

**FERNANDO MÁRIO JUNQUEIRA MARTINS**

---

**MÉTODOS FORMAIS  
NA CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO  
DE  
SISTEMAS INTERACTIVOS**

---

*Tese de Doutoramento  
em Ciências da Computação*

**ESCOLA DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO MINHO**

Braga

1995

**MÉTODOS FORMAIS  
NA CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO  
DE  
SISTEMAS INTERACTIVOS**

**Fernando Mário Junqueira Martins**

*(Bolsheiro da Fundação Calouste Gulbenkian)*

Departamento de Informática  
Escola de Engenharia

Universidade do Minho

Braga, 1995

*Dissertação submetida à Universidade do Minho para  
obtenção do grau de Doutor em Ciências da Computação,  
elaborada sob a orientação do Prof. Dr. José Nuno Fonseca  
Oliveira.*

**MÉTODOS FORMAIS  
NA CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO  
DE  
SISTEMAS INTERACTIVOS**

**Fernando Mário Junqueira Martins**

*Palavras Chave*

**Métodos Formais  
Sistemas “Software” Interactivos (SSI)  
Interfaces com o Utilizador (IU)  
Interacção Humano-Computador (IHC)  
Geração Automática de IU  
Concepção de Sistemas Interactivos**

*Keywords*

**Formal Methods  
Interactive Software Systems (ISS)  
User Interfaces (UI)  
Human-Computer Interaction (HCI)  
Automatic Generation of IU  
Interactive Systems Design**

*Esta tese foi impressa com o apoio financeiro da  
**Fundação Calouste Gulbenkian***

## RESUMO

---

Os Sistemas “Software” Interactivos, ou Aplicações Interactivas, vieram trazer à Engenharia de “Software” a redobrada responsabilidade de, para além de ter que proporcionar métodos e ferramentas que auxiliem e facilitem a concepção e o desenvolvimento rigoroso da sua componente computacional, idealmente em obediência aos requisitos funcionais fixados, ter igualmente que garantir uma concepção adequada e sistematizada dos mecanismos de acesso a essa funcionalidade, ou seja, da Interface com o Utilizador.

A falta de abordagens que suportem a concepção e o desenvolvimento inter-ligado das camadas computacional e interactiva, em particular satisfazendo requisitos de *integração*, *rigor* e *sistematização*, constituiu a motivação principal para o trabalho descrito nesta tese.

Apresenta-se um método, de base rigorosa, visando a sistematização da concepção e do desenvolvimento de Sistemas “Software” Interactivos a partir da especificação formal da camada computacional, bem como todos os desenvolvimentos necessários ao suporte do método, desde ferramentas a notações.

Defende-se nesta tese que o desenvolvimento de Sistemas Interactivos se deve basear na especificação rigorosa da camada computacional e que, a partir desta especificação, informação crucial para a concepção da camada interactiva pode ser extraída, funcionando como elemento de ligação das concepções. Deste modo, e ao invés de práticas actuais mais orientadas pela tecnologia, no método proposto é a informação da camada computacional que orienta a realização da camada interactiva e não o contrário.

Um modelo de interacção simbólico, independente da aplicação, e baseado em estruturas representativas da interacção, os *arquétipos*, é apresentado e formalizado, constituindo um dos suportes fundamentais do método. A noção de *arquétipo* possibilita, só por si, interacção dirigida pela estrutura sintáctica, e formaliza a noção de edição dirigida pela sintaxe. A adição de informação semântica, sintetizável a partir da especificação formal da camada computacional, permite a construção de um modelo de interacção designado *modo assistido (sintáctico-semântico)*, que permite disponibilizar ao utilizador não só auxílio sintáctico como também auxílio semântico. Este último, ainda que impondo exigências particulares sobre as ferramentas de descrição e os mecanismos de implementação, possui a vantagem de diminuir a distância articulatória e cognitiva entre o utilizador e o sistema interactivo, bem como a de possibilitar que se possa concentrar o tratamento de erros na camada interactiva, criando interfaces com o utilizador “profilácticas” e não “terapêuticas”. Em resultado da separação de

tarefas proposta pelo método, passamos a ter camadas computacionais totais, ou seja, imunes a erros de utilização e, em consequência, melhor separação no processo de concepção e mais facilidade de alteração ou manutenção subsequente.

