

# Memorial

Professor Mario Roberto Folhadela Benevides

16 de Novembro de 2014

Este memorial está sendo apresentado como parte dos requisitos da resolução 08/2014 do CONSUNI que estabelece normas e critérios para o desenvolvimento na Carreira de Magistério Federal da UFRJ para a Classe E - Professor Titular.

Departamento de Ciência da Computação  
Instituto de Matemática - CCMN  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Formação</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ensino e Orientação</b>	<b>5</b>
3.1	Graduação . . . . .	5
3.2	Pós-Graduação . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Pesquisa</b>	<b>15</b>
4.1	Lógicas Modais . . . . .	15
4.1.1	Lógicas Modais Intuicionísticas . . . . .	16
4.2	Lógicas Modais e Aplicações em Computação . . . . .	18
4.2.1	Algoritmos Distribuídos . . . . .	18
4.2.2	Mediação de Serviços Web . . . . .	19
4.2.3	Lógicas Modais de Setas com <i>Fork</i> . . . . .	20
4.2.4	Lógicas Epistêmicas e Sistemas Distribuídos . . . . .	21
4.3	Lógica Modal e Noções Vagas . . . . .	22
4.4	Lógicas Modais para Grafos Finitos . . . . .	24
4.5	Lógica Dinâmica e Concorrência . . . . .	28
4.6	Uma Abordagem de Grafos para Lógicas Modais . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Coordenação</b>	<b>33</b>
5.1	Participação em Chefias, Comissões, Representação . . . . .	34
5.2	Participação em Projetos . . . . .	35
5.2.1	Participação em Projetos como Coordenador . . . . .	35
5.2.2	Participação em Projetos como Membro . . . . .	35
5.3	Coordenação de Congressos Científicos . . . . .	37
5.3.1	Organização de Eventos Científicos . . . . .	37
5.3.2	Presidência de Comitê de Eventos Científicos . . . . .	37
5.3.3	Membro de Comitês de Programa . . . . .	38
5.3.4	Avaliador de Artigos Científicos para Anais de Congressos . . . . .	40
5.4	Árbitro de Periódico . . . . .	42
5.5	Editor de Volume Especial de Revista Eletrônica Internacional . . . . .	42
5.6	Participação em Curso de Extensão . . . . .	43
5.7	Atividades de Divulgação Científicos . . . . .	43
5.8	Membro de Diretoria de Sociedades Científicas . . . . .	44
<b>6</b>	<b>Título da Conferência</b>	<b>44</b>

# 1 Introdução

Este memorial contém um relato das minhas atividades acadêmicas nos últimos anos, passando pela minha formação de graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado. Descrevo também minha atuação profissional como professor do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática e como professor pleno do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. Darei ênfase nas minhas atividades de **ensino, formação e orientação, pesquisa e coordenação**. Procurei, ao elaborar o memorial, enfatizar os aspectos de minha formação e de minha atuação como docente e como pesquisador que contribuíram mais diretamente para delinear meu perfil como profissional acadêmico. Assim, diversos detalhes foram omitidos, constando porém de meu curriculum vitæ e relatório de atividades.

Uma cópia eletrônica deste memorial e do relatório de atividades contendo *links* para os documentos referenciados está disponível em [www.cos.ufrj.br/~mario/concurso2015](http://www.cos.ufrj.br/~mario/concurso2015)

Este documento está organizado da seguinte forma. Na seção 2, descrevo minha formação acadêmica desde minha graduação até meu pós-doutorado. A seção 3 é dedicada as minhas atividades de ensino e orientação de alunos de graduação e de pós-graduação. Na seção 4, descrevo minhas atividades de pesquisa. Finalizando, na seção 5, descrevo minhas atividades de coordenação tanto nos departamentos onde trabalhei como em projetos de pesquisa dos quais participei. Na seção 6, proponho o título da conferência de conteúdo técnico científico.

# 2 Formação

Formei-me em Engenharia Elétrica pela Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro com ênfase em Engenharia de Sistemas em 1982. Desde que ingressei, em 1978, cursei turmas especiais de Cálculo e Álgebra Linear e sempre me interessei muito por cursos com enfoque matemático. Foi este um dos motivos que me levaram a escolher a Engenharia Elétrica, uma vez que a ênfase Sistemas tinha uma forte base em Matemática Aplicada. Fiz projeto final em Séries Temporais sob a orientação do Prof. Reinaldo de Souza Castro. Já no ciclo profissional cursei algumas eletivas de Computação e meu interesse cresceu em aprofundar meus estudos nesta área. Fiz estágio na Medidata, em sistemas operacionais por três meses e depois estagiei na Eletrobrás por 18 meses onde pude trabalhar com modelos de otimização aplicados ao setor elétrico (Programação Inteira, Programação Linear e modelos Econômico Financeiros). Meu interesse por Computação e Matemática

só cresciam e então passei a cogitar em fazer um mestrado.

No último ano da graduação cursei duas disciplinas do mestrado do Departamento de Informática da PUC-Rio as quais me motivaram muito em cursar o mestrado neste departamento. Em 1983, fui selecionado entre os quatro primeiros (neste ano só haviam quatro bolsas) e cursei as disciplinas sempre me interessando pelas mais teóricas e em todas elas obtive grau máximo 10,0 (dez). Ao terminar os créditos, passei num processo de seleção para trabalhar no CPqD-Telebrás em Campinas. Fiz minha tese na área de redes de computadores sob a orientação do Prof. Daniel Menasché. Defendi minha tese de mestrado em fevereiro de 1985 já com a certeza que queria fazer o doutorado. Infelizmente, devido a problemas familiares tive que adiar este projeto por dois anos.

Em 1987 fui fazer meu doutorado no Departamento de Computação do Imperial College em Londres sob a orientação dos Professores Tom Maibaum (orientador principal) e Dov Gabbay (segundo orientador). No Imperial havia nesta época um excelente grupo de Teoria da Computação e Inteligência Artificial, e pude aumentar meus conhecimentos em Computação Teórica e Matemática. Fiz minha tese em um sistema de Dedução Natural para Lógicas Modais Intuicionísticas e que foi um trabalho pioneiro nesta área. Defendi minha tese em setembro de 1991. Voltarei a este assunto com mais detalhes na seção 4 onde descreverei minhas atividades de pesquisa, em particular, o teor de minha tese de doutorado.

Recebi uma bolsa de fixação de recém doutor do CNPq para atuar no Programa de Engenharia de Sistemas da COPPE a partir de novembro de 1991. Em 1993 fiz um concurso para professor adjunto no Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática e fui admitido em outubro deste mesmo ano. Como neste departamento não havia pós-graduação, continuei a atuar na COPPE/Sistemas na pós-graduação e no DCC na graduação.

Em 1997 fui fazer pós-doutorado na Universidade de Amsterdã, no Instituto ILLC "Institute for Logic, Language and Computation", sem dúvida um dos melhores lugares do mundo para se estudar Lógica e com certeza o melhor em Lógica Modal.

Passei por todos os níveis de professor Adjunto e Associado e hoje sou professor Associado IV. Continuo atuando na pós-graduação da COPPE-Sistemas e na graduação no DCC. Estas atividades serão detalhadas nas seções seguintes.

## 3 Ensino e Orientação

Recebi uma bolsa de fixação de recém doutor do CNPq para atuar no Programa de Engenharia de Sistemas da COPPE a partir de novembro de 1991. Em 1993 fiz um concurso para professor adjunto no Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática e fui admitido em outubro deste mesmo ano. Como neste departamento não havia pós-graduação, continuei a atuar na COPPE/Sistemas na pós-graduação e no DCC na graduação.

