérios: custo, estilo e performance; os resultados destas comparações estão listados na tabela A.15.

Tabela A.15. Comparação entre Chevrolet, Honda e Porsche.

Comparações de Custo	Chevrolet	Honda	Porsche	Prioridade
Chevrolet	1	1/9	1	1/11
Honda	9	1	9	9/11
Porsche	1	1/9	1	1/11
				C.R. = 0

Comparações de Custo	Chevrolet	Honda	Porsche	Prioridade
Chevrolet	1	1	1/9	1/11
Honda	1	1	1/9	1/11
Porsche	9	9	1	9/11
				C.R. = 0

Comparações de Custo	Chevrolet	Honda	Porsche	Prioridade
Chevrolet	1	1/9	1/8	1/18
Honda	9	1	9/8	9/18
Porsche	8	8/9	1	8/18
				C.R. = 0

Comparações de critérios	Custo	Estilo	Performance	Prioridade
Custo	1	1	1	1/3
Estilo	1	1	1	1/3
Performance	1	1	1	1/3
				C.R. = 0
Prioridades compostas				
	Custo (1/3)	Estilo (1/3)	Performance (1/3)	Prioridade
Chevrolet	1/11	1/11	1/18	0.08
Honda	9/11	1/11	9/18	0.47
Porsche	1/11	9/11	8/18	0.45

Suponha agora que outro Honda apareça no mercado e seja exatamente igual ao considerado anteriormente, excepto pela cor. Assuma também que o critério cor não seja importante. O problema agora tem 4 alternativas; os resultados desta nova situação estão indicados na tabela A.16.

Tabela A.16. Comparação com dois itens iguais.

Comparaç. de custo	Chevrolet	Honda1	Honda2	Porsche	Priorida.
Chevrolet	1	1/9	1/9	1	1/20
Honda1	9	1	1	9	9/20
Honda2	9	1	1	9	9/20
Porsche	1	1/9	1/9	1	1/20
					C.R. = 0

Comparaç. de estilo	Chevrolet	Honda1	Honda2	Porsche	Priorida.
Chevrolet	1	1	1	1/9	1/12
Honda1	1	1	1	1/9	1/12
Honda2	1	1	1	1/9	1/12
Porsche	9	9	9	1	9/12
					C.R. = 0

Comparaç. de performanc	Chevrolet	Honda1	Honda2	Porsche	Priorida.
Chevrolet	1	1/9	1/9	1/8	1/27
Honda1	9	1	1	9/8	9/27
Honda2	9	1	1	9/8	9/27
Porsche	8	8/9	8/9	1	8/27
					C.R. = 0

Prioridades compostas				
	Custo (1/3)	Estilo (1/3)	Performance (1/3)	Prioridade
Chevrolet	1/20	1/12	1/27	0.06
Honda1	9/20	1/12	9/27	0.29
Honda2	9/20	1/12	9/27	0.29
Porsche	1/20	9/12	8/27	0.37

Como pode ser visto na tabela A.16, o ranqueamento se reverteu entre os Hondas e o Porsche. Porquê isto ocorreu? O problema neste exemplo, e será um problema em qualquer método que use *razões de escala*, é que não se adicionou nada para distinguir os dois Hondas. Assim, esta "alternativa irrelevante"

alterou a ordem global das alternativas. O segundo Honda dividiu a prioridade global entre duas alternativas ao invés de uma única. Portanto, se uma alternativa for a cópia de outra ou aproximadamente igual em relação a algum critério, duas escolhas deveriam ser feitas: ou rever o grupo de critérios, ou excluir a alternativa repetida do grupo de escolha (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91). Isto é, o grupo de alternativas deveria formar uma base na qual todas as outras possam ser mensuradas. Apenas aquelas que são verdadeiramente únicas deveriam ser mantidas; por exemplo, o segundo Honda pode ser apagado, e sua importância relativa aos outros carros, pode ser medida pelo primeiro Honda. Novamente, se a alternativa não é única, não deve ser considerada (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89) (SAATY, 91).

Resumindo, o **AHP** possui uma base simples, porém "elegante". Contudo, deve-se tomar cuidado em não simplificar demais o processo, pois as *razões de escala* podem conduzir a erros de julgamento dos resultados.

Anexo B

Extensões da Metodologia Básica do

Método AHP

Neste anexo, cinco importantes extensões da metodologia básica do **AHP** serão apresentadas resumidamente. Em todos os casos, as referências citadas contém os detalhes para a implementação destes resultados (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89), (SAATY, 91).

