Prof. Antonio L. Furtado: Pioneiro da Pesquisa Acadêmica na Área de Banco de Dados

Carlos J. P. de Lucena
Marco A. Casanova
Paulo A. Veloso

RESUMO

O presente trabalho é constituído por três partes elaboradas independentemente pelos três autores, colegas e colaboradores do Prof. Antonio L. Furtado há muitos anos. A primeira parte apresenta uma visão geral de sua carreira científica até o momento. A segunda e a terceira partes são depoimentos sobre diferentes aspectos da produção científica do homenageado. Foi inevitável e até considerado desejável as eventuais múltiplas referências à uma mesma obra. A análise das contribuições acadêmicas foi sempre entremeada por depoimentos sobre a figura humana do autor.

A monografia foi elaborada como parte das comemorações do sexagenário do Prof. Antonio L. Furtado e contém, como anexos, uma bibliografia com os trabalhos do autor e uma lista de seus ex-alunos e respectivos temas de tese.

ABSTRACT

This work consists of three parts, independently written by the three authors, all of them long-time colleagues and collaborators of Prof. Antonio L. Furtado. The first part presents an overview of his scientific career. The second and third parts address distinct aspects of his scientific production. Multiple references to a single work were considered unavoidable, and even desirable. The analysis of the academic contributions is intertwined with personal views of the author as colleague and collaborator.

This monograph was prepared as part of the celebrations of the sixtieth anniversary of Prof. Antonio L. Furtado, and is complemented by appendices, containing a bibliography with the author's works and a list of his former advisees with respective dissertation topics.

O Pioneirismo Acadêmico de Antonio L. Furtado: Ajudando a Criar a Ciência da Computação

Carlos J. P. de Lucena

Departamento de Informática
PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente 225
22453-900 Rio de Janeiro RJ

1. Introdução

Lembro-me muito bem quando o Furtado, recomendado por nosso amigo comum Mário Ripper, me procurou no Departamento de Matemática do CTC da PUC em 1968.

Eu que tinha tido a oportunidade de começar como aluno-estagiário (quase tempo integral) no CPD da EPUC (Escola Politécnica da PUC) em 1962 (um ano depois do Arndt), já era precocemente na época coordenador do grupo de matemática computacional do Departamento de Matemática. O grupo estava às vésperas de ser transformado, sob a liderança do Olinto, no primeiro Departamento de Informática do país e um dos primeiros do mundo.

Furtado trazia como credenciais duas graduações e um mestrado (todos em áreas diferentes), além de muitos outros estudos no nível de pós-graduação, inclusive na Escola Nacional de Ciências Estatísticas nas áreas de matemática aplicada e programação de computadores.

Já era, na época, um programador experiente e, principalmente, tinha a intuição de que a computação se transformaria no futuro próximo em uma disciplina autônoma e fundamental para as outras ciências e para a tecnologia do futuro. Ele tinha vontade de participar da criação e desenvolvimento desta nova área. Não foi difícil convencer o Olinto a contrata-lo.

O ano de 1968 foi o ano da criação do nosso departamento e da publicação do ACM Curriculum 68, o primeiro currículo consolidado a ser proposto especificamente para a área de computação. Além de concluir rapidamente um improvisado mestrado em Informática, adaptado da matemática aplicada, o antigo grupo de matemática computacional, do qual agora fazia parte o Furtado, se dedicou a estudar todo o conteúdo do Curriculum 68 para apresenta-lo em cursos de graduação e pós-graduação.

Nesta época surgiram no grupo diferentes vocações por sub-áreas da computação e muito estudo individual teve lugar, acompanhado por inúmeros seminários internos ao grupo ou enriquecidos pela participação de diversos visitantes de diferentes países. Em 1969 o Barry Bohem, que nos visitou rapidamente, descreveu o dinamismo do grupo em um artigo na revista Datamation.

Distinguiu o Furtado o interesse por problemas relevantes para a área e as interessantes digressões de natureza interdisciplinar. Um problema central que se apresentava para a área na época (e que permanece atual) era a compreensão da

natureza, o design e a realização de grandes bancos de dados. Hoje, qualquer forum de cientistas da computação no país ou no exterior concorda que Furtado foi um pesquisador pioneiro da área de bancos de dados, que está repleta de importantes contribuições suas que são recorrentemente citadas na literatura especializada.

Nas seções seguintes discutiremos as diferentes fases da pesquisa acadêmica de Furtado ao longo de sua carreira. A identificação dessas fases foi feita pelo próprio Furtado e nos coube apenas comenta-las.

2. Matemática Numérica e Simbólica, Grafos e Estruturas de Dados

A primeira fase da pesquisa de Furtado em Ciência da Computação se estende de 1968 a 1974: da sua admissão no departamento até a conclusão do doutorado (reconhecimento que a Universidade de Toronto fez de um nível que, na realidade, ele já possuía).

Durante este período ele contribuiu para as áreas de análise numérica e matemática simbólica, algoritmos de teorias dos grafos e estruturas de dados. Suas contribuições específicas para essas áreas, constantes de diversas publicações, são muitas. Os hoje usuários de Mathematica e Maple deveriam saber que nesta época Furtado desenvolveu a linguagem PUC-Mat para processamento simbólico de fórmulas, usando o poderoso compilador de compiladores do Arndt (precursor do YACC).

Desenvolveu também, com seu aluno Sérgio Roschke, um algoritmo para o número cromático e colorido ótimo de grafos que foi publicado em Information Processing Letters. Foi extremamente marcante para a época o início do seu trabalho sobre definição de dados por gramáticas de grafos. Anos mais tarde em 1979, Claus, Ehrig e Rozemberg organizaram na Alemanha uma Conferencia comemorativa sobre a área de gramática de grafos, intitulada “Graph Grammars and their Applications to Computer Science and Biology”. Na qualidade de um dos criadores da áreas, Furtado foi convidado especial para apresentar o trabalho “Transformations of Data Base Structures”.

Em cada uma das fases de sua pesquisa, Furtado publicou, pelo menos, um livro. Este esforço adicional que ele se auto impôs ilustra com clareza a importância que ele sempre dedicou às atividades de ensino. O livro desta primeira fase se chama “Teoria dos Grafos - Algoritmos” e foi publicado pela editora Livros Técnicos e Científicos em 1973.

3. Estruturas e Bancos de Dados

A segunda fase do pesquisador vai de 1975 a 1979. A fase se caracteriza por uma concentração de esforços nas áreas de estruturas de dados e bancos de dados. Suas contribuições a estas áreas são as seguintes: a adoção de hipergrafos no modelo relacional de bancos de dados, sua álgebra de relações quocientes, o conceito de atualização de visões em bancos de dados e a formalização de restrições de integridade.

Talvez o tom de suas motivações principais na época possa ser expresso pelo título do seu artigo “Formal Aspects of the Relational Model”, publicado em 1978 na revista Information Systems.

Seu currículo mostra 15 importantes publicações durante esta fase. Infelizmente para mim, só publiquei em co-autoria com o Furtado um artigo numa conferência na Itália.

Isto foi durante esta fase, no ano de 1977. O artigo se chamou “Towards the Design of Data Base Interfaces for Non-Programmers”. Talvez ele não saiba que o tema (que está muito em voga hoje) ainda me interessa e aquelas idéias iniciais ainda influenciam parte do meu trabalho atual sobre formalização de interfaces homem-máquina. Espero que possamos fazer muitas outras coisas no futuro.