Controladores de diálogos baseados no modelo proposto são especificados usando uma notação a que se deu o nome de *Guiões de Interação*. A notação possibilita uma descrição composicional de diálogos sequenciais e concorrentes.

Apresenta-se ainda o sistema GAMA para geração automática de IU em *modo assistido*, uma ferramenta que promove o desenvolvimento integrado com base no método proposto, utilizando os formalismos de especificação e de prototipagem específicos de cada camada.

Finalmente, o estudo da possibilidade de se incorporar no sistema GAMA algum grau de adaptatividade levou ao desenvolvimento de um pequeno sistema de geração automática de interfaces adaptativas, o GAIA, cujas características e arquitectura são igualmente apresentadas.

## ABSTRACT

---

Interactive Software Systems, or Interactive Applications, have brought to Software Engineering an additional aim. Not only should technology be able to provide methods and tools for a rigorous design and development of the functional layer, ideally satisfying a set of formally stated requirements, but also to devise an adequate, preferably integrated and systematic method, for User Interface software design and development.

The lack of rigorous methods allowing and supporting the integrated design and development of the interactive and the computational layers of Interactive Software Systems has been the main motivation for the work presented in this thesis.

A formal method for integrated and systematic design and development of Interactive Systems, starting from the formal specification of the computational layer is proposed. A set of auxiliary interaction models and tools are provided for its support. A model-based specification of the functional layer conveys the information needed not only for the correct integration of the two designs, but also for fast prototyping the User Interface of the application.

A generic interaction model, based on symbolic interaction structures called *archetypes*, is formally presented. Archetypes are symbolic representations of all the information needed to support structure-oriented interaction, the interaction style of the model.

By adding semantic information to this model, synthesized from the formal specification of the functional layer, the interaction model is enriched and becomes the so called *assisted mode* model, the interaction model which is the basis of the proposed method. This model provides the user with either syntactic as well as semantic assistance during the interaction. The semantic assistance, albeit demanding on the development tools and implementation mechanisms, not only highly shortens the articulatory and cognitive distances at dialogue level, but also allows for error-filtering instead of the usual error-handling at the user interface level. This provides for “prophylactic” instead of “therapeutic” user interfaces. As a result, the functional layer may now be regarded as a set of total functions, with advantages with respect to a clear separation of concerns along the design and maintenance phases.

Dialogue controllers based on the proposed model are specified using a formalism called *Interaction Scripts*. This formalism is compositional and is powerful enough to express both sequential and concurrent dialogues.

The architecture of a prototype system (GAMA-X) for the automatic generation of Assisted User Interfaces based on the proposed method is also presented. The GAMA-X system accepts UI behavioural specifications, written using *Interaction Scripts* and also UI presentational descriptions, and automatically generates a prototype of the Assisted UI able to communicate with the application prototype.

The prospect of embedding in the GAMA system a mechanism for providing adaptive dialogues was also explored. The architecture of an adaptive user interface generator prototype system, called GAIA, is also presented.

## DEDICATÓRIA

---

Uma dedicatória é uma inscrição ou conjunto de palavras com que se dedica, ou oferece, a alguém uma produção literária, artística, científica ou outra. Dedicar significa, por outro lado, oferecer por dedicação, por afecto extremo, por adesão ou por consagração. Logo, a este nível e para simplificação, dedicar unifica com oferecer.

Temos pois o problema de determinar com rigor a quem dedicar esta tese de doutoramento, sendo que quem recebe a dedicatória (e, de modo simbólico, a própria obra) deve portanto ser dela merecedor, por dedicação, por afecto extremo (supostamente do autor), por adesão ou agrado (admitamos que pela obra), ou ainda por consagração. Axiomático é o facto de que só deverá merecer a dedicatória quem for meritório da obra.

Sendo a consagração da obra uma incerteza no momento da sua própria escrita, o que, a acontecer, só o será “a posteriori” e da responsabilidade dos respectivos avaliadores, e não sendo ainda correcto dedicar a obra a quem a vai avaliar, esta possibilidade é anulada. A possibilidade de dedicação por agrado tem alguns candidatos à partida. Em primeiro lugar o júri e avaliador da mesma. Porém, e pelos motivos anteriores, não poderá ser considerado. De seguida, eu próprio, já que tudo fiz para que a mesma, antes de mais, estivesse em conformidade com os meus padrões pessoais e, portanto, me agradasse. Porém uma dedicatória não deve ser reflexiva. Assim, a dedicação por agrado passa a ter um único candidato, o meu supervisor. Porém, devendo este fazer parte do júri deixa igualmente de poder ser considerado.