Suponha que um grupo de especialistas esteja tentando esclarecer seus julgamentos em um determinado nível de uma hierarquia, quando entram em desacordo quanto ao valor de um julgamento em particular a_{ij} . O que se deve fazer? Como primeira tentativa, deveria-se debater o problema para descobrir o porque da discordância e, se possível, chegar a um consenso. Contudo, isto pode não ser possível. Se os desentendimentos são muito grandes, deve-se "quebrar" o problema, subdividindo-o em hierarquias paralelas, uma para cada facção de opiniões. Desta maneira, pode-se verificar se os resultados finais são muito diferentes entre si. Pessoas podem frequentemente discordar significativamente sobre certos julgamentos, tendo pouco ou nenhum efeito sobre o processo global de análise de um problema (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89). Finalmente, se os desentendimentos são pequenos, pode-se tomar a média dos julgamentos do grupo para aquele determinado item, ganhando-se tempo desta maneira (procedimento não muito aconselhado por (SAATY, 91), pois elimina a obtenção de um consenso geral através de debates). Porém, a média tomada deve ser geométrica e não aritmética (Saaty, 91)! Se a^1_{ij} , a^2_{ij} , ..., a^n_{ij} representam os diferentes julgamentos dos "L" membros do grupo, o julgamento composto é dado por:

$$a_{ij_T} = [a^{1ij} \times a^{2ij} \times \dots \times a^{nij}]^{\frac{1}{L}}$$

onde: a_{ij_T} = média geométrica dos julgamentos dos "L" membros do grupo.

a^{1ij} , a^{2ij} , a^{nij} = julgamentos.

L = N° de membros do grupo.

Suponha que um grupo ou um indivíduo não possa (ou não consiga) definir um número inteiro para um determinado julgamento a_{ij} . Neste caso, (SAATY, 91) desenvolveu técnicas para permitir o julgamento de uma determinada alternativa através de um número não inteiro (isto é, a_{ij} está entre 2 e 3). Assim, uma distribuição para os resultados pode ser derivada. Apesar desta técnica ser bastante útil, muita pesquisa deve ser levada adiante para se obter confiança na mesma, já que depende fundamentalmente de métodos computacionais.

(SAATY,91) descreve um grupo de técnicas para reduzir o número de comparações aos pares que um analista deve realizar durante análises de hierarquias muito extensas. Por exemplo, considere uma hierarquia com 4 níveis e 6 alternativas em cada nível. Neste caso, o analista deve responder $(4 \times 6 \times 5)/2 = 60$ questões!

(GOLDEN, WASIL, HARKER, 89) apresenta uma interessante modificação do **AHP**. O procedimento padrão do **AHP** é a realização de julgamentos com a especificação de pesos. Contudo, alguém poderia desejar reverter este processo na prática, ou seja,

percorrer a hierarquia em sentido inverso (da resposta, já conhecida, para os julgamentos). (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89) fornece uma resposta parcial para isto. Esta técnica será muito útil nas situações em que o **AHP** é utilizado para justificar uma dada escolha em que o analista conhece o resultado final, mas gostaria de obter a matriz de comparação para ilustrar a lógica por trás da decisão.

A extensão final do **AHP** envolve uma certa "relaxação" do axioma 3, de maneira a permitir uma estrutura não hierárquica para a solução de problemas. Esta técnica, conhecida como *system with feedback* (sistema com retorno) ou *supermatrix technique* (técnica da supermatrix), é resumida em (GOLDEN, WASIL, HARKER, 89). Para esta dissertação este método não apresenta importância, já que a seleção de um sistema CAD/CAM é facilmente estruturada numa hierarquia, não havendo casos onde esta não se aplica.

ANEXO C

Critérios considerados 'imprescindíveis'

- Critérios funcionais:

MODELAMENTO:

- Dimensionamento da *feature*.
- Edição de parâmetros.
- Edição de valores de parâmetros
- Edição de restrições.
- Comandos de geração de *features* básicas.
- Extrusão.
- Revolução.
- *Drive*.
- Furos.
- Eixos.
- Cascas (*shell*).
- Cavidades.
- Criação de *features* de detalhamento.
- Arredondamentos com raios fixos.
- Chanfros.
- *Drafts*.
- Escala.
- Criação de entidades auxiliares.
- Planos.
- Eixos.
- Matriciação retangular.

- Matriciação circular.
- Mirror (espelhamento).
- Conversão do modelo sólido em superfícies.
- Conversão do modelo em superfícies para sólido.
- Bi-direcionalidade na associatividade do modelo \Leftrightarrow *drafting*.
- Comandos de retorno (UNDO/REDO).

ASSEMBLY (Montagem):

- Criação e edição de componentes individualmente.
- Criação e edição de componentes com auxílio de arquivos referenciais.
- Reconhecimento de elementos a nível de *features*.
- Posicionamento de componentes.
- Planos.
- Planos.
- Eixos.
- Análise de interferência estática.

DETALHAMENTO:

- Vistas ortogonais.
- Seções.
- Detalhes.
- Edição de dimensões.

- Suporte a utilização de um padrão de detalhamento personalizado.
- Geração associativa (com listas de materiais) de balões de detalhamento.

- **Critérios tecnológicos:**

- Geração associativa de lista de materiais.
- Suporte a saída de informações para banco de dados.
- Suporte à customização.
- Utilidade das informações geradas: usinagem em 2½D e 3D; informações quantitativas de massa, volume e área projetada.
- Suporte à gerenciador para componentes de montagem.

- **Critérios de interfaceamento:**

- DWG, STL e IGES.

- **Critérios de suporte técnico:**

- Disponibilidade de treinamento e suporte local.
- Capacitação e interesse na customização do produto.

ANEXO D

TESTE DE *BENCHMARK*: matrizes de julgamentos

SKETCH	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.3333	0.5	0.3333	0.1035
CAD B	3	1	3	2	0.4393
CAD C	2	0.3333	1	0.3333	0.1464
CAD D	3	0.5	3	1	0.3106
					C.R.= 0.0448

Tabela D.1. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem SKETCH.