Além das publicações de pesquisa dois livros também foram publicados nesta fase no Brasil. Um deles em 1979, com o Clésio Saraiva dos Santos, intitulado “Organização de Bancos de Dados” da editora Campus, é certamente o livro mais conhecido nesta área no Brasil.

Nesta fase, a sua reputação internacional pela pesquisa em bancos de dados trouxe para o Brasil a mais importante conferência da área, a Very Large Data Base Conference (VLDB), na qual Furtado serviu como co-chairman. A partir desta conferência ele foi feito membro do comitê encarregado do VLDB endowment fund.

Como sabem os especialistas da área é mais difícil publicar na VLDB do que na maioria dos periódicos de bancos de dados. Raramente outros autores brasileiros tiveram artigos aceitos na VLDB onde Furtado apresentou trabalhos em 81, 82, 83, 85, 88 e 89.

4. Bancos de Dados e Programação em Lógica

Embora as duas fases iniciais da carreira de pesquisador de Furtado tenham sido muito ativas, as que se sucederam parecem até mais impressionantes. A fase que foi de 1980 até 1989 foi extremamente rica. Foi a fase da parceria com dois alunos importantes, Castilho e Tucherman, e dois colegas extremamente produtivos cientificamente, Veloso e Casanova.

Nesta fase os trabalhos se concentraram nas áreas de bancos de dados (métodos formais) e programação em lógica, ainda como temas tratados separadamente. Suas contribuições durante esta fase são muito numerosas. Incluem propostas de métodos para a especificação formal de estruturas e bancos de dados usando formalismos complementares, associando técnicas como as seguintes: lógica modal, álgebra, linguagens de programação, gramáticas-w e a abordagem denotacional. Furtado propôs ainda extensões à linguagem Prolog tornando-a também uma linguagem aplicativa com recursos de programação funcional e casamento de padrões (pattern matching). Finalmente Furtado projetou e implementou ambientes de programação em Prolog.

É um destaque desta fase o seu livro com E. Neuhold, intitulado “Formal Technique for Data Base Design”, publicado pela Springer e traduzido para o Japonês. Além deste livro publicou outros dois no Brasil em 1983 e 1987 com os seus principais parceiros da época.

Ainda nesta época Furtado foi “area chairman” da Conferência mundial do IFIP em 1986 na Irlanda. A cada quatro anos a International Federation for Information Processing realiza sua conferência mundial convidando para chairman do comitê de programa de cada área um líder científico da área. Furtado foi convidado a liderar a área de Information Systems, pela primeira vez apresentada oficialmente como uma generalização da área de bancos de dados.

5. Bancos de Dados Inteligentes, Estruturalismo e Ciência Cognitiva

O homenageado identificou o início de uma nova fase em 1990. Os temas centrais desta fase, que corresponde à atualidade da sua pesquisa, são os bancos de dados inteligentes, uma associação entre as áreas de bancos de dados e programação em lógica, e os esquemas de texto, um casamento inovador entre o estruturalismo e a ciência cognitiva.

Seu interesse por bancos de dados e inteligência artificial não são novidades e era plausível que ele viesse a associá-los com criatividade mais dia menos dia. O seu recente fascínio pelo estruturalismo e pela ciência da cognição, no entanto, foi a grande surpresa da fase contemporânea. Não que seja surpresa o interesse do Furtado pelo humanismo e pelas expedições interdisciplinares. O que foi surpresa foi a sua volumosa produção nesta área em um prazo tão curto, produção esta que segundo ele pode justificar uma "demissão por justa causa do Departamento de Informática".

Em computação ele produziu recentemente métodos e ferramentas para projeto de aplicações (CHRIS) e métodos e ferramentas para interfaces cooperativas (NICE).

Sua atuação na pesquisa de intertextualidades na literatura medieval o levaram aos comitês editoriais da revista e "Quondam et Futurus: A Journal of Arthurian Interpretations" da Memphis State University. Os livros desta fase já estão sendo elaborados e são representativos de suas duas ênfases recentes. O primeiro, do qual ele será editor junto com Rosana Lanzelotte, é da área de bancos de dados e será publicado pela editora Morgan Kaufmann no final deste ano. O segundo, que está no momento considerado para publicação compara textos sobre os reis Artur e Alexandre.

6. Conclusões

Esta parte da compilação de depoimentos que forma esta monografia apresentou uma visão geral, comentada, da produção científica de Antonio L. Furtado. O texto é muito simplificado e resumido, se considerarmos que o material produzido até hoje pelo homenageado justifica, facilmente, um livro completo.

Procurei apresentar ao leitor o perfil de um "scholar" completo, que tem sido um exemplo e fonte de inspiração constante para seus colegas e alunos. Os depoimentos sobre a figura humana do "scholar", apresentada nas solenidades do Colóquio comemorativo de 25/8/94, não constaram da monografia. É, portanto, necessário que fique registrado que, se não bastasse o profissional, os seus colegas conviveram e convivem com uma figura humana muito especial. Honestidade, camaradagem, simpatia e senso de humor são as virtudes mais imediatamente perceptíveis do colega Furtado.

Os que trabalham com Furtado têm, neste ano de 1994, uma certeza muito clara. Ele anda extremamente inspirado. Há indícios de idéias muito ricas no ar. Especificamente, eu não ficarei nada surpreso se Furtado estiver nos reservando algumas novas fases para o seu trabalho no futuro para as quais a sua surpreendente capacidade de síntese pode estar reservando a criação de novas áreas do conhecimento.

ALF por C

Marco A. Casanova

Centro Científico Rio
IBM Brasil
Av. Presidente Vargas, 824/844
20071-001 Rio de Janeiro RJ

1. Introdução

Durante mais de 10 anos tive o privilégio de trabalhar com o Prof. Furtado, ou Antonio, como gosta de ser tratado. Aqui mudarei de preposição: escreverei sobre Antonio. A perspectiva será bastante pessoal e baseia-se na extensa interseção do meu currículo com dele, a ponto de pouco restar da lista de trabalhos que publiquei, se retirados os que co-autoramos. Esta foi a forma que Veloso e eu encontramos para dividir o trabalho, deixando para Lucena a tarefa mais trabalhosa de acomodar as muitas outras facetas do trabalho de Antonio.

A questão da enorme interseção entre os nossos currículos coloca-me também na importante posição de fornecedor de cópias dos nossos trabalhos, poupando ao homenageado a tarefa de organizá-los em outra das muitas pilhas que habitualmente povoam a sua mesa.

Não serei completamente fiel, porém, à idéia de escrever sobre Antonio. Vem-me imediatamente à tona as muitas situações e peculiaridades da nossa forma de trabalharem conjunto que, espero, tornem a leitura deste depoimento mais humana e menos tediosa.

2. Banco de Dados

O primeiro trabalho de Antonio que me lembro de ter lido remonta aos primórdios do modelo relacional e introduzia a assim chamada álgebra de relações quociente, um formalismo interessante para tratar particionamentos de relações. Este trabalho, publicado nos anais do SIGMOD e amplamente citado, fugia completamente da Teoria de Dependências (lembram-se disto?) que dominava a arena de banco de dados no começo da década de 70.

O começo do envolvimento de Antonio com o modelo relacional tem uma história interessante. Certa ocasião, em setenta e poucos, um visitante estrangeiro foi apresentado a Antonio, que casualmente lia em sua sala um trabalho em teoria de banco de dados recém publicado. Antonio, distraído, não prestou muita atenção ao seu nome e passou a lhe explicar álgebra relacional. O visitante era Ted Codd, que veio ao Brasil só mais uma vez ao que me consta.