Resta pois a dedicatória por afecto extremo ao autor e à obra, dilema simples de solucionar por ser de solução única. Esta tese, que é a síntese de um trabalho científico pessoal de alguns anos visando a obtenção do grau de doutor, é dedicada a três *agentes interactivos* muito especiais que, sem dúvida, muito afecto me têm dado: à Luisa, minha mulher, e à Rita e ao Pedro, meus filhos.

Ao terminar a minha dedicatória, constato que inexoravelmente acabei por cair na dedicatória padrão, ou seja, na dedicatória da tese à família mais próxima. Porém, e para meu próprio gozamento enquanto defensor de tal tipo de procedimento em áreas mais científicas, um elemento fundamental foi nesta dedicatória introduzido: a justificação !



## AGRADECIMENTOS

---

Ao completar-se um trabalho de doutoramento, principalmente se realizado no enquadramento de uma razoavelmente longa carreira académica, e talvez porque, em tal enquadramento, o mesmo esteja associado à noção de etapa ou estágio, surge inevitavelmente a necessidade de recordar o trajecto académico e científico percorrido, e deixar registados, ainda que correndo o risco de omissão, agradecimentos àqueles que mais relevantes *interacções* connosco tiveram sob as mais diversas formas e nos mais diversos contextos.

Em primeiro lugar, um agradecimento afectivo muito especial à Luísa, mi-nha mulher, e aos meus filhos. À Luísa, pelo constante apoio e estímulo de-monstrados ao longo da minha carreira académica, bem como pelos muitos sa- crifícios pessoais feitos em prol da família, em particular durante as muitas e, por vezes, longas ausências, e, ainda, durante a fase final do trabalho de escrita da tese de doutoramento.

Aos meus filhos, Rita e Pedro, agradeço o permanente interesse e compreen-são pelo meu trabalho, e por terem muitas vezes, conscientemente, abdicado de horas em conjunto para que mais rapidamente eu pudesse terminar o "grande livro" que tinha que escrever, e que, tão ansiosamente, pretendiam "ler".

De seguida, agradeço aos meus pais, por tudo, e à minha irmã Sara e ao meu irmão Pedro, por muito.

Cientificamente, os meus maiores agradecimentos vão, em primeiro lugar, para o meu orientador e amigo, o Prof. José Nuno Oliveira, com quem venho trabalhando em diversos projectos desde 1985, pela amizade e confiança, bem como, e porque não aproveitar para o afirmar formalmente, pelas suas excepco-nais capacidades científicas e pedagógicas. As Ciências da Computação têm si-do cerceadas do "génio" e da intuição do Prof. José Nuno Oliveira, porque a ac-tual orientação do que deve ser uma carreira universitária não pressupõe meca-nismos de racionalização e optimização, e as universidades públicas não pare-cem conhecer os conceitos de "vantagem competitiva" e "optimização de recur-sos". Em resultado, pessoas com o potencial intelectual e científico do Prof. José Nuno Oliveira, que muitos e importantes contributos poderiam dar à ciência, são quase impossibilitadas de o fazer, ou têm de o fazer em sobrecarga, por se verem obrigadas a realizar improdutivas e desadequadas tarefas administrativas e de gestão.

Em segundo lugar, ao meu inestimável amigo, colega de curso e colega de Departamento, Prof. Francisco Moura, grande responsável pela minha opção por uma carreira académica e científica, agradeço os muitos exemplos de

extrema competência e perfeccionismo, bem como o eterno apoio e amizade, aqui reafirmando a minha admiração pelo seu trabalho e conhecimentos.

Ao Prof. David Duce, do Rutherford Appleton Laboratory (RAL), Oxford, Inglaterra, devo agradecer o ter-me proporcionado a estadia de um ano no Informatics Department do RAL, como investigador convidado sob a sua supervisão, durante 1987, bem como pelo entusiasmo com que, desde o seu esboço, encaidou o modelo dos *arquétipos*, parte importante desta tese.