### 3.1 Graduação

Comecei a lecionar na graduação do departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática no segundo semestre de 1993 (mesmo antes de ser contratado). Nestes vinte um anos sempre lecionei uma disciplina obrigatória a cada semestre e sempre ofereci pelo menos uma ou duas eletivas por ano. Dentre as disciplinas que lecionei estão:

1. Matemática Combinatória (obrigatória)
2. Organização de Dados (obrigatória)
3. Lógica (obrigatória)
4. Linguagens Formais (obrigatória)
5. Inteligência Artificial (obrigatória)
6. Algoritmos e Grafos (obrigatória)
7. Lógica em Programação (eletiva)
8. Tópicos Especiais em Algoritmos (Algoritmos Distribuídos) (eletiva)
9. Tópicos Especiais em IA (Álgebras de Processos) (eletiva)
10. Tópicos Especiais em IA (Lógica Epistêmica) (eletiva)
11. Tópicos Especiais em IA (Teoria dos Jogos) (eletiva)

Sempre procurei oferecer eletivas que pudessem complementar a formação dos alunos e com isso atraí-los para um projeto final sob minha orientação e posteriormente motivá-los para uma pós-graduação. Neste intuito, orientei dezenas de projetos finais e muitos deles me renderam bons alunos de mestrado e doutorado.

Tenho mantido, desde o início da minha carreira, bolsas de iniciação. Sempre acreditei na idéia que temos que despertar o interesse dos alunos em pesquisa desde cedo. Atualmente oriento três alunos de IC e sempre mantive pelo menos duas bolsas. Vários dos meus alunos de mestrado e doutorado foram bolsistas de iniciação científica sob minha orientação.

### 3.2 Pós-Graduação

Comecei a atuar no Programa de Engenharia de Sistemas da COPPE com uma bolsa de fixação de recém doutor do CNPq a partir de novembro de 1991. Mesmo com a minha contratação pelo DCC/IM continuei a atuar na pós-graduação no PESC/COPPE uma vez que o DCC não tinha uma pós-graduação ainda. No PESC tenho lecionado pelo menos duas disciplinas por ano, entre estas estão:

1. Teoria da Computação (obrigatória)
2. Algoritmos e Estrutura de Dados (obrigatória)
3. Lógica 1 (obrigatória)
4. Tópicos Especiais em Algoritmos (Algoritmos Distribuídos) (eletiva)
5. Tópicos Especiais em Concorrência (Álgebras de Processos) (eletiva)
6. Tópicos Especiais em Lógica Modal (eletiva)
7. Tópicos Especiais em IA (Teoria dos Jogos) (eletiva)
8. Tópicos Especiais em IA (Verificação de Modelos) (eletiva)

No PESC sempre atuei na linha de pesquisa de Inteligência Artificial onde temos um dos grupos mais fortes de Lógicas Aplicadas a Computação no Brasil. Neste ambiente propício pude orientar várias teses de mestrado e doutorado.

### Mestrado

Orientei quinze teses de mestrado sendo 13 no PESC e 2 no PPGI que é a pós-graduação do DCC/IM e iNCE. A seguir apresento-as:

1. Isaque Lima Maçalam Saab. Evolução do Conhecimento. 2013. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

2. Rafael Nader. Jogos Ocultos de Markov. 2013. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
3. Edno Vicente da Silva. Especificação Formal e Verificação Automática de Workflows Científicos. 2010. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, . Co-Orientador: Marta Mattoso.
4. Edurado Ramos Waghbi. Aplicação de Modelos Ocultos de Markov em Jogos de Estratégia Mista. 2009. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
5. Daniel Levitan. Algoritmos para Achar Equilíbrio em Jogos Baseados em Grafos. 2007. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
6. Luis Roberto Medeiros Lopes. MAPKAT: Um Framework Lógico para Planejamento Multi-Agente. 2006. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
7. Ricardo Ribeiro. Programação em Lógica em Jogos Extensivos. 2005. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
8. Paulo Coelho Ventura Pinto. Método de Tableaux Modal para Lógica Modal Epistêmica com Operador de Conhecimento Comum. 2005. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
9. Lorena Sophia Campos de Oliveira. Especificação de Software Educacionais utilizando Lógica de Diálogos e Sistemas Multi-agentes baseados em Conhecimento. 2004. PPGI - DCC/IM e iNCE - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
10. Ricardo Pires Mesquita. ProCalculus: Programação em Lógica e Álgebra de Processos. 2003. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
11. Michel de Almeida Carlini. Especificação de Sistemas Multi-Agentes Baseados em Conhecimento. 2002. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

12. Marcele Câmara de Souza. Utilização de Lógica Modal na Verificação de Sistemas de Trocas de Mensagens. 2002. PPGI - DCC/IM e iNCE - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Co-orientador: Fabio Protti.
13. Carla Amor Divino Moreira Delgado. Lógica de Conhecimento e Eventos em Sistemas Assíncronos. 2001. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
14. Marcelo Sihman. Detecção de Deadlock em Especificações Algébricas para Sistemas Concorrentes. 1998. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
15. Odinaldo T. Rodrigues. Prolog Modal de Ação e Revisão de Crenças Em Conjuntos Definidos. 1993. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

É importante observar que vários alunos que fizeram mestrado comigo também fizeram projeto final sob minha orientação.

## **Doutorado**

Orientei seis teses de doutorado todas no PESC. Considero que estas foram de grande proveito para minha pesquisa, para os alunos formados e para a UFRJ e a UFF e para o nosso país. Três dos meus ex-alunos de doutorado são atualmente professores do DCC/IM, dois são professores da UFF e uma é pesquisadora do IGBE. A seguir listo e comento cada uma das teses.

1. Paulo Pires. WEBTRANSACT: Uma Infraestrutura para Especificação e Coordenação de Composições de Serviços Web Robustas. 2002. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Paulo foi o meu primeiro aluno de doutorado a defender tese. Sua tese foi fruto de uma proveitosa coorientação com a Professora Marta Mattoso do PESC.

Na sua tese ele propõe uma infra-estrutura, chamada WebTransact para construção, manutenção e composição de serviços web confiáveis. Esta é uma arquitetura composta de várias camadas, uma linguagem baseada em XML e um modelo de transação. A arquitetura em multi-camadas permite agregar e homogeneizar serviços web heterogêneos. A linguagem baseada em XML "Web Service Transaction Language



(WSTL)"é proposta para especificação dos serviços de uma forma padrão. O modelo de transação propõe novos critérios de correção chamados "2L-guaranteed-termination"que são mais fraco que os critérios ACID para transações em banco de dados. Para provar estes critérios nós propomos um modelo formal de transações e composições de serviços web e provamos a correção de nossos protocolos.

Desta tese originaram-se três artigos sendo que o artigo P2 tem 135 citações de acordo com o Google Acadêmico.

- P1. *Building Reliable Web Services Compositions* , com Marta Mattoso and Paulo Pires, International Workshop Web Services: Research, Standardization and Development, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, v. 2593, p. 59-72, 2003.
- P2. *Mediating Heterogeneous Web Services*, com Marta Mattoso and Paulo Pires. In: 2003 Symposium On Applications And The Internet (SAINT 2003), Orlando. p. 344-347, 2003.
- P3. *WebTransact: A Framework for Building Reliable Web Service Compositions*, com Marta Mattoso and Paulo Pires. In: XXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2003, Campinas v. 3. p. 139-146, 2003.

Paulo Pires é atualmente Professor Adjunto do DCC/IM da UFRJ.

2. Vania Costa. Uma Lógica Modal Bidimensional para representação do Conhecimento em Sistemas Distribuídos Multi-agentes. 2002. Tese Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A tese da Vânia ainda é um dos temas da minha pesquisa atual, tendo obtido, para época, importantes resultados.