Antonio e Clésio também publicaram um dos primeiros, senão o primeiro livro sobre banco de dados no Brasil. Este texto também abriu a veia pioneira de transformar notas de curso de Escolas de Computação em livros comerciais, uma longa tradição que muito tem contribuído para estabelecer uma genuína literatura nacional em Informática.

O meu reencontro com o trabalho de Antonio, já na condição privilegiada de co-autor, deu-se no começo da década de 80, na série CCF - Castilho, Casanova e Furtado - e suas permutações. Parte da descrição do trabalho desta época deixo a cargo de Veloso, que participava ativamente das nossas discussões. O resultado final, expresso na tese de Castilho, dava conta de um esforço para obter especificações formais e complementares de um mesmo banco de dados, utilizando Lógica Temporal, tipos abstratos de dados e gramáticas de dois níveis. Já nesta época Antonio advogava a especificação das estruturas do banco de dados juntamente com as suas operações de alto nível. Ou seja, Antonio reforçava que não basta, por exemplo, definir as relações ALUNO e CURSO; a especificação do esquema conceitual deve incluir operações como MATRICULAR, CANCELAR, etc... Hoje, no mundo orientado a objeto, esta ênfase é quase redundante, mas no contexto de 1982 não o era.

A alusão a permutações de CCF não é casual. Apesar da senioridade que Antonio possuía e possui sobre nós, sempre fez questão de permutar a ordem dos autores, eliminando qualquer discussão sobre quem deu a maior contribuição ou sobre quem é o autor senior. Esta atitude, esta lição que aprendi, às vezes surpreende os meus co-autores, hoje em geral mais jovens do que eu. Quem está familiarizado com a prática da escolha da ordem dos autores saberá avaliar o desprendimento desta atitude e o clima de entendimento e cordialidade que ela gera entre colegas.

O uso de Lógica Temporal na especificação do comportamento de um banco de dados, sem alusão explícita às operações de atualização, gerou dois outros trabalhos, um publicado nos anais do workshop Logical Bases for Data Bases e uma versão aprimorada no prestigioso livro Advances of Database Theory, Vol. 2. O enfoque de tipos abstratos de dados por sua vez gerou um outro capítulo de livro em que analisávamos o problema de atualização de visões, em uma das abordagens mais lúcidas que conheço do problema, na minha avaliação e dos muitos colegas que posteriormente o citaram.

Este segundo trabalho exemplifica um caso em que Antonio e eu trocamos de papel. Em geral, Antonio aparecia com uma nova idéia, esboçada em vários exemplos ou até concretizada em programas em SNOBOL ou PROLOG, e cabia a Veloso ou a mim adornar os exemplos com alguma teoria. Mal comparando, cabia a Furtado, como Russel, abrir novas picadas na selva e a Veloso e a mim, como Whitehead, pavimentá-las. Neste trabalho sobre atualização de visões, Antonio trouxe a idéia e a teoria e coube a mim fabricar alguns exemplos.

Por esta época começamos uma segunda série de permutações - FTC para Furtado, Tucherman e Casanova - que teve longa duração. A tônica principal era um método para projeto modular de banco de dados, mas teve vários desdobramentos. A grosso modo, um módulo encapsula uma ou mais classes de objetos, suas operações e restrições de integridade. Diferentemente de orientação-a-objeto, uma operação ou restrição pode envolver vários objetos, desde que todos pertençam às classes encapsuladas pelo módulo. Estas idéias geraram um trabalho publicado no Transactions on Database Systems e formam a base da tese de doutorado do Tucherman. (Este trabalho deu origem ao meu "Complexo de Penélope" - desfazer à noite o trabalho realizado durante o dia - tal o número de revisões por que passou e pelas quais assumo a culpa. A paciência de Antonio foi testado ao limite extremo nesta época).

Os desdobramentos deste trabalho surgiram por razões completamente ortogonais à idéia principal. Antonio já começara a se interessar por Prolog e, em uma das minhas primeiras visitas à PUC para discutir os princípios do nosso método de projeto

modular, apresentou-me orgulhosamente uma ferramenta para projeto conceitual de banco de dados que embutia os princípios do método. O ovo nasceu antes da galinha. Vários trabalhos se seguiram então em que procurávamos explicar como construir uma ferramenta especialista que guiasse um usuário na aplicação de um particular método de projeto de banco de dados, onde a rigor, no nosso caso, Antonio tinha seguido o caminho inverso.

Um segundo desdobramento gerou o CHRIS Consultant - Conceptual Hints on Relational Implementation Synthesis - uma ferramenta especialista para síntese de esquemas relacionais otimizados a partir de uma especificação entidade-relacionamento. Esta ferramenta representava na realidade um passo atrás na arte de projeto de banco de dados, e refletia a crítica de que o nosso método de projeto modular era muito complicado. Mas a ferramenta embutia certas formas de otimizar a representação relacional de um esquema entidade-relacionamento, que depois exploramos a fundo em uma outra série de trabalhos e ferramentas de projeto.

O nome CHRIS foi escolhido como uma homenagem a Date, uma das pessoas que mais contribuíram para a divulgação do modelo relacional e que se tornou um amigo e admirador do trabalho de Antonio nas suas muitas visitas ao Brasil. Este exemplo também ilustra a capacidade infinita de Antonio em dar um significado para um acrônimo, um esporte popular em Informática, mas nem sempre muito bem sucedido. (Esta faceta das habilidades de Antonio talvez tenha escapado ao Lucena).

Um terceiro desdobramento, mais longínquo, deu origem a um trabalho descrevendo várias formas otimizadas de garantir a preservação de dependências de inclusão. Este trabalho, aparentemente anacrônico para a época, passou bem perto de ser considerado o melhor paper do VLDB '88 e demonstra que contribuições de sólida qualidade independem da moda vigente.

A seqüência do trabalho de Antonio a partir deste ponto que gostaria de relatar é melhor classificada como relacionada a Programação em Lógica.

3. Programação em Lógica

O interesse de Antonio por linguagens de programação vem de longa data, mas recentemente tem se fixado quase que exclusivamente em PROLOG. Antonio tem usado esta linguagem como um veículo para expor suas idéias mais elaboradas em banco de dados, que exporei em mais detalhe nesta seção.

Porém a sua contribuição a Programação em Lógica vai muito além. Antonio contribui, e muito, para tornar menos árido o livro que escrevemos sobre o assunto para a Escola de Computação de Belo Horizonte, que posteriormente foi publicado comercialmente pela Edgard Blücher. Em um outro trabalho interessante, propusemos uma extensão a PROLOG para pattern matching. Este trabalho ilustra uma preocupação recorrente de Antonio em incluir, sempre que o espaço assim o permitisse, programas concretos que pudessem ser executados, não se limitando a expor o leitor às idéias centrais de um algoritmo.

Em uma de suas passagens pelo Centro Científico Rio como professor visitante, Antonio deixou inúmeras contribuições ao avanço de Prolog na IBM, a nível mundial. Dois exemplos bastam para ilustrar este ponto. Antonio durante algum tempo trabalhou em uma interface de janelas para o Prolog IBM e disponibilizou o código através da rede interna. Tempos depois, um colega nosso voltou de uma reunião no exterior com a agradável novidade de que a equipe responsável por Prolog na IBM

tinha incorporado a interface ao produto e reconhecido devidamente a contribuição de Antonio. Em outra ocasião, um segundo IBMista mostrou-nos o material de um curso sobre Prolog dado na IBM em Palo Alto cujos exemplos foram desenvolvidos por Antonio - o popular CHARLAT - um pequeno sistema especialista para receitar remédios. Novamente a contribuição era reconhecida no prefácio.