Aos Drs. José Carlos Teixeira, Mário Rui Gomes, Fernando Nunes Ferreira, Próspero dos Santos e ao Eng<sup>o</sup> João Cunha, agradeço os convites para integrar as Comissões de Programa de diversos Encontros Portugueses de Computação Gráfica, e para Presidente da Comissão Organizadora do 6<sup>o</sup> EPCG.

Ao Dr. Graça Martins agradeço os convites que me permitiram em 1984, 1985 e 1987 leccionar no Mestrado em Informática da Universidade de Luanda integrado no projecto inter-universitário designado por EDDI.

Ao Dr. José Carlos Teixeira, da Universidade de Coimbra, os meus adicionais agradecimentos pelos convites para levar alguns *Objectos* até aos quarta-nistas da Licenciatura em Matemática da Universidade de Coimbra.

Ao Prof. Silvio Meira, da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, agradeço o convite para leccionar *Métodos Formais de Especificação* no Mestrado em Ciências da Computação da UFP em 1988, e ao Prof. Rafael Lins, da mesma Universidade, a amizade então criada, bem como o esforço de esboço de projectos científicos em áreas comuns, tantas vezes delineados e nunca, por razões transcendentais, realizados.

A nível interno do Departamento de Informática da Universidade do Minho, agradecimentos vão em primeiro lugar para os alunos que comigo trabalharam na área das Interfaces Humano-Computador. Aos mestrandos de quem fui supervisor, nomeadamente o António Pina, o José Creissac, o David Lamas, o Paulo Viegas e o António Nestor, agradeço as valiosas contribuições que tanto ajudaram a clarificar conceitos, e a provar a sua viabilidade tecnológica. Muito particularmente, agradeço ao José Creissac o seu profundo envolvimento no sistema GAMA. Ao Jorge Gustavo devo agradecer o apoio dado no desenvolvimento das ferramentas baseadas no Cornell Synthesizer Generator.

Agradeço igualmente aos muitos alunos finalistas que comigo trabalharam no âmbito do projecto JNICT-INTERLAB entre 1990 e 1994, e também no projecto EUREKA-SOUR entre 1992 e 1995, por muitas e valiosas ferramentas desenvolvidas, bem como o teste ou aplicação, em tais projectos, de algumas das ideias apresentadas nesta tese. Destes devo destacar, pelo seu contributo, a Verónica, o Filipe e o Rufino. Ao Dr. Luís Neves, e no âmbito do projecto SOUR, um agradecimento muito particular e uma grande amizade e admiração.

À Leonor, ao Pedro, ao Zé João e ao Fernando Jorge agradeço mais de uma década de amizade e de colaborações pedagógicas e científicas, sem esquecer o nosso saudoso “Clube dos Poetas Vivos”.

Ao Prof. Altamiro Machado agradeço as provas de confiança e consideração, traduzidas em convites à realização de diversas actividades pedagógicas, desde a leccionação em mestrados da sua responsabilidade, à realização de palestras e conferências no âmbito da introdução da Informática na Educação. Em particular, agradeço o convite para um trabalho conjunto que permitiu, com sucesso, a criação, instalação e leccionação inicial do Curso Técnico-Profissional de Informática no distrito de Braga, na Escola Secundária de Alberto Sampaio, de cujos resultados muito me orgulho.

Ao Prof. Sérgio Machado dos Santos, responsável pela minha contratação para a U.M., de quem fui colaborador nos primórdios da Informática nos Serviços de Computação da U.M., e assistente em diversas cadeiras nos primeiros anos da minha carreira académica, agradeço a confiança, e também os exemplos de pedagogia. Fui assistente do Prof. Machado dos Santos em cadeiras dos 1º e 4º anos da “antiga” LESI, e retenho ainda a imagem do professor catedrático capaz de adequar o seu discurso aos objectivos pedagógicos e nível de conhecimentos dos alunos. Enquanto docente, esta é uma das componentes de qualidade pedagógica que tenho procurado seguir.

Ao Prof. José Manuel Valença, de quem fui igualmente assistente em várias cadeiras de diversos cursos, e também colaborador na instalação e gestão inicial do Centro de Informática da Universidade do Minho (CIUM), deixo registada a minha admiração pela sua extraordinária competência científica, bem como pela dedicação e fidelidade exemplares à Universidade do Minho.