EDIÇÃO	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.2	0.2	0.3333	0.0679
CAD B	5	1	1	3	0.3898
CAD C	5	1	1	3	0.3898
CAD D	3	0.3333	0.3333	1	0.1523
					C.R.= 0.0160

Tabela D.2. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem EDIÇÃO.

CRIAÇÃO DE MODELOS BÁSICOS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.2	0.1429	0.2	0.0518
CAD B	5	1	0.3333	1	0.2099
CAD C	7	3	1	3	0.5281
CAD D	5	1	0.3333	1	0.2099
					C.R.= 0.0271

Tabela D.3. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem CRIAÇÃO DE MODELOS BÁSICOS.

GERAÇÃO DE DETALHES	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.3333	0.25	2	0.1344
CAD B	3	1	0.5	3	0.3008
CAD C	4	2	1	3	0.4620
CAD D	0.5	0.3333	0.3333	1	0.1026
					C.R.= 0.0489

Tabela D.4. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem GERAÇÃO DE DETALHES.

GERAÇÃO DE ENTIDADES AUXILIARES	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B		1	1	1	0.25
CAD C			1	1	0.25
CAD D				1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.5. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem GERAÇÃO DE ENTIDADES AUXILIARES.

CÓPIA E MOVIMENTAÇÃO DE FEATURES	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.3333	0.2	0.2	0.0679
CAD B	3	1	0.3333	0.3333	0.1523
CAD C	5	3	1	1	0.3898
CAD D	5	3	1	1	0.3898
					C.R. = 0.0160

Tabela D.6. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem CÓPIA E MOVIMENTAÇÃO DE FEATURES.

SUPERFÍCIES	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.3333	0.1429	0.2	0.0581
CAD B	3	1	0.3333	0.5	0.1557
CAD C	7	3	1	3	0.5323
CAD D	5	2	0.3333	1	0.2537
					C.R.= 0.0269

Tabela D.7. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2ª ordem SUPERFÍCIES.

BI-DIRECIONALIDADE MODELO ↔ DRAFTING	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	2	1	3	0.3511
CAD B	0.5	1	0.5	0.2	0.1368
CAD C	1	2	1	3	0.3511
CAD D	0.3333	5	0.3333	1	0.1609
					C.R.= 0.0572

Tabela D.8. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2ª ordem BI-DIRECIONALIDADE MODELO ↔ DRAFTING.

SUPOORTE À QUEBRA E RETOMADA DE ASSOCIATIVIDADE	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.0357
CAD B	9	1	1	1	0.3214
CAD C	9	1	1	1	0.3214
CAD D	9	1	1	1	0.3214
					C.R. = 0

Tabela D.9. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2ª ordem SUPORTE À QUEBRA E RETOMADA DE ASSOCIATIVIDADE.

OPERAÇÕES EM AMBIENTES HÍBRIDOS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	5	0.3125
CAD B	1	1	1	5	0.3125
CAD C	1	1	1	5	0.3125
CAD D	0.2	0.2	0.2	1	0.3125
					C.R. = 0

Tabela D.10. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2ª ordem OPERAÇÕES EM AMBIENTES HÍBRIDOS.

UNDO/REDO	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	5	1	0.3125
CAD B	1	1	5	1	0.3125
CAD C	0.2	0.2	1	0.2	0.0625
CAD D	1	1	5	1	0.3125
					C.R. = 0

Tabela D.11. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem UNDO/REDO.

PRIORIDADES ENTRE SUB-CRIT. DE 2ª. ORDEM	SKETCH	EDIÇÃO	CRIAÇÃO DE MODELOS BÁSICOS	GERAÇÃO DE DETALHES	ENTIDADES AUXILIARES	CÓPIA E MOVIMENTO DE FEATURES	SUPERFÍCIES	BI-DIREÇÃO MODELO ↔ DRAFTING	SUORTE A QUEBRA E RETOMADA DE ASSOCIATIV.	OPERAÇÃO EM AMBIENTE HÍBRIDO	UNDO REDO	P.R.
SKETCH	1	0.5	0.333	0.333	0.25	0.25	0.333	0.25	1	1	.25	.032
EDIÇÃO	2	1	0.5	0.5	0.333	0.333	0.5	0.333	2	2	0.3	.052
CRIAÇÃO DE MODELOS BÁSICOS	3	2	1	1	0.5	0.5	1	0.5	3	3	0.5	.085
GERAÇÃO DE DETALHES	3	2	1	1	0.5	0.5	1	0.5	3	3	0.5	.085
ENTIDADES AUXILIARES	4	3	2	2	1	1	2	1	4	4	1	.149
CÓPIA E MOVIMENTO DE FEATURES	4	3	2	2	1	1	2	1	4	4	1	.149
SUPERFÍCIES	3	2	1	1	0.5	0.5	1	0.5	3	3	0.5	.085
BI-DIRECIONAL MODELO ↔ DRAFTING	4	3	2	2	1	1	2	1	4	4	1	.149
SUORTE/QUEBR RETOMADA DE ASSOCIATIV.	1	2	0.333	0.333	0.25	0.25	0.333	0.25	1	1	.25	.032
OPERAÇÃO EM AMBIENTE HÍBRIDO	1	2	0.333	0.333	0.25	0.25	0.333	0.25	1	1	.25	.032
UNDO/REDO	4	3	2	2	1	1	2	1	4	4	1	.149
												CR.= .005

Tabela D.12. Matriz de julgamentos para obtenção das prioridades relativas (P.R.) entre os sub-critérios de 2ª Ordem, referentes ao sub-critério de 1ª ordem MODELAMENTO.