Mais recentemente, Antonio tem se servido de Prolog para investigar ambientes cooperativos, em geral, e geração de planos, em particular. Esta linha de pesquisa gerou o protótipo NICE - Nice Interactive Cooperative Environment - cujo sucessor naturalmente chama-se NICEST (que tem algum significado que não me recordo - mais exemplos da habilidade de Antonio para gerar acrônimos). Este protótipo e os trabalhos em torno dele propunham idéias sobre como tornar o acesso a banco de dados mais amigável, corrigindo erros em consultas mal formuladas, retornando respostas mais informativas, gerando explicações em caso de falha, etc... Andrea e José Pérez, alunos de Antonio, exploraram estas idéias no contexto de bancos de dados geográficos e bancos de dados temporais.

Ainda dentro desta linha de pesquisa, Andrea, Antonio e eu publicamos recentemente um trabalho no IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering e outro em um livro da Oxford University Press. Em ambos exploramos formas de evitar inferências errôneas por culpa de respostas incompletas. Por exemplo, a consulta "o voo 205 já decolou?" pode ter como resposta correta "não", embora esta resposta possa levar o passageiro a inferir que se ele correr ainda consegue pegar o voo, quando o check-in já fechou; uma resposta mais informativa seria "não, mas o check-in já fechou".

4. Comentários Finais

Corre uma estória que Chris Date teria escrito na sua carta de recomendação para a promoção de Antonio a Professor Titular que ele teria orgulho do currículo de Antonio mais do que o dele próprio. Verdadeira ou não, nestas palavras ou não, esta estória certamente é plausível e representa mais do que uma recomendação para um cargo: indica um reconhecimento que, se os recursos permitissem, Chris certamente teria o máximo prazer de expressar em público.

Este depoimento extremamente pessoal das contribuições de Antonio é imperfeito por não representar a imensa influência que todos estes anos de convívio e trabalho conjunto tiveram sobre a minha vida profissional e pessoal.

Para os que estão iniciando a carreira acadêmica, cabe enfatizar que Antonio ensinou-me a tratar generosamente as idéias, colocando a qualidade intrínseca do trabalho acima das vaidades pessoais, apesar da extrema competitividade que cerca o mundo acadêmico. Procurei entremear o texto com pequenos comentários exemplificando este ponto, que considero um ensinamento importante.

O trabalho de Antonio demonstra ainda que é possível, embora raro, manter a criatividade intacta após longos anos de produção acadêmica. O seu exemplo dá alento aos que, como eu, já passaram dos vinte anos.

Por fim, agradeço a oportunidade dada por Lucena para que pudesse expressar o meu débito com Antonio, recordando aspectos do nosso trabalho conjunto. A minha dívida acadêmica e profissional naturalmente estende-se ao próprio Lucena e ao Departamento de Informática da PUC-Rio, um habitat ímpar de excelência em pesquisa, que tenho o privilégio de ser frequentador assíduo.

Contribuições de Antonio L. Furtado a Especificações de Bancos de Dados

Paulo A. S. Veloso

Departamento de Informática
PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente 225
22453-900 Rio de Janeiro RJ

Tentarei expor algumas das principais contribuições de Antonio L. Furtado a Especificações de Bancos de Dados. Neste tópico tenho tido o privilégio de colaborar com ele, bem como com alguns de seus orientados e com Marco Antonio Casanova. Aqui 'colaborar' é um eufemismo, eu deveria talvez dizer 'aprender'; e se tivesse aprendido mais estaria em melhores condições de apreciar a importância dessas contribuições para Bancos de Dados. De qualquer modo, elas têm importância inegável para Especificações em si, que creio poder perceber.

Em resumo, tais contribuições são muitas, variadas e importantes. Um denominador comum a elas tem sido a *sistematização* e a busca de *métodos*. Características marcantes são o amplo *espectro* - tanto no que concerne a bancos de dados quanto a especificações - e o uso judicioso de *exemplos* para nortear e explicar as idéias e os métodos. Várias dessas contribuições parecem ter surgido da capacidade de Furtado de notar como certas idéias de outras áreas poderiam, desde que encaradas de modo apropriado, ser adaptadas a bancos de dados, estabelecendo interessantes conexões. Talvez seja interessante notar que vários desses desenvolvimentos tiveram seu início em monografias do departamento do ano de 1981.

Visão Geral

Inicialmente, talvez seja conveniente dar uma idéia panorâmica acerca do espectro coberto por essas contribuições.

Objetivos e motivações

As principais motivações que parecem ter norteado o trabalho de Furtado são

clarificação e sistematização de noções,

métodos construtivos,

utilizabilidade.

Áreas de Bancos de Dados

Furtado contribuiu com clarificação de noções e com métodos para várias áreas de Bancos de Dados, como

Especificação de Aplicações de Bancos de Dados,

Representação e Modelos de Dados,

Arquitetura e

Projeto Conceitual.

Formalismos de especificação

Essas contribuições envolvem o emprego de uma ampla gama de especificações, abrangendo

especificações declarativas - tanto semi-formais (como por pré-condições e efeitos) quanto formais (como equações e axiomas) e

especificações operacionais (como sistemas de reescrita e gramáticas);

Linguagens de programação

A praticidade das propostas é demonstrada através de protótipos executáveis envolvendo linguagens variadas, como PLANNER, SNOBOL e Prolog.

Idéias centrais

Dentre as idéias - simples quiçá - usadas, destacam-se as seguintes

complementaridade (visões diferentes contribuindo para melhor compreensão global),

unificação (formalismo de amplo espectro permitindo tratar de maneira uniforme distintos aspectos),

ecletismo (aspectos distintos sendo tratados em formalismos apropriados),

separação entre genérico e específico.

Não obstante os aparentes conflitos entre algumas dessas idéias, várias vêm a ser judiciosamente combinadas.

Importância e impacto

O impacto dessas contribuições pode ser aquilatado pelos numerosos trabalhos que nelas se apoiam e lhe dão continuidade.

A importância pode ser vista pelos veículos onde tem sido publicadas: periódicos, conferências (como VLDB, Entity-Relationship, IFIP World Congress, PODS). Além disso, algumas foram republicadas em antologias.

De fato, a trajetória de diversos trabalhos tem sido de relatório interno a artigo em periódico ou capítulo de livro, via trabalho em conferência ou em boletim. Ao longo dessa trajetória as idéias têm sido precisadas e a apresentação polida.

Exemplos Canônicos

Antes de passar às contribuições mais específicas na forma de conceitos e métodos, gostaria de salientar sua contribuição no que concerne a exemplos. Pode parecer estranho dar ênfase a ‘simples’ exemplos. Mas não é.

Várias áreas de Computação têm seus exemplos canônicos: fatorial, pilhas, “dining philosophers”, etc. Creio que foi o próprio Furtado que contou que um dos ‘papas’ de Bancos de Dados costuma considerar como sua mais importante contribuição - não seus modelos, conceitos, ou métodos - mas sim um exemplo, o qual veio a se tornar

um desses "benchmarks" canônicos. Pois bem, Furtado introduziu, e empregou fartamente, três exemplos bastante ilustrativos, a saber,

uma *agência de empregos* (com informações sobre candidatos a empregos),

um *banco de dados acadêmico* (com informações sobre cursos oferecidos e alunos matriculados em cursos) e

ACME (uma companhia que aluga e vende máquinas a clientes).