Agradeço ainda aos muitos que comigo têm colaborado, com empenho, nas labutas pedagógicas, quer como meus assistentes quer como meus monitores.

Ao Engº Mário Necho em especial, e aos técnicos do CIUM em geral, agradeço a permanente disponibilidade e, ultimamente, o apoio logístico dado nas sucessivas impressões parciais e totais da tese.

Institucionalmente, agradeço à Fundação Calouste Gulbenkian os diversos apoios que me foram sendo concedidos para participação em conferências, a Bolsa para Doutoramento, o apoio logístico em Inglaterra e o apoio à edição desta tese. Um exemplo inestimável e incomparável !

À JNICT tenho a agradecer o financiamento do projecto PMCT 164/90, *Laboratório de Interação*, INTERLAB, do qual fui proponente e responsável científico, realizado entre Janeiro de 1990 e Março de 1994, no âmbito do qual quatro mestrados foram concluídos, vários estágios de licenciatura realizados e até algum do trabalho nesta tese apresentado desenvolvido.

A todos os outros muitos amigos dentro e fora do Departamento de Informá-tica da U.M., e vocês sabem a quem me refiro, um grande abraço.

Finalmente, a todos os meus alunos, das várias gerações, devo agradecer a inequívoca estima e consideração.

# ÍNDICE

---

RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	IV
DEDICATÓRIA.....	VI
AGRADECIMENTOS.....	VII
ÍNDICE.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XVI
LISTA DE TABELAS.....	XVIII
ESTILOS NOTACIONAIS.....	XIX

## **CAPÍTULO 1 : INTRODUÇÃO. .... 1**

Prefácio.....	2
1.1.- Enquadramento.....	5
Multidisciplinaridade.....	7
Separação de Componentes.....	8
Integração, Contexto e Metodologia.....	10
1.2.- Objectivos e Contributos.....	11
Contributos.....	13
1.3.- Estrutura e Apresentação da Tese.....	14

## **PARTE I : FUNDAMENTOS.**

## **CAPÍTULO 2 : INTERACÇÃO HUMANO-COMPUTADOR. .... 18**

Prefácio.....	20
2.1.- Introdução.....	21
2.2.- IHC: Concepções como Disciplina.....	23
2.2.1.- IHC como Disciplina Heurística.....	24
2.2.2.- IHC como Disciplina Científica.....	25
2.2.3.- IHC como Disciplina de Engenharia.....	26
2.3.- Sistemas Computacionais Interactivos.....	29
2.4.- Referenciais de Interação.....	30
2.4.1.- Ciclo Execução/Avaliação de Norman.....	31
2.4.2.- Referencial de Barnard e Harrison.....	33
2.4.3.- Modelos Abstractos: PIE e REDPIE.....	35
2.4.4.- O Referencial de Abowd.....	36
2.5.- Modelos de Interação.....	39
2.5.1.- Classificação.....	39

2.5.2.- Modelos do Utilizador.....	42
Modelos Cognitivos.....	42
Modelos de Tarefa.....	44
2.5.3.- Modelos da Aplicação para o Utilizador.....	46
Metáforas.....	46
Modelos Compostos.....	47
2.5.4.- Modelos de Arquitectura “Software”.....	48
Especificação da IU.....	48
SGIU e “Toolkits”.....	48
Modelos ou Arquitecturas de Implementação.....	48
2.5.5.- Modelação do Diálogo.....	55
2.6.- Tecnologia de Interacção.....	57
2.6.1.- Evolução Geral.....	57
2.6.2.- Tecnologia “Software” actual.....	58
“Toolkits”.....	59
“Frameworks” e GIU.....	61
SGIU (UIMS).....	62
2.9.- Sumário.....	63

## **CAPÍTULO 3 : MÉTODOS FORMAIS EM ENGENHARIA DA PROGRAMAÇÃO..... 65**

3.1.- Introdução.....	66
3.2.- Correção de Programas.....	69
3.2.1.- Semântica das Linguagens.....	70
Semântica Operacional.....	72
Semântica Translacional.....	73
Gramáticas de Atributos.....	74
Semântica Denotacional.....	75
Semântica Axiomática.....	76
3.2.2.- Verificação de Programas: O código.....	78
3.2.3.- Tipos Abstractos de Dados.....	82
3.3.- Métodos Formais.....	84
3.3.1. - Métodos Formais: Motivação.....	84
3.4.- Métodos Formais de Especificação.....	86
3.4.1.- Métodos Algébricos.....	86
3.4.2.- Métodos baseados em Modelos.....	91
3.4.3.- Abordagens Orientadas à Concorrência.....	96
Redes de Petri.....	98
Álgebras de Processos.....	101
3.5.- Método de Especificação CAMILA/SETS.....	102
3.6.- Sumário.....	105