Esta tese propões abordagens para formalizar conceitos de conhecimento em grupo ou acordo de grupo como o conhecimento comum concorrente. Apresentamos uma semântica original, alguns exemplos e dois sistemas axiomáticos para descrever tais propriedades do conhecimento. As principais contribuições da tese foram:

- Subproduto Fechado de Lógicas Modais.  
Definimos o subproduto fechado de lógicas modais introduzindo dois aspectos: relativização e fecho transitivo;
- Semântica Bidimensional para Conhecimento  
Introduzimos um operador modal bidimensional  $K_i$  associado à

relação do fecho transitivo sobre a união das relações primárias do produto;

- Sistema Axiomático Bidimensional para Conhecimento  
Introduzimos as definições semânticas e o sistema axiomático  $S_m^2$  para uma lógica bidimensional de conhecimento no contexto de execuções assíncronas e cortes consistentes de um algoritmo distribuído.
- Formalização de Conhecimento em Algoritmos Distribuídos  
Ilustramos o conhecimento que pode ser modelado pelo sistema  $S_m^2$  através de um exemplo com o algoritmo distribuído PIF (propagation of information with feed-back)
- Lógica Bidimensional para Conhecimento Comum Concorrente  
Propomos uma axiomatização do conhecimento comum concorrente, o sistema  $C_m^2$ , e apresentamos as respectivas provas de corretude e completude em relação a este sistema.

Desta tese originaram-se alguns artigos sendo que dois deles foram muito inovadores:

- V1. *Formalizing Concurrent Common Knowledge as Product of Modal Logics*, com Vânia Costa, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, vol. 13, n. 6, 685-716, 2005.
- V2. *Reasoning about Knowledge in Asynchronous Distributed Systems*, com Vânia Costa, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, vol 13, n. 1, 5-28, 2005.

Vânia Costa é atualmente pesquisadora do IBGE.

3. Renata Freitas. Lógica Modal da Bifurcação. 2002. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A tese da Renata ainda é um dos assuntos que fazem parte do meu projeto de pesquisa atual. Sua tese foi fruto de uma proveitosa coorientação com a Professora Sheila Veloso que na época era professora do DCC/IM e do PESC.

Álgebras booleanas com operadores possuem uma contrapartida modal natural. Um exemplo bastante estudado é a Lógica de Setas, uma lógica modal associada à Álgebra Relacional. Este vínculo entre o formalismo

algébrico e sua lógica modal é forte o suficiente para permitir que problemas algébricos sejam reformulados na linguagem modal. Assim, o problema da axiomatização da classe das álgebras relacionais representáveis ganha sua formulação modal como o problema da axiomatização do quadrado. Neste trabalho apresentamos a Lógica Modal da Bifurcação, i.e., a contraparte modal da Álgebra com Operador de Bifurcação, seguindo os passos percorridos para a definição da Lógica de Setas a partir da Álgebra Relacional. Mostramos que, estendendo a Lógica de Setas para obter a Lógica de Setas com Bifurcação, da mesma forma como a Álgebra Relacional é estendida para a obtenção da Álgebra com Operador de Bifurcação, temos uma axiomatização das estruturas relacionais (com bifurcação) quadradas. Mostramos também que a Lógica de Setas com Bifurcação é equipolente em meios de expressão à Lógica de Primeira Ordem. Apresentamos ainda outra extensão da Lógica de Setas, a Lógica de Setas Híbrida Bidimensional, que tem o poder de expressão da Lógica de Primeira Ordem e no qual, portanto, também é possível axiomatizar o quadrado. Este sistema, no entanto, não é tão vantajoso quanto a Lógica de Setas com Bifurcação, pois não tem uma contraparte algébrica conhecida.

Desta tese originaram-se alguns artigos sendo que dois deles foram bastante importantes:

- F1. *On Fork Arrow Logic and its Expressive Power*, com Renata Freitas, Petrúcio Viana, Paulo Veloso and Sheila Veloso, **Journal of Philosophical Logic**, vol. 36: 489-509. DOI: 10.1007/s10992-006-9043-x. Springer 2007.
- F2. *Squares in Fork Arrow Logic*, com Renata Freitas, Petrúcio Viana, Paulo Veloso e Sheila Veloso, **Journal of Philosophical Logic**, v. 32, n. 1, p. 343-355, 2003.

Renata Freitas é atualmente Professora Adjunta do departamento de Análise do Instituto de Matemática da UFF. E após sua tese nós continuamos trabalhando e publicamos alguns artigos como apresentado na seção 4.

- 4. Vera Lúcia Prudência dos Santos. Concorrência e Sincronização em Lógica Dinâmica de Processos. 2005. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A tese da Vera abriu caminho para a tese do Luis Menasché Schechter e foi um embrião de uma linha de pesquisa que estou seguindo até hoje.

Nesta tese nós propomos uma extensão da Lógica Proposicional Dinâmica cujo programas são termos da Álgebra de Processos CCS. Nós propomos uma semântica e provamos a propriedade do modelo finito. Apresentamos uma axiomatização e provas sua completude e corretude em relação a semântica proposta.

Vera Santos é atualmente Professora Adjunta do Instituto de Ciências Exatas do polo da UFF de Volta Redonda. Descreverei mais sobre este trabalho na seção 4 e de suas continuações na tese do Luis Menasché Schechte.

5. Carla Amor Divino Moreira Delgado. Modelagem e Verificação de Propriedades Epistêmicas em Sistemas Multi-Agentes. 2007. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O objetivo deste trabalho é desenvolver modelos, estratégias e algoritmos para verificar formalmente propriedades epistêmicas em sistemas Multi-Agentes. Três tipos de modelos são abordados e sua adequação e aplicabilidade discutidas. Primeiro, discutimos verificação de propriedades epistêmicas em modelos concorrentes para sistemas multi-agentes. A discussão se beneficia dos vários resultados recentes na área de verificação de modelos e de lógicas modais combinando operadores de conhecimento e tempo, e resulta numa proposta para construir as relações de conhecimento naturalmente a partir de especificações de sistemas baseadas em autômatos. Estendendo a discussão para modelos probabilísticos baseados em processos de Markov, consideramos modelos envolvendo probabilidade e não determinismo. As respectivas propostas para construção das relações de conhecimento levam em conta a natureza temporal, probabilística e/ou não determinística dos modelos, sendo discutido para cada caso como a semântica para conhecimento é influenciada pela natureza do modelo, uma vez que determinadas características do modelo como incorporação probabilidades ou tratamento discreto / contínuo do tempo influenciam as noções particulares dos agentes participantes do sistema. Apresentamos uma extensão da lógica temporal de probabilidades PCTL com o operadores modais de conhecimento, e propomos um processo de verificação de propriedades expressas nesta linguagem sobre as classes de modelos discutidas, apresentando também os algoritmos necessários.

A Carla foi minha aluna de graduação, de projeto final e de mestrado. Da sua tese de doutorado originaram-se algumas publicações, as mais relevantes são:

- C1. *On Vague Notions and Modalities: a Modular Approach* , com Carla Delgado, Renata Freitas, Petrúcio Viana, Paulo Veloso e Sheila Veloso, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, v. 18, p. 381-402, 2010.
- C2. *Verification of epistemic properties in probabilistic Multi-Agent Systems* , 17th German conference on Multi-Agent System Technologies (MATES), com Carla Delgado, **Lecture Notes in Artificial Intelligence**. Springer, vol. 5774, 2009.
- C3. *A Compositional Automata-based Approach for Model Checking Multi-Agent Systems*, 9<sup>th</sup> Brazilian Symposium on Formal Methods, **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**, com C. Delgado, C. Pombo, L. Lopes e R. Ribeiro, Elsevier, v. 195: 133-149, 2008.

Carla Delgado é atualmente Professora Adjunta do DCC/IM da UFRJ.

- 6. Luis Menasché Schechter. Aplicações de Lógicas Modais a Teoria de Grafos e Sistemas Concorrentes. 2010. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A tese do Luis foi continuação das teses da Vera Santos (doutorado) e Ricardo Ribeiro (mestrado).