EDIÇÃO DE COMPONENTES INDIVIDUALMENTE	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R.= 0

Tabela D.13. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem EDIÇÃO DE COMPONENTES INDIVIDUALMENTE.

EDIÇÃO DE COMPONENTES COM AUXÍLIO DE ARQUIVOS REFERENCIAIS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	5	1	1	0.3125
CAD B	0.2	1	0.2	0.2	0.0625
CAD C	1	5	1	1	0.3125
CAD D	1	5	1	1	0.3125
					C.R.= 0

Tabela D.14. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem EDIÇÃO DE COMPONENTES COM AUXÍLIO DE ARQUIVOS REFERENCIAIS.

RECONHECIMENTO DE ELEMENTOS A NÍVEL DE FEATURES	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.3333	0.3333	3	0.1686
CAD B	3	1	1	3	0.3679
CAD C	3	1	1	3	0.3679
CAD D	0.3333	0.3333	0.3333	1	0.0955
					C.R. = 0.0571

Tabela D.15. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2ª ordem RECONHECIMENTO DE ELEMENTOS A NÍVEL DE FEATURES.

POSICIONAMENTO DE COMPONENTES	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.16. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2ª ordem POSICIONAMENTO DE COMPONENTES.

ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	3	1	7	0.4015
CAD B	0.3333	1	0.3333	3	0.1428
CAD C	1	3	1	7	0.4015
CAD D	0.1429	0.3333	0.1429	1	0.0539
					C.R. = 0.0028

Tabela D.17. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA.

POSICIONAMENTO (DE FEATURES) EM LAYERS OU GRUPOS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.18. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem POSICIONAMENTO (DE FEATURES) EM LAYERS OU GRUPOS.

PRIORIDADES ENTRE SUB-CRIT. DE 2ª ORDEM	EDIÇÃO DE COMPONENTES INDIVIDUALMENTE	EDIÇÃO DE COMPONENTES COM AUXÍLIO DE ARQUIVOS REFERENCIAIS	RECONHECIMENTO DE ELEMENTOS A NÍVEL DE FEATURES	POSICIONAMENTO DE COMPONENTES	ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA	POSICIONAMENTO (DE FEATURES) EM LAYERS OU GRUPOS	P. R.
EDIÇÃO DE COMPONENTES INDIVIDUALMENTE	1	1	1	1	3	3	0.2142
EDIÇÃO DE COMPONENTES COM AUXÍLIO DE ARQUIVOS REFERENCIAIS	1	1	1	1	3	3	0.2142
RECONHECIMENTO DE ELEMENTOS A NÍVEL DE FEATURES	1	1	1	1	3	3	0.2142
POSICIONAMENTO DE COMPONENTES	1	1	1	1	3	3	0.2142
ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	1	1	0.0714
POSICIONAMENTO (DE FEATURES) EM LAYERS OU GRUPOS	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	1	1	0.0714
							C.R.= 0

Tabela D.19. Matriz de julgamentos para obtenção das prioridades relativas (P.R.) entre os sub-critérios 2ª Ordem, referentes ao sub-critério de 1ª ordem ASSEMBLY.

CRIAÇÃO DE VISTAS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	3	0.3000
CAD B	1	1	1	3	0.3000
CAD C	1	1	1	3	0.3000
CAD D	0.3333	0.3333	0.3333	1	0.0999
					C.R. = 0

Tabela D.20. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2ª ordem CRIAÇÃO DE VISTAS.

EDIÇÃO DE DIMENSÕES	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.21. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2ª ordem EDIÇÃO DE DIMENSÕES.

PADRÕES DE DETALHAMENTO SUPORTADOS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.22. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem PADRÕES DE DETALHAMENTO SUPORTADOS.

GERAÇÃO ASSOCIATIVA (COM LISTAS DE MATERIAIS) DE BALÕES DE DETALHAMENTO	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	5	0.3125
CAD B	1	1	1	5	0.3125
CAD C	1	1	1	5	0.3125
CAD D	0.2	0.2	0.2	1	0.0625
					C.R. = 0

Tabela D.24. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 2^a ordem ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA.

PRIORIDADES ENTRE OS SUB-CRIT. DE 2ª ORDEM	criação de VISTAS	EDIÇÃO DE DIMENSÕES	PADRÕES DE DETALHAMENTO SUPORTADOS	GERAÇÃO DE BALÕES DE DETALHAMENTO	P. R.
criação de VISTAS	1	1	5	1	0.3125
EDIÇÃO DE DIMENSÕES	1	1	5	1	0.3125
PADRÕES DE DETALHAMENTO SUPORTADOS	0.2	0.2	1	0.2	0.0625
GERAÇÃO DE BALÕES DE DETALHAMENTO	1	1	5	1	0.3125
					C. R. = 0

Tabela D.25. Matriz de julgamentos para obtenção das prioridades relativas (P.R.) entre os sub-critério de 2ª ordem, referentes ao sub-critério de 1ª ordem DRAFTING.