**CAPÍTULO 4 : MÉTODOS FORMAIS EM IHC. .... 106**

4.1.- Introdução.....	107
4.2.- Âmbito e Objectivos.....	108
4.3.- Aplicações dos Métodos Formais em IHC.....	110
4.4.- Especificação Formal de Diálogos.....	111
4.4.1.- Definição Informal de Diálogo.....	111
4.4.2.- Formalização do Diálogo.....	113
Diagramas de Transição de Estados.....	113
Gramáticas.....	116
Modelos de Eventos.....	118
Outros Modelos e Notações.....	119
4.5.- Prototipagem Rápida em IHC.....	122
4.6.- Sumário.....	124

**PARTE II : CONTRIBUTOS.**

**CAPÍTULO 5 : ARQUÉTIPOS..... 128**

Prefácio da PARTE II.....	129
5.1.- Introdução.....	130
5.2.- Arquétipos: Origem.....	130
5.3.- Arquétipos: Apresentação.....	134
5.3.1.- Gramáticas versus Álgebras.....	138
5.3.2.- Arquétipos: Especificação.....	143
5.3.3.- Um Sistema de Arquétipos.....	146
5.3.4.- Arquétipos: Construção.....	150
5.3.5.- Arquétipos: Navegação.....	153
5.3.6.- Arquétipos: Instanciação.....	156
5.3.7.- Arquétipos: Visualização.....	158
5.4.- Sumário e Conclusões.....	160

**CAPÍTULO 6 : MODO ASSISTIDO E GUIÕES DE INTERACÇÃO. .... 163**

6.1.- O Modo Assistido Sintáctico-Semântico (MASS).....	164
6.1.1. - Introdução.....	164
6.1.2.- Características.....	164
6.1.3.- Aspectos de Implementação.....	171
6.2.- Guiões de Interacção.....	174
6.2.1. - Introdução.....	174
6.2.2.- Propriedades.....	176
6.2.3.- Sintaxe e Semântica Estática.....	178
Declarações Estáticas.....	180
Comportamento.....	182
6.2.4. - Semântica Operacional: Redes de Petri.....	187

Redes Etiquetadas-Guardadas-Interruptíveis.....	188
6.2.5.- Semântica dos Guiões.....	191
Expressão Atômica.....	192
Sequência.....	193
Paralelismo Síncrono.....	194
Paralelismo Assíncrono.....	195
Alternativa.....	195
Repetição.....	196
Interrupção.....	197
Eventos Assíncronos.....	198
6.2.6. - Exemplos.....	198
6.2.7. - Edição de GI e geração das Redes de Petri.....	216
6.3.- Exemplo de Aplicação do MASS.....	216
6.4.- Sumário.....	219
<b>CAPÍTULO 7 : UM MÉTODO RIGOROSO DE DESENVOLVIMENTO DE</b>	
<b>        SISTEMAS INTERACTIVOS.....</b>	<b>220</b>
7.1.- Introdução.....	221
7.2.- O Método Proposto.....	222
7.3.- Síntese do Método.....	250
7.4.- Sumário.....	254
<b>CAPÍTULO 8 : PROTOTIPAGEM E GERAÇÃO AUTOMÁTICA:</b>	
<b>        O SISTEMA GAMA-X.....</b>	<b>255</b>
8.1.- Introdução.....	256
8.2.- GAMA-X: Arquitectura Funcional.....	257
8.3.- O Módulo MIU.....	258
8.3.1.- Controlador do Diálogo.....	259
8.3.2.- Modelo da Apresentação.....	264
8.3.3.- Modelo da Aplicação.....	267
8.3.4.- Modelo de Dados do MIU.....	268
8.4.- O Módulo MGI.....	269
8.5.- Geração Semi-Automática com GAMA-X: Exemplo.....	273
8.6.- Comparação com alguns SGIU.....	275
MIKE.....	276
UIDE.....	276
ITS.....	277
GIGA.....	278
CHIRON.....	279
8.7.- Sumário.....	279