Neste trabalho, desenvolvemos novas aplicações de lógicas modais em duas áreas. Primeiramente, analisamos como descrever e verificar de maneira eficiente conectividade, aciclicidade e as propriedades hamiltoniana e euleriana utilizando lógicas modais. Para esta tarefa, utilizamos lógicas híbridas e lógicas modais graduadas. Ainda no estudo de propriedades de grafos, também determinamos uma condição necessária e suficiente para um grafo ser um produto cartesiano de grafos, obtendo um avanço em relação a um resultado anterior da literatura, que fornecia uma condição necessária, mas não suficiente. Além disto, utilizamos esta caracterização para obter axiomatizações corretas e completas para vários produtos de lógicas modais de dimensões arbitrárias. Este é um segundo avanço em relação a resultados anteriores da literatura, onde a maior parte dos sistemas axiomáticos corretos e completos apresentados se restringe a produtos de um par de lógicas modais. Posteriormente, consideramos extensões da Lógica Dinâmica Proposicional (PDL) com operadores para a descrição de comportamentos concorrentes. Nosso objetivo é construir lógicas dinâmicas que sejam apropriadas para a descrição e verificação de propriedades de sistemas comunicantes concorrentes, de maneira análoga ao uso de PDL

para o caso sequencial. Primeiramente, adicionamos a PDL o operador paralelo de CCS e, posteriormente, também adicionamos a possibilidade de passagem de nomes presente no  $\pi$ -Cálculo. Diferentemente de outras lógicas dinâmicas para sistemas concorrentes apresentadas anteriormente na literatura, nossas lógicas possuem semânticas de Kripke simples, axiomatizações completas e a propriedade do modelo finito.

Esta tese originou muitas publicações, listarei a seguir somente as em periódicos internacionais.

- L1. *Propositional dynamic logics for communicating concurrent programs with CCS's parallel operator*, **Journal of Logic and Computation**, vol. 24(4), pp. 919-951, 2014.  
(<http://dx.doi.org/10.1093/logcom/exu001>).
- FG5. *A study on multi-dimensional products of graphs and hybrid logics*, **Theoretical Computer Science**, vol. 412, pp. 4946-4966, 2011.  
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.tcs.2011.05.011>).
- FG2. *Using Modal Logics to Express and Check Global Graph Properties*, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, vol. 17, pp. 559-587, 2009.  
(<http://dx.doi.org/10.1093/jigpal/jzp021>).

Luis Menasché é atualmente Professor Adjunto do DCC/IM da UFRJ. Após sua tese nós continuamos trabalhando e publicamos alguns artigos como apresentado na seção 4.

## Pós-Doutorado e Sabático

Os seguintes pesquisadores estão fazendo pós-doutorado ou passando sabático comigo.

1. Ivan José Varzinczak. Pós-doutorado no Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRJ desde abril de 2014. Com bolsa concedida pelo CNPq no programa Ciência Sem Fronteiras para atração de jovens talentos BJT nível A. Supervisão e coordenação do projeto: Prof. Mario Benevides.
2. Lew Gordev. Pesquisador visitante senior no Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRJ desde janeiro de 2013. Com bolsa concedida pelo CNPq no programa Ciência Sem Fronteiras. Supervisão e coordenação do projeto: Prof. Mario Benevides.

## 4 Pesquisa

Nesta seção relato minhas atividades de pesquisa desde o meu doutorado no Imperial College em Londres. Sempre me interessei por diversos aspectos de teoria da computação. Tenho resultados em Algoritmos Distribuído, Álgebras de Processos, Complexidade e Teoria dos Grafos mas sempre mantendo uma perspectiva de Lógica, em particular de Lógicas Modais aplicadas a problema de computação.

Irei dividir meus interesses de pesquisa em tópicos que muitas vezes se misturam. O objetivo é somente organizacional.

### 4.1 Lógicas Modais

Lógicas Modais tem sido estudadas formalmente desde o início do século XX. Na forma como conhecemos hoje podemos dizer que esta teve seu início nos trabalhos de Lewis em 1918. Ele introduziu vários sistemas modais, usados até hoje, mas foi Gödel em 1933, que apresentou lógica modal como conhecemos hoje, como uma extensão modular da lógica proposicional clássica. Além disso, ele relacionou pela primeira vez lógica modal com lógica intuicionística, propondo uma tradução da lógica intuicionística na lógica modal  $S4$ . Seguiram-se vários trabalhos importantes até se chegar a semântica de mundos possíveis. Carnap propôs uma semântica baseada em estados. Prior desenvolveu muitas linguagens temporais que usamos até os dias de hoje. Mas foi o trabalho de Jónsson e Tarski que seria o primeiro a antecipar uma nova semântica que iria dominar o cenário de Lógica Modal, semântica de mundo possíveis. Jónsson e Tarski introduziram álgebras booleanas com operadores em 1952 e seu teorema de representação indicava como construir modelos nesta nova semântica.

A Semântica Relacional de Mundos Possíveis iria impulsionar enormemente a área de Lógicas Modais. Hintikka (1962) parece ter sido o primeiro a propor uma semântica relacional mas esta se tornou bem sucedida e difundida a partir dos trabalhos de Kripke (1959, 1962, 1963). A partir destes trabalhos lógicas modais tiveram um desenvolvimento muito grande se estabelecendo como um dos ramos mais proeminentes em Lógica Matemática e em Lógicas Aplicadas a Computação. Grandes avanços ocorreram nos aspectos: semânticos, sintáticos, algébricos e de complexidade computacional.

Neste cenário floresceram muitas lógicas com motivações e aplicações em computação. Lógicas Temporais para modelar tempo linear e ramificado com bons algoritmos de verificação de modelos. Lógicas Epistêmicas para modelar conhecimento e crenças em sistemas com múltiplos agentes. Lógicas Dinâmicas para raciocinar sobre propriedades de programas. Lógicas Intuicionísticas

modais com interpretações em semântica operacional de programas.

Nesta corrente de lógicas modais aplicadas a computação, Dov Gabbay era um dos nomes mais ativos nesta comunidade e tinha obtido importantes resultados em Lógicas Temporais, Lógicas Dinâmicas e em Lógicas intuicionísticas. Em 1984 Dov mudou-se para o Departamento de Computação do Imperial College e em 1988 tornou-se Professor Titular. Cheguei ao Imperial College para cursar meu doutorado em 1987 e sofri uma forte influência deste "ambiente modal" proporcionado pelo Dov Gabbay e seu grupo. Isto me levou a aprofundar meus estudos em Lógicas Modais e posteriormente fazer minha tese em Lógicas Modais Intuicionísticas. Este tópico relatarei numa seção a seguir.

#### 4.1.1 Lógicas Modais Intuicionísticas

Lógicas Modais e Lógicas Intuicionísticas sempre estiveram inter-relacionadas. Gödel em 1933 proveu uma interpretação da lógica intuicionística na lógica modal  $S4$ . E Kripke, o autor da semântica de mundos possíveis, proveu uma semântica relacional (modal) para a lógica intuicionística.

O primeiro trabalho envolvendo lógica modal intuicionística foi o de Fitch em 1948, seguido por Pior (1957) e Bull (1965). Seguiram-se a estes um grande número de artigos onde Dov Gabbay obteve importantes resultados semânticos (teoria de modelos). De uma forma independente Edwald (1978), Fischer-Servi (1977) e Plotkin e Stirling (1985) desenvolveram uma lógica modal intuicionística chamada **IK** propondo um sistema axiomático e uma semântica que foi de bastante importância, não só para a comunidade de Lógicas Modais, mas também para o trabalho que desenvolvi na minha tese.

Em meados dos anos 80 muito havia-se discutido sobre Lógicas Modais Intuicionística sob o ponto de vista semântico mas muito pouco sobre problemas de teoria da prova. Quase todos os sistemas de prova eram axiomáticos e de muito pouco uso para fazer deduções de fato. Neste contexto propus na minha tese de doutorado um sistema de provas para várias Lógicas Modais Intuicionísticas em de Dedução Natural. Este foi um trabalho pioneiro que teve grande repercussão. A seguir descrevo minha tese e alguns artigos originados dela.