PRIORIDADES DOS SUB-CRIT. DE 1ª ORDEM	MODELAMENTO	ASSEMBLY	DRAFTING	P.R.
MODELAMENTO	1	3	3	0.1999
ASSEMBLY	0.3333	1	1	0.1999
DRAFTING	0.3333	1	1	0.6000
				C.R. = 0

Tabela D.26. Matriz de julgamentos para obtenção das prioridades (P.R.) entre os sub-critérios de 1ª Ordem, referentes ao critério FUNCIONAIS.

SUPORE À CRIAÇÃO DE LISTAS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.25	0.25	1	0.1
CAD B	4	1	1	4	0.4
CAD C	4	1	1	4	0.4
CAD D	1	0.25	0.25	1	0.1
					C.R. = 0

Tabela D.27. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem SUPORE À CRIAÇÃO DE LISTAS.

SUPOORTE À UTILIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES ACESSADAS VIA BANCO DE DADOS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.2	0.5	2	0.1293
CAD B	5	1	5	5	0.6108
CAD C	2	0.2	1	1	0.1530
CAD D	0.5	0.2	1	1	0.1067
					C.R.= 0.0687

Tabela D.28. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem SUPOORTE À UTILIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES ACESSADAS VIA BANCO DE DADOS.

SUPOORTE À SAÍDA DE INFORMAÇÕES PARA BANCO DE DADOS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.2	0.5	2	0.1293
CAD B	5	1	5	5	0.6108
CAD C	2	0.2	1	1	0.1530
CAD D	0.5	0.2	1	1	0.1067
					C.R.= 0.0687

Tabela D.29. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem SUPOORTE À SAÍDA DE INFORMAÇÕES PARA BANCO DE DADOS.

SUPOORTE À CUSTOMIZAÇÃO	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	5	5	0.4166
CAD B	1	1	5	5	0.4166
CAD C	0.2	0.2	1	1	0.8330
CAD D	0.2	0.2	1	1	0.8330
					C.R. = 0

Tabela D.30. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem SUPOORTE À CUSTOMIZAÇÃO.

MÓDULOS E BIBLIOTECAS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.2	0.1429	0.1429	0.0472
CAD B	5	1	0.3333	0.3333	0.1626
CAD C	7	3	1	1	0.3950
CAD D	7	3	1	1	0.3950
					C.R. = 0.0271

Tabela D.31. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem MÓDULOS E BIBLIOTECAS.

UTILIDADE DAS INFORMAÇÕES GERADAS	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.32. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1^a ordem UTILIDADE DAS INFORMAÇÕES GERADAS.

SUPORTE A GERENCIADOR PARA COMPONENTES DE MONTAGEM	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	0.25	0.25	1	0.1
CAD B	4	1	1	4	0.4
CAD C	4	1	1	4	0.4
CAD D	1	0.25	0.25	1	0.4
					C.R. = 0

Tabela D.33. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1^a ordem SUPORTE A GERENCIADOR PARA COMPONENTES DE MONTAGEM.

INDEPENDÊNCIA DE PLATAFORMA	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	3	1	1	0.3000
CAD B	0.3333	1	0.3333	0.3333	0.0999
CAD C	1	3	1	1	0.3000
CAD D	1	3	1	1	0.3000
					C.R. = 0

Tabela D.34. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem INDEPENDÊNCIA DE PLATAFORMA.

USO DE INTERFACE GRÁFICA	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	4	3	0.3849
CAD B	1	1	4	3	0.3849
CAD C	0.25	0.25	1	0.5	0.0873
CAD D	0.3333	0.3333	2	1	0.1427
					C.R. = 0.0076

Tabela D.35. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem USO DE INTERFACE GRÁFICA.

ARQUIVOS PARA VISUALIZAÇÃO RÁPIDA	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	3	3	0.3750
CAD B	1	1	3	3	0.3750
CAD C	0.3333	0.3333	1	1	0.1249
CAD D	0.3333	0.3333	1	1	0.1249
					C.R. = 0

Tabela D.37. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem ARQUIVOS PARA VISUALIZAÇÃO RÁPIDA.

ARQUIVOS DE TRANSFER.	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.38. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem ARQUIVOS DE TRANSFERÊNCIA.

INTERFACEAMENTO	P.R.
ARQUIVOS PARA VISUALIZAÇÃO RÁPIDA	0.5
ARQUIVOS DE TRANSFERÊNCIA	0.5
	C.R. = 0

Tabela D.39. Matriz de julgamentos para obtenção das P.R. entre os sub-critérios de 1ª ordem, referentes ao critério INTERFACEAMENTO.

SATISFAÇÃO DOS USUÁRIOS REFERENCIAIS COM O PRODUTO	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.40. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem SATISFAÇÃO DOS USUÁRIOS REFERENCIAIS COM O PRODUTO.

DISPONIBILIDADE DE TREINAMENTO E SUPORTE LOCAL	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.41. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem DISPONIBILIDADE DE TREINAMENTO E SUPORTE LOCAL.