Tais exemplos foram também bastante usados por vários outros pesquisadores, a ponto que um deles é introduzido num artigo de pesquisadores alemães e italianos como um "well-known example".

Contribuições Específicas

Com esse pano de fundo, passo a descrever mais detalhadamente as principais contribuições de Antonio Furtado a Especificações de Bancos de Dados. Para facilitar a apresentação, resolvi dividi-la, um tanto arbitrariamente, em 'fases'. Essa divisão, como outras, é arbitrária, pois essas 'fases' interagem e se superpõem cronologicamente e envolvem combinações de idéias.

Essas fases são (com os anos dos principais trabalhos):

Especificações Procedimentais (de 1981 a 1983)

Complementaridade (de 1981 a 1984)

Níveis de traços (de 1981 a 1984)

Abstração em Bancos de Dados (de 1981 a 1984)

Gramáticas de grafos (1982)

Gramáticas de dois níveis (1983)

Visão eclética integrada (de 1983 a 1986)

Separação entre geral e específico (de 1984 a 1986).

Especificações Procedimentais

Não me lembro se foi por causa dos trabalhos de Bartussek e Parnas que ocorreu a Furtado usar traços para construir especificação. Lembro-me porém que foi ele que me explicou a idéia, chamando a atenção para seu potencial para especificar aplicações de bancos de dados. Trata-se de uma idéia bastante simples: um traço representa uma história da construção do estado atual, e transições entre estados podem ser descritas por meio de manipulações simbólicas sobre tais traços. Esta idéia foi desenvolvida através de diversas aplicações interessantes.

Inicialmente, a própria idéia básica de traços veio a originar as *especificações e implementações procedimentais para tipos abstratos de dados*. A motivação era ter executabilidade de especificações, e no trabalho do início de 1981 elas aparecem acompanhadas de um protótipo em SNOBOL.

As motivações presentes nos trabalhos de Furtado sobre especificações vêm de sua visão pragmática: "especificações formais são interessantes, úteis, etc., mas são também difíceis de escrever e de entender quando prontas." Essas duas questões foram

atacadas através das idéias de refinamentos sucessivos e de complementaridade, respectivamente.

Complementaridade

Em 1981 a idéia de complementaridade - visões diferentes contribuindo para melhor compreensão global - já havia sido utilizada em linguagens de programação por Lauer e Donahue, suscitando seu emprego por Atendolfo Pereda e Roberto Lins de Carvalho em estruturas de dados.

Ocorreu a Furtado em março de 1981 dar o passo, a posteriori simples, de aplicá-la a especificação de aplicações de bancos de dados. Aqui é bastante comum considerar descrições orientadas a consultas e a atualizações, o que leva naturalmente a especificações com propósitos distintos, daí complementaridade. Um benefício adicional introduzido é a simplicidade de *derivação sistemática de especificações complementares para aplicações de bancos de dados*.

Níveis de traços

A idéia de refinamentos sucessivos é bastante conhecida e empregada no desenvolvimento de programas. Furtado sugeriu em junho de 1981 uma interpretação de traços no contexto de bancos de dados que leva naturalmente a níveis de traços e a seu refinamento sucessivo como maneira de desenvolver especificações. De novo, trata-se de uma idéia simples, porém frutífera. Alguns traços descrevem a história de como realmente se atingiu o estado atual, sendo como trilhas de auditoria, outros traços descrevem maneiras, talvez mais simples, de se atingir o estado atual, podendo ser usados para recuperação no caso de falhas.

Daí surgem naturalmente algumas idéias relacionadas a *especificações multi-níveis baseadas em traços*. Uma é a de refinamento sucessivo de traços como um método para se obter *especificações abstratas (de bancos de dados) via níveis de traço*; outra é a de 'álgebras de traços', o que estabelece uma ponte interessante entre especificações suficientes completas à la Guttag e Horning e especificações iniciais à la ADJ na *construção passo-a-passo de especificações algébricas*>.

Abstração em Bancos de Dados

A menção de ADJ lembra tipos abstratos de dados. Estes surgem das idéias de encapsulamento e proteção, e um motivação importante de suas especificações formais é a independência de representação. No contexto de bancos de dados isso traz em seu bojo a possibilidade de se descrever uma aplicação independentemente de modelos de dados, na linguagem da própria aplicação. Sugere também uma arquitetura modular, onde aspectos de interface, esquemas externos, caminhos de acesso e representação podem ser desacoplados, por encapsulamento, e refinados de maneira independente.

Assim, a conexão entre bancos de dados e tipos abstratos de dados é natural, através de estruturas de dados, e vários pesquisadores, como Paolini, Dorsch, etc., a têm explorado. Porém, Furtado deu contribuições importantes e pioneiras ao enfatizar o uso de traços e especificações procedimentais em aspectos, como

verificação e teste de representações, desde maio de 1981;

arquitetura modular derivada de um enfoque formal para *especificação e projeto de aplicações abstratas de bancos de dados*, desde agosto de 1981;

especificação e projeto de esquemas externos, desde fevereiro de 1983.

Gramáticas de grafos

Há bastante tempo Furtado tem tido interesse em grafos, desenvolvendo e programando algoritmos. Em sua tese de doutorado empregou formalismos de gramáticas de grafos para especificar estruturas de dados. Nada mais natural, portanto, que viesse a empregar tais idéias no contexto de bancos de dados.

A oportunidade surgiu ao ser convidado a contribuir para um simpósio sobre gramáticas de grafos e suas aplicações a se realizar em outubro de 1982. Aí empregou a idéia de gerar os estados de um banco de dados através de uma gramática que gerasse suas representações como grafos, iniciando a *especificação de bancos de dados através de regras de reescrita*. As transformações desejadas entre grafos sugerem uma estratégia para construir as regras de reescrita da gramática. Neste trabalho são sugeridas, de maneira tentativa, algumas analogias entre modularidade e geração gramatical, restrições entre módulos correspondendo a condições sensíveis ao contexto.

Gramáticas de dois níveis

A continuação natural das analogias notadas acima foi o emprego de gramáticas de dois níveis. Estas já tinham sido empregadas para descrever num só formalismo uniforme linguagens de programação como Algol 68. Graças à substituição uniforme, foi possível apresentar *uma metodologia de especificação baseada em gramáticas W*, onde a sintaxe e o comportamento de uma aplicação de banco de dados ficam completamente descritas em um único formalismo. E estas gramáticas de dois níveis, que geravam estados, transições, etc., eram naturalmente compostas de uma parte genérica - que especificava conceitos gerais de bancos de dados (como o que são estados válidos) - e de uma parte específica da aplicação em pauta (que especificava quais são os estados válidos para a particular aplicação).

Certamente a especificação de aplicações de bancos de dados através de um único formalismo unificador apresenta um apelo, quase irresistível para um teórico. Para uma mente mais pragmática, elas lembram máquinas de Turing: poderosas sim, divertidas talvez, mas pateticamente ineficientes e ineficazes para propósitos mais realistas. Dispúnhamos de algo que se poderia chamar de método, mas só com alguma boa vontade. Não se poderia parar aí.

Visão eclética integrada

A idéia de complementaridade nasce de se notar que propósitos distintos são provavelmente melhor servidos por ferramentas distintas. Ela já tinha sido empregada de maneira 'horizontal'. Por que não usar esta idéia, tão frutífera, de maneira 'vertical'? Surge então em janeiro de 1984 a *perspectiva eclética para especificação formal de aplicações de bancos de dados*.