#### Tese de Doutorado

Na minha tese proponho uma metodologia baseada em teoria da prova para representar raciocínio baseado em múltiplos estados tanto no nível lógico (conectivos lógicos) como no nível extra-lógico (propriedades relacionadas a estados). Usando esta metodologia nós provemos uma sistema de Dedução



Natural para várias Lógicas Modais Clássicas e Intuicionísticas. Nós apresentamos um sistema de Dedução Natural para Lógica Clássica de Primeira Ordem e para a Lógica Intuicionística o qual provê uma distinção clara entre suposições e axiomas extra-lógicos. Usando este sistema de Dedução Natural nós representamos o problema de planejamento clássico que faz revisões de apresentação de teorias e resolve o "frame problem" para algumas classes de problemas.

Dois artigos da minha tese tem sido muito referenciados por terem sido pioneiros nesta área. A seguir faço uma breve descrição dos mesmos. O mais recente é uma versão estendida e mais completa do primeiro por ser um capítulo de livro.

- T1. *A Constructive Presentation for the Modal Connective of Necessity*, com Thomas S. E. Maibaum, **Journal of Logic and Computation**, vol. 2(1), pp. 31-50, 1992.
- T2. *A Natural Deduction Presentation for Intuitionistic Modal Logics*, **Logic Sets and Information**, Ed. W. Carnielli and L. Pereira, CLE, pp. 25-59, 1995.

Este trabalhos propõem uma apresentação construtiva para lógicas modais em dedução natural. Os operadores modais são apresentados de forma construtiva e esta pode ser vista como uma semântica operacional para eles. Conectivos modais tem sido considerados conectivos intencionais por muito tempo mas os lógicos que trabalham com lógicas modais tem insistido em usar técnicas extencionais para lidar com eles. Nestes artigos os operadores modais são apresentados como conectivos de ordem superior definidos sobre os conectivos do nível objeto. O sistemas modal mais simples que definimos coincide com o sistema modal clássico K. As lógicas modais mais importantes tem apresentações elegantes em dedução natural no nosso sistema. T, S4, S5, D, D4, D5 são apresentadas sem usar nenhuma condição extra-lógica na estrutura das deduções. A maioria das apresentações de lógicas modais intuicionísticas falham em dar uma interpretação construtiva para os conectivos modais. Em geral, estas interpretações são baseadas em algum elemento estranho, por exemplo relação de acessibilidade, que não são intuicionísticas de forma alguma. No nosso sistemas, nós não somente damos uma interpretação intuicionística para os conectivos modais que leva em conta somente propriedades das deduções, como também apresentamos estes conectivos construtivamente em Dedução Natural.

## 4.2 Lógicas Modais e Aplicações em Computação

Em 1997 fui fazer meu pós-doutorado na Holanda no "Institute for Logic, Language and Computation" na Universidade de Amsterdã. Este com certeza é o melhor lugar para se estudar lógicas modais no mundo. Este ano no ILLC mudou o rumo do meu trabalho que até então seguia um viés de teoria da prova para lógicas modais para um visão de lógicas modais aplicadas a problemas de Teoria da Computação. Neste sentido comecei a me interessar mais por sistemas distribuídos, o que me levou a estudar algoritmos distribuídos e álgebra de processos. Estes estudos tiveram uma forte influência nos trabalhos que se seguiram.

### 4.2.1 Algoritmos Distribuídos

No Programa de Engenharia de Sistemas da COPPE, no final da década de 90, tive a oportunidade de trabalhar com os professores Valmir C. Barbosa e Felipe França e desta parceria resultaram os seguintes trabalhos:

- AD1. *A Priority Dynamic for Generalized Drinking Philosophers*, com Valmir C. Barbosa and Ayru L. Oliveira Filho, **Information Processing Letters**, v.79, p. 189-195, 2001.

Algoritmos de detecção de deadlocks são componentes essenciais em sistemas distribuídos. Seja  $N$  o conjunto de processos numa computação distribuída. Um “dealock” existe se um subconjunto  $S \subseteq N$  fica bloqueado na computação pela ocorrência de uma certa condição que somente pode ser resolvida pelos membros de  $S$ . Um modelo usado para a análise de “dealock” é o grafo de espera  $G=(N,E)$ , onde uma aresta  $(p_1, p_2) \in E$  se  $p_1$  está bloqueado de executar por alguma condição ocasionada por  $p_2$ . Dizemos que um modelo é AND, OR ou AND-OR se um dado processo tem que esperar todos, pelo menos um ou algum subconjunto dos seus vizinhos no grafo de espera, respectivamente. O modelo AND-OR é o mais geral e engloba os outros dois.

Neste trabalho nós generalizamos o problema dos Filósofos Bebendo (GDrPP) para que processos possam fazer pedidos de recursos usando uma política AND-OR e não uma política AND como no problema original. Para resolver este problema, nós propomos uma nova política de prioridades no acesso aos recursos que é uma generalização da política de reversão de arestas proposta para o problema original. Esta nova política de dinâmicas de prioridades é baseada em resultados inovadores sobre os grafos de espera resultantes dos pedidos AND-OR.

Mas especificamente, nós introduzimos SSER, que é uma generalização de SER, para *deadlock-and-lockout-free* para compartilhamento de recursos pedidos usando-se uma política AND-OR. SSER opera alternado as prioridades globais no grafo G, de maneira que, embora possa haver ciclos, pelo menos um dos c-subgrafos geradores de G é sempre acíclico.

Este resultado foi obtido conjuntamente com o Professor Valmir C. Barbosa do PESC.

- AD2. *Sharing Resources at Nonuniform Access Rates*, com Valmir C. Barbosa and Felipe M. G. França, **Theory of Computing Systems**, v. 34, p. 13-26, 2001.

Nós apresentamos o problema dos filósofos jantando com frequências DPPr ("Dining Philosophers Problem with rates") como uma generalização do problema dos filósofos jantando ("Dining Philosophers Problem") DPP, no qual processos compartilham recursos com frequências relativas de acesso pré-estabelecidas. DPPr é uma abstração do problema de compartilhamento de recursos com aplicações na sincronização de alguns algoritmos distribuídos para redes neurais e para geração de sinais de tempo em circuitos digitais assíncronos. Nós damos duas soluções assíncronas e completamente distribuídas para DPPr. Na primeira solução, nós reduzimos o DPPr ao DPP em alta carga e empregamos um mecanismo de escalonamento para resolver este último problema que nos dá uma concorrência ótima. A segunda solução emprega técnicas de dinâmicas em multigrafo para resolver o DPPr. Este resultado foi obtido conjuntamente com os Professores Valmir C. Barbosa e Felipe G. França ambos do PESC.

#### 4.2.2 Mediação de Serviços Web

Ainda no final da década de noventa, tive a oportunidade de coorientar a tese de doutorado do aluno Paulo Pires com a professora Marta Mattoso do PESC. O qual gerou artigos de grande repercussão internacional. Nestes trabalhos propomos uma infra-estrutura, chamada WebTransact para construção, manutenção e composição de serviços web confiáveis. Esta é uma arquitetura composta de várias camadas, uma linguagem baseada em XML e um modelo de transação. A arquitetura em multi-camadas permite agregar e homogeneizar serviços web heterogêneos. A linguagem baseada em XML "Web Service Transaction Language (WSTL)" é proposta para especificação dos serviços de uma forma padrão. No modelo de transação propõe novos critérios de correção chamados "2L-guaranteed-termination" que é mais fraco

que os critérios ACID para transações em banco de dados. Para provar estes critérios nós propomos um modelo formal de transações e composições de serviços web e provamos a correção de nossos protocolos.

- P1. *Building Reliable Web Services Compositions*, com Marta Mattoso and Paulo Pires, International Workshop Web Services: Research, Standardization and Development, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, v. 2593, p. 59-72, 2003.
- P2. *Mediating Heterogeneous Web Services*, com Marta Mattoso and Paulo Pires. In: 2003 Symposium On Applications And The Internet (SAINT 2003), Orlando. p. 344-347, 2003.

O artigo P2 tem 135 citações de acordo com o Google Acadêmico.