CAPACITAÇÃO E INTERESSE NA CUSTOMIZAÇÃO DO PRODUTO	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.42. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem CAPACITAÇÃO E INTERESSE NA CUSTOMIZAÇÃO DO PRODUTO.

ATENDIMENTO HOT-LINE	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.43. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem ATENDIMENTO HOT-LINE.

QUALIDADE DA DOCUMENTAÇÃO OFERECIDA	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.44. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem QUALIDADE DA DOCUMENTAÇÃO OFERECIDA.

COMPROMISSO DO FORNECEDOR COM A CONTINUIDADE DO PRODUTO	CAD A	CAD B	CAD C	CAD D	P.R.
CAD A	1	1	1	1	0.25
CAD B	1	1	1	1	0.25
CAD C	1	1	1	1	0.25
CAD D	1	1	1	1	0.25
					C.R. = 0

Tabela D.45. Matriz de julgamentos para o sub-critério de 1ª ordem COMPROMISSO DO FORNECEDOR COM A CONTINUIDADE DO PRODUTO.

P. R. ENTRE OS SUB-CRIT. DE 1ª ORDEM	SATISFAÇÃO DOS USUÁRIOS REFERENCIAIS COM O PRODUTO	DISPONIBILIDADE DE TREINAMENTO E SUPORTE LOCAL	CAPACITAÇÃO E INTERESSE NA CUSTOMIZAÇÃO DO PRODUTO	ATENDIMENTO HOT-LINE	QUALIDADE DA DOCUMENTAÇÃO OFERECIDA	COMPROMISSO DO FORNECEDOR COM A CONTINUIDADE DO PRODUTO	P. R
SATISFAÇÃO DOS USUÁRIOS REFERENCIAIS COM O PRODUTO	1	0.2	0.2	0.3333	1	0.3333	0.1221
DISPONIBILIDADE DE TREINAMENTO E SUPORTE LOCAL	5	1	1	3	5	3	0.0601
CAPACITAÇÃO E INTERESSE NA CUSTOMIZAÇÃO DO PRODUTO	5	1	1	3	5	3	0.1221
ATENDIMENTO HOT-LINE	3	0.3333	0.3333	1	2	1	0.3210
QUALIDADE DA DOCUMENTAÇÃO OFERECIDA	1	0.2	0.2	0.5	1	0.5	0.3210
COMPROMISSO DO FORNECEDOR COM A CONTINUIDADE DO PRODUTO	3	0.3333	0.3333	1	2	1	0.0524
							C.R. = 0.0083

Tabela D.46. Matriz de julgamentos para obtenção das P.R. entre os sub-critérios de 1ª ordem, referentes ao critério SUPORTE TÉCNICO.

PRIORIDADES RELATIVAS ENTRE OS CRITÉRIOS	FUNCIONAIS	TECNOLÓGICOS	INTERFA-CEAMENTO	SUPORTE TÉCNICO	P.R.
FUNCIONAIS	1	3	4	4	0.5384
TECNOLÓGICOS	0.3333	1	2	2	0.2196
INTERFACEA- MENTO	0.25	0.5	1	1	0.1209
SUPORTE TÉCNICO	0.25	0.5	1	1	0.1209
					C.R. = 0.0076

Tabela D.47. Matriz de julgamentos para obtenção das P.R. entre os CRITÉRIOS.

<u>RESULTADO FINAL</u>	P.R.
CAD A	0.2323
CAD B	0.2862
CAD C	0.2756
CAD D	0.2049
	C.R. = 0.0127

Tabela D.48. Resultados do teste de BENCHMARK.