<b>CAPÍTULO 9 : A COMPONENTE ADAPTATIVA.....</b>	<b>281</b>
9.1.- Introdução.....	282
9.2.- Interfaces Adaptativas.....	283
9.2.1.- "Inteligência" e Interfaces. ....	283
9.2.2.- Interfaces Adaptadas, Adaptáveis e Adaptativas.....	284
Adaptatividade.....	285
9.3.- GAIA: Gerador de Interfaces Adaptativas.....	285
Características.....	285
Comportamento do Utilizador.....	286
Adaptação ao Utilizador.....	286
Arquitectura do Sistema .....	287
O Módulo MIA .....	288
O Módulo MRX.....	289
Interface e Linguagem de Especificação .....	290
Linguagem de Especificação .....	290
Comunicação entre Módulos.....	292
Protocolo.....	293
Gestão da IU .....	293
Mecanismo de Análise .....	293
Adaptação .....	295
9.4.- Conclusões.....	296
<b>CAPÍTULO 10 : CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>298</b>
10.1.- Sinopse e Contributos da Tese.....	299
10.2 - Conclusões e Trabalho Futuro. ....	303
<b>Referências. ....</b>	<b>305</b>
<b>APÊNDICES</b>	
<b>APÊNDICE A : A LINGUAGEM CAMILA. ....</b>	<b>327</b>
A1.- Modelos Matemáticos.....	328
A2.- Identificação do Estado.....	329
A3.- Invariantes.....	330
A4.- Funções.....	330
A5.- Modelos com Estado (Procedimentais) .....	331
A6.- Notação Geral.....	334
A7.- Notação Modular .....	337
<b>APÊNDICE B : ESPECIFICAÇÃO ALGÉBRICA: DEFINIÇÕES E NOTAÇÃO. ....</b>	<b>341</b>
<b>APÊNDICE C : ESPECIFICAÇÃO DO AGSYS. ....</b>	<b>348</b>

C.1.- AGSYS: Apresentação. ....	349
C.2.- AGSYS: Especificação Formal. ....	349

## LISTA DE FIGURAS

---

Fig. 1.1 - Esquema do Problema. ....	12
Fig. 2.1 - IHC como disciplina de Engenharia. ....	27
Fig. 2.2 - Ciclo Execução-Avaliação de Norman. ....	32
Fig. 2.3 - Ciclo de Norman - II. ....	33
Fig. 2.4 - Modelo de Barnard e Harrison. ....	34
Fig. 2.5 - O modelo REDPIE. ....	35
Fig. 2.6 - Referencial de Interacção de Abowd. ....	37
Fig. 2.7 - Modelo de Abowd - II. ....	39
Fig. 2.8 - Modelo de Seeheim. ....	49
Fig. 2.9 - Modelo Arch-Slinky. ....	51
Fig. 2.10 - Modelo MVC. ....	53
Fig. 2.11 - Modelo PAC. ....	54
Fig. 3.1 - Semântica Operacional. ....	73
Fig. 3.2 - Semântica Translacional. ....	74
Fig. 3.3 - Semântica Denotacional. ....	75
Fig. 3.4 - Taxonomia da Verificação de Programas. ....	79
Fig. 3.5 - O Método Rigoroso. ....	85
Fig. 3.6 - O Método VDM. ....	94
Fig. 3.7 - Esquemas básicos de uma Rede de Petri. ....	99
Fig. 3.8 - Causalidade e Conflito em Redes de Petri. ....	99
Fig. 3.9 - O Método de Desenvolvimento CAMILA/SETS. ....	102
Fig. 3.10 - Ligação Protótipo-Interface. ....	103
Fig. 3.11 - Implementação Gradual. ....	104
Fig. 4.1 - Rigor e Qualidade em IHC. ....	107
Fig. 4.2 - Processo de Concepção da IU. ....	123
Fig. 4.3 - Aplicação de Métodos Formais em IHC: Objectivos. ....	125
Fig. 5.1 - Arquitectura do AGSYS. ....	131
Fig. 5.2 - Arquétipo como Classe. ....	134
Fig. 5.3 - Exemplos de peças a construir. ....	136
Fig. 5.4 - Arquétipo como Árvore (1). ....	137
Fig. 5.5 - Arquétipo como Árvore (2). ....	138
Fig. 5.6 - Diagrama de "aranha": Exemplo. ....	140
Fig. 5.7 - Instanciação de Arquétipo. ....	144
Fig. 5.8 - Formas resultantes. ....	144
Fig. 5.9 - Arquétipo como Operador Derivado. ....	145
Fig. 5.10 - Esquema de Navegação. ....	149
Fig. 5.11 - Operadores Derivados. ....	156
Fig. 6.1 - Modo Assistido: Recuperação Tecnológica. ....	171