#### 4.2.3 Lógicas Modais de Setas com *Fork*

Ao voltar do meu pós-doutorado na "Institute for Logic, Language and Computation", sofri forte influência da escola Holandesa de lógica, cujo o carro forte são Lógicas Modais. Lógicas de setas estavam começando nesta época e ao voltar propus ao professor Paulo Veloso do PESC e Sheila Veloso da UERJ, que tinham grande experiência em Álgebras Relacionais com *Fork*, alguns problemas que estavam em aberto. Nesta mesma época a aluna de doutorado Renata Freitas estava começando seu doutorado e tive a oportunidade de coorientá-la com a professora Sheila Veloso.

Assim como lógica de setas pode ser vistas como a lógica modal das álgebras relacionais, lógica modal com *fork* pode ser considerada a lógica modal das álgebras de *fork*.

Lógica modal com *fork* é uma extensão da lógica de setas com um novo operador modal chamado *fork*. Neste trabalho é apresentado uma axiomatização para lógica modal com *fork*. Este novo operador induz uma semântica baseada na semântica de Kripke, porém o conjunto de mundos possíveis tem que ser fechado sobre uma operação de pareamento induzida pelos axiomas do *fork*. Para tanto, foi definido uma estrutura chamada *frame* de *fork*.

Finalmente, em F1 nós provamos a completude e corretude da nossa lógica modal com *fork* com relação a classe dos *frames* de *fork*. Em F2 nós estendemos esta prova para a classe dos quadrados, dando assim uma axiomatização ortodoxa para esta classe de estruturas. Estes resultados foram obtidos conjuntamente com Paulo Veloso (PESC), Sheila Veloso (UERJ), Renata Freitas (UFF) e Petrúcio Viana(UFF).

Deste trabalho originaram-se alguns artigos sendo que dois deles foram bastante importantes:

- F1. *On Fork Arrow Logic and its Expressive Power*, com Renata Freitas, Petrúcio Viana, Paulo Veloso and Sheila Veloso, **Journal of Philosophical Logic**, vol. 36: 489-509. DOI: 10.1007/s10992-006-9043-x. Springer 2007.
- F2. *Squares in Fork Arrow Logic*, com Renata Freitas, Petrúcio Viana, Paulo Veloso e Sheila Veloso, **Journal of Philosophical Logic**, v. 32, n. 1, p. 343-355, 2003.

É importante observar que estes trabalhos além de pioneiros resolveram questões importantes na área de Lógicas Modais e Álgebras Relacionais.

#### 4.2.4 Lógicas Epistêmicas e Sistemas Distribuídos

Este é um trabalho que junta lógicas modais e sistemas distribuídos. no final dos anos 90 Dov Gabbay publicou alguns artigos importantes sobre Produto de Lógicas Modais. Em algoritmos distribuídos e em teoria dos jogos tínhamos a noção de conhecimento comum. Um dos problemas clássicos de sistemas distribuídos é que conhecimento comum não pode ser atingido em sistemas assíncronos. De forma a contornar este problema surgiu a conceito de conhecimento comum concorrente. Este é um tipo de conhecimento comum que pode ser atingido em sistemas assíncronos. Até começo dos anos 2000 não existia uma axiomatização para esta noção. Foi para solucionar este problema que minha aluna Vânia Costa e eu publicamos os dois artigos:

- V1. *Formalizing Concurrent Common Knowledge as Product of Modal Logics*, com Vânia Costa, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, vol. 13, n. 6, 685-716, 2005.
- V2. *Reasoning about Knowledge in Asynchronous Distributed Systems*, com Vânia Costa, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, vol 13, n. 1, 5-28, 2005.

Lógicas de Conhecimento Crença tem sido usadas na especificação de propriedades de sistemas distribuídos. Os trabalhos pioneiros nesta área foram publicados por Halpern, Moses, Fagin e Vardi [11], cuja noção central é o conceito de conhecimento comum. No entanto, o modelo proposto por eles só funciona bem para o caso síncrono, levando a resultados errôneos para propriedades sobre o modelo assíncrono. Outras definições da noção de conhecimento comum tem sido propostas com o intuito de abranger os sistemas assíncronos. Panangaden e Taylor [18] apresentam a definição de conhecimento comum concorrente que é apropriada na modelagem de sistemas assíncronos, porém nenhum sistema de prova para esta lógica foi apresentado. Em

[7, 6] propomos uma semântica baseada no modelo assíncrono de Lamport [12], o qual é baseado em eventos que ocorrem nas execuções possíveis de um dado algoritmo distribuído e uma axiomatização para a noção de conhecimento comum concorrente usando produto de lógicas modais. Nosso sistema possui duas dimensões: uma que expressa propriedades de estados globais de uma execução e outra que expressa propriedades sobre execuções onde um dado estado global aparece. A lógica resultante é uma lógica bidimensional que é obtida do produto destas duas dimensões. Provas de completude e correção da nossa lógica de conhecimento e crença com relação ao seu modelo canônico foram obtidas.

Estes trabalhos, além de ter resolvido um problema que estava em aberto, deu origem a outros trabalhos que me encontro desenvolvendo no momento tais como:

- Estender a lógica proposta em [7, 6] com operadores da Lógica de Modelos de Ação e obter uma Lógica Epistêmica Bidimensional capaz de representar Conhecimento Comum Concorrente, que é o tipo de conhecimento que adequado em sistemas assíncronos. Com isto obtendo uma área bem mais vasta de aplicações que a Lógicas Epistêmicas Dinâmicas convencionais [24], onde o modelo é sempre síncrono.
- Em [4], nós propomos uma axiomatização usando Lógica Híbrida para o produto (Cartesiano) de lógicas modais. A semântica de Lógicas de Modelos de Ação é dada fazendo-se um produto (Categórico) de duas estruturas relacionais (estruturas de Kripke). Uma das críticas mais contundentes a Lógicas de Modelos de Ação é a falta de distinção clara entre sintaxe e semântica. Gostaríamos de investigar se as técnicas utilizadas em [4] poderiam ser utilizadas para prover uma axiomatização para estas lógicas de uma forma clara e elegante que distinga claramente a sintaxe da semântica.

### 4.3 Lógica Modal e Noções Vagas

Este trabalho foi mais uma parceria bem sucedida com Professores Paulo Veloso e Sheila Veloso. A motivação era novamente expressar propriedades de sistemas distribuídos que fossem verdadeiras na maioria dos estados globais e não necessariamente em todos os estados.

O principal objetivo foi desenvolver um arcabouço lógico modal para dar um tratamento qualitativo e preciso a noções vagas, tais como 'geralmente', 'muitos' e etc. Uma motivação computacional para este trabalho reside em sua aplicação em sistemas distribuídos. Uma importante classe de problemas

neste contexto envolve a detecção de propriedade estável. Num contexto mais concreto, uma propriedade estável é aquela que, uma vez estabelecida, assim se mantém para sempre. Propriedades de “deadlock” e terminação, por exemplo, são propriedades estáveis. Muitos problemas em sistemas distribuídos podem ser resolvidos pela detecção do estado global (e.g. o algoritmo para determinar estados globais de sistemas distribuídos de Chandy e Lamport). Cada processo registra seu estado e, caso haja um canal entre dois processos, esses processos registram o estado do canal. O problema aqui é que a inexistência de um relógio global impede a determinação do estado de todos os processos e dos canais num determinado instante, mas é requerido que os estados dos processos e dos canais formem um estado global. O algoritmo de detecção de estado global tem o papel análogo a um grupo de fotógrafos observando uma cena dinâmica, tal como um céu com pássaros migratórios. Esta cena é muito vasta e não pode ser capturada por uma foto única. Os fotógrafos, tomando várias fotos e colocando-as em conjunto, podem ter uma visão da cena toda. As fotos podem não ter sido tiradas ao mesmo tempo, mas a figura composta deve ser “significativa”. A definição precisa de “significativo” pode ser capturada pelo operador modal  $\nabla$ . Assim,  $\nabla\varphi$  tem o significado pretendido:  $\varphi$  é verdade num conjunto significativo de estados.