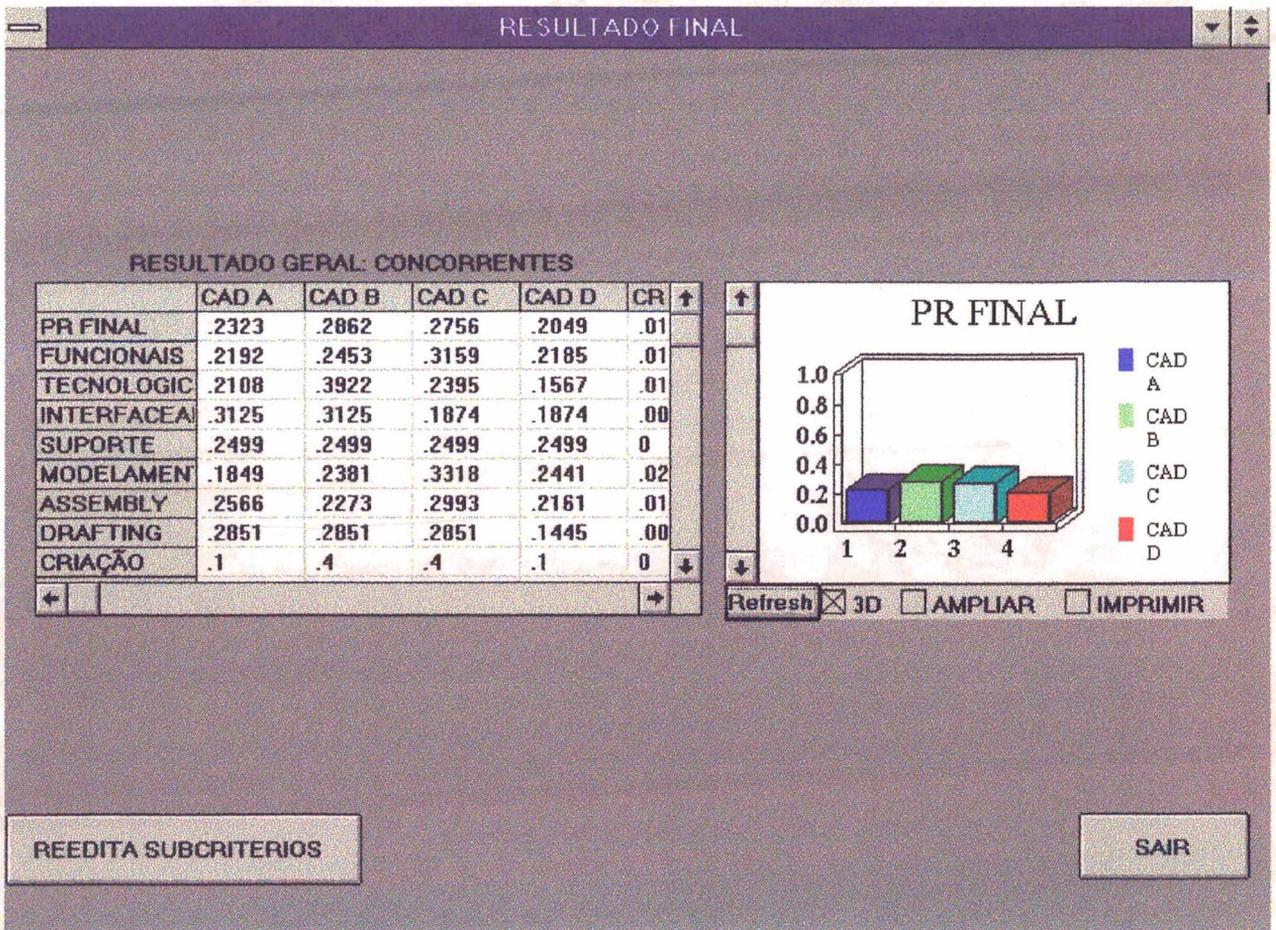


Figura D.1. Resultado final mostrado pelo software.

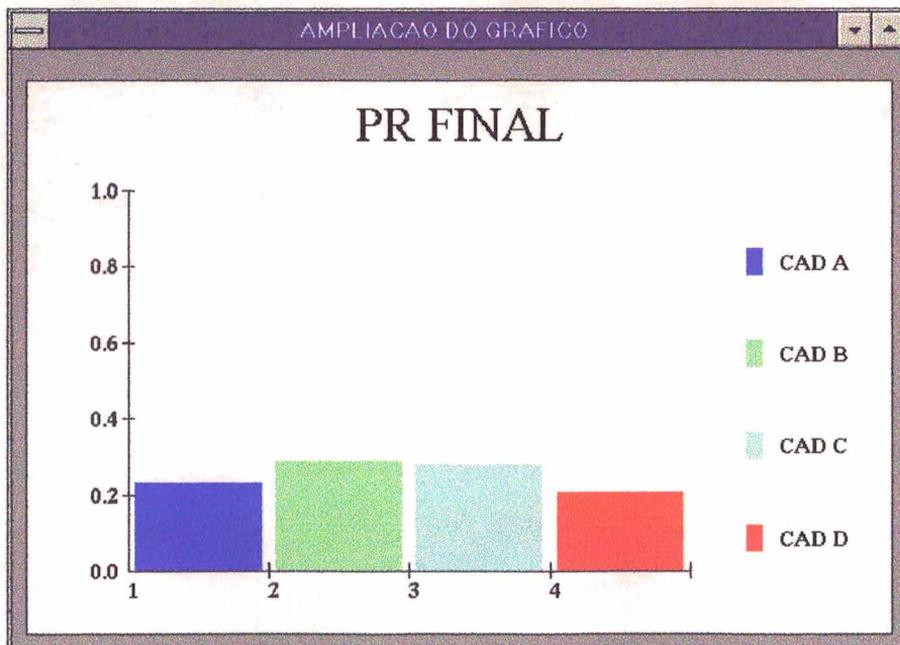


Figura D.2. Ampliação gráfica do resultado final.