O projeto conceitual de uma aplicação pode ser naturalmente dividido em três níveis, a saber informação, função e representação, conforme o aspecto dos dados que se deseja privilegiar. Em cada um desses níveis o estado aparece de maneira correspondente ao interesse que nele se tem. Torna-se assim bastante razoável

considerar o emprego de formalismos apropriados para cada nível. Em particular, formalismos adequados ao nível de representação envolvem linguagens de representação e de manipulação de dados, as quais podem ser descritas, por exemplo, por gramáticas de dois níveis.

Essa visão eclética leva a *uma metodologia integrada para especificação formal de bancos de dados* através de refinamentos baseados em interpretações de um nível no seguinte.

Separação entre geral e específico

A esta altura tínhamos alguns métodos razoáveis para se obter especificações, as quais, desde que complementares, auxiliavam na compreensão do objeto especificado. Porém a especificação, como um todo, continuava não primando pela legibilidade. As especificações através de gramáticas de dois níveis já apresentavam partes genéricas e específicas, se bem que não nitidamente compartimentalizadas.

Tratava-se então de como obter *especificações formais mais simples, porém ainda completas*. Isso foi atacado em abril de 1985 ao se explorar as 'hipóteses subjacentes' a cada formalismo, as quais são essenciais ao entendimento e ao uso de uma especificação. Ocorre que, dependendo do formalismo empregado, certas especificações acabam tornando forma mais simples pelas exportação de certas regras às hipóteses subjacentes. De maneira análoga, poder-se-ia especificar de uma vez por todas a parte genérica (referentes a conceitos gerais como estados válidos, transições permitidas), deixando para a especificação propriamente dita o que lhe é específico.

Essa idéia, simples, abriu o caminho para algumas conseqüências interessantes, uma delas sendo especificações mais simples e legíveis. Outra é a formalização de hipóteses subjacentes, o que viabiliza seu encapsulamento, junto com a parte genérica, em um módulo genérico. Caracteristicamente, isto veio acompanhado de um protótipo executável, desta vez em Prolog, para teste e experimentação de alternativas.

Ainda nesse trabalho de 1985 é dado início ao exame de um problema, muito importante porém pouco examinado no contexto de especificações de maneira geral. Trata-se da questão da escolha dos símbolos de que vai se servir o especificador. No contexto de bancos de dados, foi sugerida uma metodologia para escolher e projetar um elenco de atualizações, usando como guia as próprias restrições de integridade que devem ser garantidas.

Colaboração

Os trabalhos mencionados acima envolvem, em sua maioria, colaboração de Furtado com

orientados de doutorado (como Clésio S. dos Santos e José M. Volkmer de Castilho),

colegas (como Marco Casanova e Paulo A. S. Veloso) ou

visitantes (como Thomas S. E. Maibaum).

Furtado parece trabalhar muito bem em colaboração, uma característica compartilhada por vários pesquisadores. Não só isso, Furtado catalisa a colaboração, contribuindo com idéias e estimulando que cada um participe com o melhor de si.

Como é colaborar com Furtado? Extremamente estimulante. Por um lado, nota-se o entusiasmo - quase juvenil - com que ele quer explicar sua nova idéia. Por outro lado, a honestidade intelectual, que não permite descanso até que cada aspecto da exposição esteja claro, para nós próprios, para o mais inclemente revisor e para o mais obtuso dos leitores imagináveis.

Isso cria um ambiente de continuada e fecunda troca de idéias que não escolhe hora ou local. Pode ser numa reunião previamente combinada, como pode também ser na hora do café (lembro-me de diversos desenvolvimentos que começaram com rabiscos no quadro-negro ao lado da bandeja do café), ou ainda a caminho ou até durante o vôlei das quartas (nosso livro de Estruturas de Dados, com Clésio e Azeredo, teria se originado de outra forma?).

Em uma mensagem eletrônica recente, Furtado menciona "Cada vez mais me convenço que fiz bem em trabalhar em colaboração. ... O Veloso e o Casanova ... tiveram a paciência de perder algum tempo das pesquisas deles para vir trabalhar comigo e colocar alguma ordem em nossos projetos de bancos de dados." Não posso falar pelo Casanova, mas, quanto a mim, gostaria de ter 'perdido' mais tempo.

Essa modéstia é característica de Furtado. Uma vez estávamos tomando café com um pesquisador visitante e conversando sobre nossos projetos de pesquisa. O visitante se descreveu como uma 'borboleta' por saltar de tópico em tópico. Furtado então se declarou um "hacker" por ter apenas algumas idéias simples que eram depois formalizadas por colaboradores. Ao que o visitante retorquiu, com admirável perspicácia: Mas, então "hackers" são eles!

À Guisa de Conclusão

Creio dar dado uma idéia, ainda que pálida, das contribuições, inovadoras, variadas e importantes, de Antonio Furtado a Especificações de Bancos de Dados. Não conseguiria, contudo, fazer justiça a seu papel como catalisador.

Ao preparar esta exposição tive ocasião de reler diversos trabalhos, alguns com as páginas já amareladas pelo tempo. Nota-se, porém, que as idéias e o estilo de apresentação continuam a exibir o viço do entusiasmo com que foram originalmente escritos. Parece-me apropriado concluir com esta proposta ao Furtado: Vamos retomar algumas dessas idéias?

ANEXO I

Dissertações de Mestrado Orientadas

Fernando Faria Lima - “Sistemas de Controle Acadêmico”

Akeo Tanabe - “Caminhamento em Grafos Simétricos

Emmanuel Piseces Lopes Passos - “Introdução à Demonstração Automática de Teoremas”

Paulo Alberto de Azeredo - “Compilador BASIC Otimizado”

José Carlos Barbosa - “Sistema para Gráficos Estatísticos”

Clésio Saraiva dos Santos - “Extensão de PL/I para Processamento de Grafos”

Adilson Tadeu de Medeiros - “Extensão de PL/I para Processamento de Listas”

Adalberto Pfeffer - “Extensão de PL/I para Pattern-Matching”

Sérgio Ivan Roschke - “Um Algoritmo para Determinação do Número Cromático e um Colorido Ótimo de um Grafo Não Dirigido”

João Carlos Pires Bauer - “Ampliação da Estrutura de Controle e Extensão Modular de PL/I”

Paulo Blanco Barroso - “Discussão e Implementação de um Formalismo para Definição de Tipos de Dados”

Geovane Cayres Magalhaes - “Modelo Físico e Operações Primitivas para um Banco de Dados Relacional”

Nivio Ziviani - “Subconjunto de Linguagem Natural para Consulta a Banco de Dados”

Roberto Pires Vasques - “Desenvolvimento, Implementação, Descrição Lógica e Documentação de um Sistema de Banco de Dados”

Sonia Maria Miguel Passos - Desenvolvimento, Implementação e Avaliação de Eficiência de um Sistema de Banco de Dados”

Pedro Luiz Steinbruch - “Um Estudo sobre Modularização de Programas”

Ronaldo Ribeiro Freitas - “Metodologia para Seleção de Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados”

Cláudio de Andrade Teixeira - “Um Sistema de Orçamento: Programa para Orgãos de Administração Direta Apoiado em Banco de Dados”

Weber Alves - “Especificações Lógicas para a Construção de um Cross Compiler"

Lucas Mortimer Macedo - “Projeto e Implementação de Banco de Dados Considerando Restrições de Integridade e Segurança”

Vania Lucia Susini Ramalho Chaves - “Uma Implementação de Arquivos Invertidos Utilizando Arvores B+ em COBOL”