Fig. 6.2 - Rede para um Guião Genérico. ....	191
Fig. 6.3 - Rede para EvSeQ GI(v). ....	193
Fig. 6.4 - Rede para a Sequenciação. ....	194
Fig. 6.5 - Rede para Paralelismo Síncrono. ....	194
Fig. 6.6 - Rede para o Paralelismo Assíncrono. . ....	195
Fig. 6.7 - Rede para Alternativa.....	196
Fig. 6.8 - Rede para a Repetição. . ....	196
Fig. 6.9 - Rede com Interrupções. ....	197
Fig. 6.10 - Rede com Ok e Cancel. ....	198
Fig. 6.11 - Conceptualização Assistida.....	217
Fig. 6.12 - Exemplo de "Query" Assistido.....	218
Fig. 7.1 - Dos Requisitos à Especificação e Protótipo.....	224
Fig. 7.2 - Especificação da IU .....	237
Fig. 7.3 - Caixa de Diálogo numa Aplicação com MASS.....	247
Fig. 7.4 - Ligação entre Protótipos .....	248
Fig. 7.5 - Implementação da IU e da CC. . ....	249
Fig. 8.1 - O Sistema GAMA-X.....	258
Fig. 8.2 - Ficheiros para a geração do CD.....	264
Fig. 8.3 - Modelo Distribuído de Dados em SGIU .....	269
Fig. 8.4 - O módulo MGI.....	271
Fig. 8.5 - Editor Estruturado de Guiões .....	272
Fig. 8.6 - Geração Automática das Redes de Petri .....	273
Fig. 8.7 - ATM: Menu Principal .....	274
Fig. 8.8 - Sensibilidade ao Contexto na selecção de um valor.....	275
Fig. 9.1 - Arquitectura do GAIA .....	288
Fig. 9.2 - O módulo MIA .....	289
Fig. 9.3 - Grafo inicial do utilizador .....	294
Fig. 9.4 - Evolução do Grafo de Interação .....	294
Fig. 10.1 - Filosofia de Desenvolvimento de Sistemas.....	299

## **LISTA DE TABELAS**

---

Tab. 2.1 - Modelos em IHC .....	40
Tab. 2.2 - Tipos dos Modelos .....	41
Tab. 2.3 - Propósitos dos Modelos Cognitivos.....	43
Tab. 2.4 - Características do Utilizador.....	43
Tab. 2.5 - Modelos do Diálogo .....	57
Tab. 3.1 - Semântica das Linguagens .....	72
Tab. 3.2 - Validação de Programas .....	82

## ESTILOS NOTACIONAIS

---

No sentido de esclarecer o critério usado para associar determinada semântica ao estilo com que certas palavras surgem no texto, apresenta-se aqui um pequeno índice dos estilos notacionais empregues e sua interpretação.

? Expressões de carácter mais coloquial são apresentadas entre aspas, anunciando algum grau de informalidade visando uma melhor compreensão, cf. em "esqueleto" de código, módulo "inteligente", etc.;

? Termos técnicos usados na sua forma original em língua estrangeira, são apresentados entre comas, cf. "stack", "buffer", "toolkit", etc.;

? Termos técnicos traduzidos, conceitos relevantes e identificadores são apresentados em itálico, cf. *arquétipos*, *diálogo*, *Backus-Naur Form*, etc.;

---

### **Citação Técnica**

*"The human-computer interface is increasingly the major determinant of the success or failure of computer systems. It is time that we provide foundations of engineering human-computer interaction (HCI) as explicit and well-founded as those for hardware and software engineering"*

Gaines e Shaw [Gaines e Shaw 86]

---

### **Citação Científico-Filosófica**

*"Vale mais acender uma vela que maldizer a escuridão"*

Provérbio Chinês

---