ANEXO E

Exemplo de Planilhas para Avaliação de *SOFTWARES*

Critérios					
	atende totalmente	atende bem	atende satisfatoriamente	atende precariamente	não atende
1. Critérios funcionais	-	-	-	-	-
1.1 Modelamento	-	-	-	-	-
1.1.1 <i>Sketch</i>	-	-	-	-	-
1.1.1.1 Linhas auxiliares para construção					
1.1.1.2 Dimensionamento da <i>feature</i>					
1.1.1.3 Criação de Restrições Geométricas					
1.1.1.4 Suporte a utilização de geometrias referenciais para elaboração do <i>sketch</i>					
1.1.2 Edição	-	-	-	-	-
1.1.2.1 Edição de parâmetros					
1.1.2.2 Edição de valores de parâmetros					
1.1.2.3 Edição de <i>sketch</i>					
1.1.2.4 Edição de relações					
1.1.2.5 Edição de restrições					
1.1.3 Criação de features básicas	-	-	-	-	-
1.1.3.1 Extrusão					
1.1.3.2 Revolução					
1.1.3.3 Drive					
1.1.3.4 Furos					
1.1.3.5 Eixos					
1.1.3.6 Cascas (<i>shell</i>)					
1.1.3.7 Cavidades					
1.1.3.8 Definição de linhas de fechamento					
1.1.4 Criação de features de detalhamento	-	-	-	-	-
1.1.4.1 Arredondamentos com raios fixos					
1.1.4.2 Arredondamentos com raios variáveis					
1.1.4.3 Chanfros					
1.1.4.4 Chanfros com dimensões variáveis					
1.1.4.5 Drafts					
1.1.4.6 Escala					
1.1.5 Geração de entidades auxiliares	-	-	-	-	-
1.1.5.1 Planos					
1.1.5.2 Eixos					
1.1.6 Cópia e movimentação de features	-	-	-	-	-
1.1.6.1 Matriciação retangular.					
1.1.6.2 Matriciação circular					
1.1.6.3 Mirror					
1.1.7 Superfícies	-	-	-	-	-
1.1.7.1 Conversão do modelo sólido em superfícies					
1.1.7.2 Conversão do modelo em superfícies para sólido					

Critérios					
	atende totalmente	atende bem	atende satisfatoriamente	atende precariamente	não atende
1.1.7.3 Situação das superfícies convertidas para sólido					
1.1.8 Bi-direcionalidade na associatividade modelo ⇔ drafting					
1.1.9 Operações em ambiente híbrido					
1.1.10 Comandos de retorno (undo/redo)					
1.1.11 Suporte a quebra e retomada de associatividade					
1.2 Assembly	-	-	-	-	-
1.2.1 Criação e edição de componentes individualmente					
1.2.2 Criação e edição de componentes com auxílio de arquivos referenciais.					
1.2.3 Reconhecimento de elementos a nível de features					
1.2.4 Features auxiliares					
1.2.5 Posicionamento de componentes	-	-	-	-	-
1.2.5.1 Planos					
1.2.5.2 Pontos.					
1.2.5.3 Eixos					
1.2.6 Análise de interferência	-	-	-	-	-
1.2.6.1 Interferência estática					
1.2.6.2 Interferência dinâmica					
1.2.7 Posicionamento (de features) em layers ou grupos					
1.3 Drafting	-	-	-	-	-
1.3.1 Criação de vistas	-	-	-	-	-
1.3.1.1 Vistas ortogonais					
1.3.1.2 Vistas isométricas					
1.3.1.3 Seções					
1.3.1.4 Detalhes					
1.3.2 Edição de dimensões					
1.3.3 Padrões de detalhamento suportados	-	-	-	-	-
1.3.3.1 ANSI					
1.3.3.2 ISO					
1.3.3.3 DIN					
1.3.3.4 JIS					
1.3.3.5 Personalizado					
1.3.4 Geração associativa (com lista de materiais) de balões de detalhamento.					
2 Critérios tecnológicos	-	-	-	-	-
2.1 Suporte a geração de listas	-	-	-	-	-
2.2 Geração associativa de lista de materiais					
2.3 Geração associativa de lista de coordenadas					
2.4 Suporte a utilização de informações acessadas via banco de dados					
2.5 Suporte a saída de informações para banco de dados					

Critérios	atende totalmente	atende bem	atende satisfatoriamente	atende precariamente	não atende
2.6 Suporte a customização					
2.7 Módulos e bibliotecas					
2.8 Utilidade das informações geradas	-	-	-	-	-
2.8.1 usinagem em 2½ eixos					
2.8.2 usinagem em 3 eixos					
2.8.3 informações quantitativas de massa					
2.8.4 informações quantitativas de volume					
2.8.5 informações quantitativas de área projetada					
2.9 Suporte a gerenciador para componentes de montagem					
2.10 Independência de plataforma (multi-plataforma)					
2.11 Uso de interface gráfica					
3 Critérios de Interfaceamento	-	-	-	-	-
3.1 Arquivos para visualização rápida	-	-	-	-	-
3.1.1 BMP					
3.1.2 PCX					
3.1.3 TIFF					
3.1.4 GIF					
3.1.5 WMF					
3.1.6 EPS					
3.1.7 DWG					
3.1.8 DXF					
3.2 Arquivos de transferência	-	-	-	-	-
3.2.1 STL					
3.2.2 IGS					
3.2.3 STEP					
3.2.4 SAT (ACIS)					
3.2.5 VDA					
4 Suporte técnico	-	-	-	-	-
4.1 Satisfação dos usuários referenciais com o produto.					
4.2 Disponibilidade de treinamento e suporte local.					
4.3 Capacitação e interesse na customização do produto.					
4.4 Atendimento 'hot-line'					
4.5 Qualidade da documentação oferecida					
4.6 Compromisso do fornecedor com a continuidade do produto					
4.7 Disponibilidade de telas e documentação em português					
4.8 Levantamento pelo fornecedor da situação em campo (suporte pré-venda)					