Voltando ao caso de sistemas distribuídos, no que diz respeito à avaliação de propriedades estáveis, um conjunto significativo de estados é suficiente para se expressar relações entre estados locais, estados globais do sistema e propriedades de computação distribuída, mesmo que não se possa determinar completamente o estado global a cada instante. Noções vagas, tais como ‘geralmente’, ‘a maioria’, ‘muitos’, etc., ocorrem com frequência no dia a dia, e podem ter aspecto tanto local como global. Por exemplo, quando se diz que “a maioria da ninhada de um animal de cor preta é de cor escura”, tem-se uma noção local de maioria, enquanto quando se diz que “em geral animais de cor preta têm em geral sua ninhada de cor escura”, a primeira ocorrência de ‘em geral’ é global (refere-se a “em geral, entre todos os animais”) enquanto a segunda ocorrência é local (refere-se à “maioria da ninhada de cada animal considerado”). Outras variantes da noção de operadores generalizados ocorrem em contextos multi-modais, como ilustrado num cenário de jogo de xadrez: há diferentes configurações do tabuleiro a partir do movimento de cada uma das peças e pode-se argumentar sobre a maioria das configurações resultantes do movimento de cada uma das peças.

Neste trabalho propomos uma abordagem modular para apresentar operadores para noções vagas com uma semântica nova baseada na noção algébrica de *Filtros*. Provamos correção e completude em relação e esta nova semântica.

Deste trabalho foram publicados alguns artigos sendo o mais importante:

- C1. *On Vague Notions and Modalities: a Modular Approach*, com Carla Delgado, Renata Freitas, Petrúcio Viana, Paulo Veloso e Sheila Veloso, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, v. 18, p. 381-402, 2010.

Este trabalho foi desenvolvido com minha aluna de doutorado Carla Delgado e os professores Paulo Veloso (PESC), Sheila Veloso (UERJ), Petrúcio Viana (UFF) e Renata Freitas (UFF).

#### 4.4 Lógicas Modais para Grafos Finitos

Este trabalho comecei durante meu pós-doutorado no ILLC em Amsterdã. Dele tive vários desdobramentos que vou resumir a seguir.

##### Lógicas Modais para Grafos Finitos

Nós apresentamos uma (axiomatização para uma lógica modal e provamos que esta é correta e completa com relação à classe dos grafos dirigidos finitos. As provas de corretude e completude usam técnicas da área de lógicas dinâmicas. Nós estendemos esta lógica para uma nova lógica modal e demonstramos que esta é correta e completa com relação a classe dos grafos finitos não-dirigidos. Finalmente, nós investigamos se algumas propriedades conhecidas de grafos são modalmente definíveis (isto é, se elas podem ser expressas por uma linguagem modal) ou não. Dentre estas propriedades nós investigamos: colorabilidade, planaridade, conectividade, propriedade de um grafo ser Euleriano e propriedade de um grafo ser Hamiltoniano. Um dos resultados principais deste trabalho é o uso do axioma de Löb em lógica dinâmica para garantir aciclicidade. Por último nós damos uma axiomatização correta e completa em relação à classe dos grafos  $k$ -coloríveis. O artigo resultante foi publicado como capítulo de livro internacional.

- FG1. *Modal Logic for Finite Graphs*, **Logic for Synchronization and Concurrency**, Ed. R. Queiroz, Kluwer Academic Publisher, series Trends in Logic, 2003, v. 18, p. 239-267.

##### Lógicas Modais com Operadores de Ponto-Fixo e Híbridas para Grafos Finitos

Em [3], nós apresentamos uma teoria de prova (axiomatização) para uma lógica modal e provamos que esta é correta e completa com relação à classe dos grafos dirigidos finitos. Nós estendemos esta lógica para uma nova lógica



modal e demonstramos que esta é correta e completa com relação à classe dos grafos finitos (não-dirigidos). Finalmente, nós investigaremos se algumas propriedades conhecidas de grafos são modalmente definíveis ou não. Dentre estas propriedades, temos: planaridade e conectividade, grafo ser Euleriano e ser Hamiltoniano. Nós mostramos que todas estas propriedades não são definíveis na lógica modal básica usando o argumento de invariância por bissimulação.

Nosso objetivo neste trabalho é analisar extensões da lógica modal com operadores de ponto-fixo que sejam capazes de expressar estas propriedades. Nosso primeiro candidato é o  $\mu$ -Calculus [5]. Esta é uma lógica modal estendida com operadores de menor e maior ponto-fixos. O  $\mu$ -Calculus preserva boa parte das boas propriedades da lógica modal, tais como: decidibilidade, modelo finito e bons algoritmos de verificação de modelos. Porém como a lógica modal, as fórmulas do  $\mu$ -Calculus são invariantes por bissimulação o que vai impedir a definibilidade das propriedades acima mencionadas. É um fato sabido que lógicas modais como PDL, CTL e CTL\* podem ser embutidas no  $\mu$ -Calculus [16]. Neste projeto nós propomos um extensão de CTL\* com nominais que chamaremos de CTL\* Híbrida. Como as fórmulas desta nova lógica não são invariantes por bissimulação, nós seremos capazes de expressar as propriedades de grafos que antes não podíamos.

Deste trabalho publicamos dois artigos sendo um em periódico internacional.

FG2. *Using Modal Logics to Express and Check Global Graph Properties*, com Luis Menasché Schechter, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, vol. 17, pp. 559-587, 2009. (<http://dx.doi.org/10.1093/jigpal/jzp021>).

FG3. *Modal Expressiveness of Graph Properties*, II Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications (LSFA 2007), com Luis Menasché Schechter, **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**, Elsevier, v. 205: 31-47, 2008.

Este trabalho foi desenvolvido com meu aluno de doutorado Luis Menasché Schechter como parte de sua tese de doutorado. Este artigo foi pioneiro na área e existem vários trabalhos de outros autores que usam nossos resultados.

## Produto de Lógicas Modais, Produto de Grafos e Lógica Híbrida

Lógicas Híbridas são lógicas modais estendidas com um conjunto especial de símbolos proposicionais chamados de *nominais* cuja semântica é denotar um único estado (mundo possível). Nestas lógicas também podemos ter acesso direto ao estado denotado por um nominal  $i$  usando-se o operador  $@_i$ . A fórmula  $@_i\varphi$  é verdadeira se, no estado denotado por  $i$ ,  $\varphi$  é verdadeira. O uso de nominais tem sido investigado em vários trabalhos no contexto de Lógica Dinâmica.

Produto de Lógicas Modais é uma técnica para combinar lógicas modais gerando Logicas Modais Multi-dimensionais. Nestas últimas os estados são pares (n-tuplas) ordenados representando as dimensões onde as fórmulas serão avaliadas.

Lógica Dinâmica Proposicional PDL é utilizada na especificação formal de programas e ações. PDL é uma lógica modal com múltiplas modalidades: uma modalidade  $\langle\pi\rangle$  para cada programa. Propriedades como correção, terminação, justiça ("fairness"), segurança ("liveness") e equivalência de programas estão entre as propriedades que podem ser expressas nesta lógica.

A decomposição de um grafo como um produto consiste em saber se o grafo é isomorfo a um grafo que é o produto cartesiano de dois grafos não-triviais.

Três condições são conhecidas para um grafo ser o produto de outros dois: comutatividade à esquerda, comutatividade à direita e Church-Rosser. Embora estas condições sejam necessárias, elas não são suficientes. Existem grafos que satisfazem as três propriedades e não podem ser decompostos como um produto de outros dois.

Na primeira parte deste trabalho nós investigaremos condições necessárias e suficientes para um grafo ser produto (não-trivial) de outros dois. Primeiro nós provamos que um grafo é produto se e somente se todas as suas componentes verticais (horizontais) são isomorfas. Depois nós demonstramos que se adicionarmos às três condições apresentadas no parágrafo anterior uma nova condição chamada H-V-Intransitividade nós obtemos condições necessárias e suficientes para o grafo ser produto de outros dois. Intuitivamente, esta última propriedade diz que se um grafo é produto de outros dois então ele não pode ter diagonais.