Luiz Tucherman - “Avaliação de um Estratégia de Encapsulamento”

Roberto Velasco Kopp Junior - “Um Gerador de Sistemas de Apoio a Decisão”

João Bosco Schuman Cunha - “Banco de Dados para Informação Acadêmica e Produção Científica”

Antônio Carlos Pereira Maia - Estudo e Implementação de Técnicas de Compressão de Dados”

Paulo William Cardoso Maciel - “Desenvolvimento de Dicionários de Dados Inteligentes”

Jumar Pizol - “Especificação do Mapeamento de Esquemas de Bancos de Dados em Estruturas Físicas”

Alexandre Ibraim Direne - “Uma Ferramenta para Mapeamento de Esquemas de Bancos de Dados em Estruturas Físicas”

Galeno José de Sena - “Implementação de Protótipo de Ferramenta para Projeto/Reprojeto de Bancos de Dados”

Carlos Henrique Reis Cardoso - “Sistema Especialista Baseado em Regras para Escalonamento de Servidores em ambiente MUS”

Teses de Doutorado Orientadas

Clésio Saraiva dos Santos - “Caracterização Sistemática de Restrições de Integridade em Banco de Dados”

José Mauro Volkmer de Castilho - “Especificações Formais Para o Projeto de Aplicaçõs de Bancos de Dados”

Luiz Tucherman - “Uma Disciplina para Projeto Modular de Bancos de Dados”

Galeno José de Sena - “Um modelo de sistema Cooperativo Baseado na Modificação de Solicitações de Consulta e de Atualização

ANEXO II

Bibliografia de Antonio L. Furtado

1. LIVROS

1.1. Livros Publicados no Exterior

- Formal Techniques for Data Base Design - com E. J. Neuhold - Springer, 1986 (tambem traduzido e publicado no Japao)

- Livro (ainda sem título) a ser publicado pela Morgan Kaufmann com artigos do Workshop Internacional de Bancos de Dados programado para o Rio em setembro de 1994 - editado por Rosana Lanzelotte e A. L. Furtado.

1.2. Livros Publicados no Brasil

- Teoria dos Grafos - Algoritmos- Livros Técnicos Científicos, 1973

- Introdução à Programação com PL/I - com E. P. L. Passos - Livros Técnicos Científicos, 1978

- Organização de Bancos de Dados - com C. S. dos Santos - Campus, 1979

- Estruturas de Dados - com P. A. S. Veloso, P. A. Azeredo e C.S. dos Santos - Campus, 1983

- Programação em Lógica - com M. A. Casanova e F. A. C. Giorno - Blücher, 1987.

2. ARTIGOS EM LIVROS, REVISTAS E CONFERÊNCIAS INTERNACIONAIS

2.1. Capítulos de livros

- M. A. Casanova e A. L. Furtado - A family of temporal languages for the description of transition constraints - in Advances in Database Theory, v. II - H. Gallaire, J. Minker e J. M. Nicolas (eds.) - Plenum- 1984

- P. A. S. Veloso e A. L. Furtado - Stepwise construction of algebraic specifications - in Advances in Database Theory, v. II - H. Gallaire, J. Minker e J. M. Nicolas (eds.) - Plenum - 1984

- A. L. Furtado e M. A. Casanova - Updating relational views - in Query Processing in Database Systems - W. Kim (ed.) - Springer - 1985

- L. Tucherman, A. L. Furtado e M. A. Casanova - Modular Design Tools - in Relational Databases, State of the Art Report, 14:5 - Pergamon Infotech Ltd. - 1986

- A. S. Hemerly, M. A. Casanova e A. L. Furtado Exploiting user models to avoid misconstruals - in Non Standard Queries and Answers - R. Demolombe e T. Imielinski - Oxford University Press - em publicação (no prelo)

- A. L. Furtado - Rule-Based Databases - in livro do Workshop Internacional de Bancos de Dados, Rio, 1994 - Morgan Kaufmann.

2.2. Artigos em Periódicos Com Revisor

- S. Roschke e A. L. Furtado - An algorithm for obtaining the chromatic number and an optimal coloring of a graph - Information Processing Letters 2,2 - 1973

- A. L. Furtado - Characterizing sets of data structures by the connectivity relation - International Journal of Computer and Information Sciences 5, 2 - 1976

- P. B. Barroso e A. L. Furtado - Implementing a data definition facility driven by graph grammars - Computer Languages 3, 2 - 1978

- A. L. Furtado - Formal aspects of the relational model - Information Systems 3, 2 - 1978

- C. C. Gotlieb e A. L. Furtado Data schemata based on directed graphs - International Journal of Computer and Information Sciences 8, 1 - 1979

- A. L. Furtado e K. C. Sevcik - Permittingupdates through views of databases- Information Systems 4, 4 - 1979

- A. L. Furtado e J. Mylopoulos - Using graph grammars to define sets of digraphs - INFOR 17,3 - 1979

- A. L. Furtado, C. S. dos Santos e J. M. V. de Castilho - Dynamic modelling of a simple existence constraint - Information Systems 6, 1 - 1981

- C. S. dos Santos, T. S. E. Maibaum e A. L. Furtado - Conceptual modelling of data base operations - International Journal of Computer and Information Sciences 10, 5 - 1981

- U. Schiel, A. L. Furtado, E. J. Neuhold e M. A. Casanova - Towards multi-level and modular conceptual schema specifications - Information Systems - 1983

- J. M. V. de Castilho, A. L. Furtado e P. A. S. Veloso - Algebraic specifications of data base applications - International Journal on Policy and Information 8, 1 - 1984

- A. L. Furtado e T. S. E. Maibaum - An informal approach to formal algebraic specifications - Computer Journal 28 - 1985

- M. A. Casanova e A. L. Furtado - String pattern-matching in Prolog - Computer Languages 13, 3- 1988

- A. L. Furtado, M. A. Casanova e L. Tucherman - The CHRIS consultant - a tool for data base design and rapid prototyping - Information Systems - 1990

- M. A. Casanova, A. L. Furtado, e L. Tucherman - A software tool for modular database design- ACM Transactions on Data Base Systems - 1991

- A. S. Hemerly, M. A. Casanova e A. L. Furtado - Avoiding misconstruals in database systems - a default logic approach - IEEE TDKE Special issue on Learning & Discovery in Knowledge Bases/Databases - v. 5, n. 6 - 1993.

- K. Aberer, W. Klas, e A. L. Furtado - Designing a user-oriented query modification facility in object-oriented database systems - Information Systems (aceito para publicação).

2.3. Artigos em Conferências Centrais da Área

2.3.1. Conferências Very Large Data Bases (VLDB)

- P. A. S. Veloso, J. M. V. de Castilho e A. L. Furtado - Systematic derivation of complementary specifications - VLDB Conference - 1981

- J. M. V. de Castilho, M. A. Casanova e A. L. Furtado - A temporal framework for database specifications - VLDB -1982

- L. Tucherman, A. L. Furtado e M. A. Casanova - A pragmatic approach to structured database design - VLDB Conference - 1983

- L. Tucherman, A. L. Furtado e M. A. Casanova - A tool for modular data base design - VLDB Conference - 1985

- M. A. Casanova, A. L. Furtado e L. Tucherman - Enforcing inclusion dependencies and referential integrity - VLDB Conference - 1988

- M. A. Casanova, L. Tucherman, A. L. Furtado e A. P. Braga - Optimization of relational schemas containing inclusion dependencies - VLDB Conference - 1989

2.3.2. Conferências ACM/SIGMOD

- A. L. Furtado e L. Kerschberg - An algebra of quotient relations - ACM/SIGMOD Conference -1977

- M. A. Casanova, P. A. S. Veloso e A. L. Furtado - Database specification formalisms: an eclectic perspective - ACM Symposium on Principles of Database Systems - 1984

2.3.3. Conferências Entity-Relationship Model

- A. L. Furtado, P. A. S. Veloso e J. M. V. de Castilho - Verification and testing of S-ER specifications - Entity- Relationship Conference - 1981

- P. A. S. Veloso e A. L. Furtado - View constructs for the specification and design of external schemas - Entity-Relationship Conference - 1983

- C. S. dos Santos, E. J. Neuhold e A. L. Furtado - A data type approach to the entity-relationship model - International Conference on the Entity-Relationship Approach to Systems Analysis and Design - 1979

- A. L. Furtado, M. A. Casanova e L. Tucherman - The CHRIS consultant - Entity-Relationship Conference - 1987

- A. L. Furtado e M. A. Casanova - Plan and schedule generation over temporal databases - 9th International Conference on the Entity-Relationship Approach - 1990

- A. S. Hemerly, M. A. Casanova e A. L. Furtado - Cooperative behaviour through requestmodification- 10th International Conference on the Entity-Relationship Approach - 1991

2.3.4. Conferências IFIP

- G. Bracchi, A. L. Furtado e G. Pelagatti - Constraint specification in evolutionary data base design - in Formal Methods and Practical Tools for Information Systems Design - H. J. Schneider (ed.) - North-Holland -1979

- M. A. Casanova, J. M. V. de Castilho e A. L. Furtado - Properties of conceptual and external database schemas - IFIPWG2.2 Working Conference on Formal Description of Programming Concepts II - 1982

- A. L. Furtado, P. A. S. Veloso e M. A. Casanova - A grammatical approach to data bases - IFIP World Computer Congress - 1983

- P. A. S. Veloso e A. L. Furtado - Towards simpler and yet complete formal specifications - in Information Systems: Theoretical and Formal Aspects - A. Sernadas, J. Bubenko e A. Olive (eds.) - North-Holland -1985

- A. L. Furtado, M. A. Casanova e L. Tucherman - Transforming constraints into logic programs: a case study - TC-2 Working Conference on Knowledge and Data - 1986

2.3.5. Conferências Expert Databases

- A. L. Furtado e C. M. O. Moura - Experthelpersto databasedinformationsystems- International Workshop on Expert Database Systems - 1984

- A. L. Furtado, M. A. Casanova e L. Tucherman - A framework for design/redesign experts - First International Conference on Expert Database Systems - 1986

- L. Tucherman e A. L. Furtado - Update-Oriented Database Structures - Second International Conference on Expert Database Systems - 1987

- A. S. Hemerly, A. L. Furtado e M. A. Casanova - Towards cooperativeness in geographic databases - 4th International Conference on Database and Expert Systems Applications - Lecture Notes in Computer Science 720 - Springer - 1993.

- J. Perez, A. S. Hemerly, M. A. Casanova e A. L. Furtado - Cooperative interfaces for spatial-temporal databases - Symposium on Database and Expert Systems, Baden-Baden - Alemanha - artigo convidado - 1994.

2.4. Outras conferências com revisor

- A. L. Furtado e F. Freire - Formula manipulation in the Fletcher and Powel optimization method - JMCAD Conference - 1969

- C. S. dos Santos e A. L. Furtado - G/PL/I - extending PL/I for graph processing - Information Systems - J. T. Tou (ed.) - Plenum - 1974

- A. L. Furtado e A. Pfeffer - Pattern-matching for structured programming - 7th Asilomar Conference - 1974

- A. L. Furtado - Characterizing sets of data structures by graph grammars - Conference on Computer Graphics, Pattern-Recognition and Data Structures - 1975

- A. L. Furtado e M. L. Brodie - A data structure for fast relational algebra operations - 10th Hawaii International Conference on System Sciences -1977

- A. L. Furtado - Towards the design of data base interfaces for non-programmers - Workshop on Simula and Data Bases - 1977

- A. L. Furtado e C. J. P. Lucena - An incremental approach to the construction of data base software - AICA Conference - 1977

- A. L. Furtado - A directed hypergraph approach to data base systems - 1st International Conference on Applied General Systems Research- 1977

- K. C. Sevcik e A. L. Furtado - Completeand compatible sets of update operations- International Conference on Management of Data - 1978

- A. L. Furtado - Transformations of data base structures - in Graph Grammars and their application to Computer Science and Biology - Claus, Ehrig, Rozenberg (eds.) - Springer - 1979

- C. S. dos Santos, A. L. Furtado, J. M. V. de Castilho e S. Carvalho - Towards constructive axiomatic specifications - Workshop on Data Abstraction, Databases and Conceptual Modelling - 1980

- P. A. S. Veloso e A. L. Furtado - Algebraicspecification of data baseapplications- International Computer Symposium - 1982

- A. L. Furtado e P. A. S. Veloso - Specification of data bases through rewriting rules - Workshop on Graph Grammars and their applications to computer science - 1982

- A. L. Furtado e P. A. S. Veloso - Multi-level specifications based on traces - International Computing Symposium - 1983

- A. L. Furtado e C. R. de Souza - VM/Prolog,etc - adding an expert tool capability to VM/Prolog - IBM Interdivisional Technical Liaison Conference on Expert Systems

- A. L. Furtado - PROWIN - Windows package for VM/Prolog - IBM Expert Systems Newsletter 87, 1 - 1987

- M. A. Casanova e A. L. Furtado - An information system environment based on plan generation - International Conference on Cooperating Knowledge based Systems - 1990

- A. S. Hemerly, M. A. Casanova e A. L. Furtado - Exploiting user models to avoid misconceptions - Workshop on Nonstandard Queries and Answers - 1991

- M.A. Casanova, A. S. Hemerly e A. L. Furtado - A declarative conceptual modelling language: description and example applications - 4th Conference on Advanced Information Systems Engineering - 1992

- G. J. Sena e A. L. Furtado - Correcting user queries through a cooperative database interface - 5th International Conference on Computing and Information - 1993.

- K. Aberer, W. Klas e A. L. Furtado - User-oriented query modification in metaclass systems - 6th Conference on Advanced Systems Engineering - 1994.

2.5. Boletins sem revisor

- A. L. Furtado e P. A. S. Veloso - Procedural specifications and implementations for abstract data types - ACM/SIGPLAN Notices 16, 3 - 1981

- A. L. Furtado - Horizontal decomposition to improve a non-BCNF scheme - ACM/SIGMOD Record 12, 1 - 1981

- A. L. Furtado, A. A. B. Furtado e F. Messeder - Instructional graphics packages to be used with a line printer - ACM/SIGSE Bulletin 15, 4 - 1982

- A. L. Furtado - An informal approach to formal specifications - ACM/SIGMOD Record - 1983

- A. L. Furtado - Generalized set comparison - ACM/SIGPLAN Notices 19, 9 -1984

- A. L. Furtado - Towards functional programming in Prolog- ACM/SIGPLAN Notices 23,3 - 1988

- A. L. Furtado e P. A. S. Veloso - Iteration for applicative languages - ACM/SIGPLAN Notices 23, 12 - 1988

- A. L. Furtado - Analogy by generalization -- and the quest of the Grail - ACM/SIGPLAN Notices - vol 27, n 1 - 1992.