Na segunda parte, nós propomos usar Lógica Dinâmica com nominais para axiomatizar as quatro condições para um grafo (frame) ser produto de dois outros. Nós também investigamos questões de decidibilidade, modelo finito e completude desta lógica.

Os seguintes artigos foram publicados deste trabalho:

- FG4. *A study on multi-dimensional products of graphs and hybrid logics*, com Luis Menasché Schechter, **Theoretical Computer Science**, vol. 412, pp. 4946-4966, 2011. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.tcs.2011.05.011>).
- FG5. *Product of Graphs and Hybrid Logic*, IV Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications (LSFA 2009), **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**, com Luis Menasché Schechter, Elsevier, v. 256: 103-118, dezembro de 2009.

Desta tarefa foi publicado o artigo FG4 no periódico internacional "Theoretical Computer Science". Este artigo foi parte também da tese do meu aluno de doutorado Luis Menasché Schechter. Este resolve problemas importantes como condições necessárias e suficientes para um grafo ser o produto de dois outros e axiomatização de produtos de lógicas modais que até então não eram conhecidas.

## Hierarquia Polinomial de Propriedades de Grafos em Lógica Híbrida

Em [2] nós investigamos uma extensão da Lógica Híbrida para grafos que é baseada [23]. Esta extensão tem propriedades interessantes como decidibilidade e modelo finito. Investigamos, junto com o grupo da Universidade Federal do Ceará (Profa Ana Teresa Martins, Francicleber M. Ferreira e Cibele M. Freire), no âmbito do projeto Casadinho (CNPq – Projeto CASADINHO Edital/MCT/CNPq/PADCT Região

Nordeste, consolidação do Programa de Pós-Graduação), se qualquer propriedade de grafos expressa nesta linguagem está na classe de complexidade NP. Nos dá uma forma descritiva de provar limite superior para propriedades de grafos.

Mais especificamente, neste trabalho nós mostramos que para cada propriedade de um grafo  $\mathcal{G}$  na Hierarquia Polinomial (PH) existe uma sequência de fórmulas  $\phi_1, \phi_2, \dots$  da lógica híbrida completa que é satisfeita exatamente pelas estruturas de Kripke baseadas em  $\mathcal{G}$ . Além disso, o tamanho de  $\phi_n$  é limitado por um polinômio em  $n$ . Estes resultados levaram a definição sintática do fragmento de lógica híbrida cujo o problema de verificação de modelos é completo para cada grau na hierarquia polinomial.

Os seguintes artigos foram publicados deste trabalho:

- NP1. *Polynomial hierarchy graph properties in hybrid logic*, com Francicleber M. Ferreira, Cibele M. Freire, Luis Menasché Schechter, Ana T. Martins, **Journal of Computer and System Sciences**, vol. 80, pp. 1087-1101, 2014. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcss.2014.04.003>).

NP2. *Hybrid Logics and NP Graph Properties*, XVIII Workshop on Logic, Language, Information and Computation (Wollic 2011), com Francicleber Ferreira, Cibele Freire, Luis Menasché Schechter e Ana T. Martins, **Lecture Notes in Artificial Intelligence**. Springer, v. 6642, p. 123-134, 2011.

Esta colaboração com o grupo da UFC foi muito proveitosa e nos levou a renovar o projeto CNPq-Casadinho até os dias de hoje.

## 4.5 Lógica Dinâmica e Concorrência

O uso de Lógicas Modais para especificação de sistemas distribuídos tem sido de grande sucesso em verificação e prova de propriedades sobre estes sistemas. Sempre me interessei por outros formalismos para especificação de sistemas concorrentes, tais como Álgebras de Processos, Redes de Petri e Álgebras com *Fork*. Nos trabalhos que se seguem, nós estendemos Lógicas Modais Dinâmicas, que são lógicas para raciocinar sobre programas sequências, para que estas possam raciocinar sobre programas concorrentes.

## Lógica Dinâmica e Álgebras de Processos

Este trabalho começou com a tese de doutorado da minha aluna Vera L. P. dos Santos e se estendeu na tese do aluno Luis Menasché Schechter. Este ainda é um dos tópicos que trabalho atualmente.

CSS (Calculus of Communication Systems) é uma linguagem algébrica de especificação de comunicação e sincronização em sistemas concorrentes proposta por Robin Milner [14]. Ela trata da interação entre processos através de ações de comunicação. Uma especificação em CCS é uma descrição do comportamento do sistema em função dos eventos de comunicação que ocorrem.

Lógica Dinâmica Proposicional PDL tem um papel importante na especificação de propriedades de programas. Várias propostas têm sido feitas de se ter uma contrapartida lógica para CCS. As mais conhecidas são: Lógica de Hennessy-Milner, a Lógica Dinâmica Concorrente CPDL e channel-CPDL de David Peleg [20, 21]. A primeira é simplesmente uma lógica multi-modal com uma modalidade para cada porta (ação) de comunicação. A segunda e a terceira são lógicas dinâmicas proposicionais para programas regulares estendida com um operador de sincronização. CPDL e channel-CPDL são bem próxima da Lógica de Jogos [19] e elas são bem apropriadas para representar propriedades de sistemas concorrentes e jogos. A semântica de

channel-CPDL é baseada em super-estados (composição de estados) e super-processos e o problema de satisfabilidade nesta lógica é indecidível ( $\Pi_1^1$ -hard). Ela também não tem uma axiomatização completa.

Neste trabalho nós investigamos uma lógica dinâmica cujas ações são programas CCS. Nossas fórmulas tem a forma  $[\pi]\varphi$ , cujo significado é: após a execução do programa  $\pi$ , é sempre o caso que  $\varphi$  vale. Nos programas CCS temos os operadores de prefixo, composição paralela, escolha não-determinística, restrição e renomeação. Com esta linguagem somos capazes raciocinar sobre especificações CCS tanto no nível das ações como no de comunicações e sincronizações. Por outro lado, devido ao mecanismo de comunicação simples de CCS temos uma lógica decidível. Este trabalho gerou as publicações CCS1, CCS2 e CCS4.

$\pi$ -Calculus é uma extensão do CCS para processos móveis [15]. A idéia é permitir que nomes de portas de comunicação possam ser passados como dados e depois dinamicamente serem usados para comunicação. Um extensão natural deste trabalho foi desenvolver uma Lógica Dinâmica cujos os programas são programas (termos) do  $\pi$ -Calculus. Este trabalho foi publicado em CCS3. É importante observar que o M4M é um workshop muito prestigiado na área de lógicas modais aplicadas a computação.

Alguns resultados já foram publicados.

- CCS1. *Propositional dynamic logics for communicating concurrent programs with CCS's parallel operator*, Luis Menasché Schechter, **Journal of Logic and Computation**, vol. 24(4), pp. 919-951, 2014.  
(<http://dx.doi.org/10.1093/logcom/exu001>).
- CCS2. *Bisimilar and Logically Equivalent Programs in PDL*. VIII Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications, 2013, São Paulo. **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS (ENTCS)**, Elsevier, v. 305, p. 5-18, São Paulo, 2014.
- CCS3. *A Propositional Dynamic Logic for Concurrent Programs Based on the  $\pi$ -Calculus*, **Methods for Modalities (M4M)**, **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**, com Luis Menasché Schechter. Elsevier, v.262: 49–64, Maio de 2010.  
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.entcs.2010.04.005>)
- CCS4. *A Propositional Dynamic Logic for CCS Programs*, XV Workshop on Logic, Language, Information and Computation (Wollic 2008), com Luis Menasché Schechter, **Lecture Notes in Artificial Intelligence**. Springer, v. 5110, p. 83-97, 2008.

## Lógica Dinâmica e Redes de Petri

Em [9] é apresentada uma linguagem lógica que tem como modelo a dinâmica de recursos no formalismo de Redes de Petri. Este formalismo permite descrever o comportamento e propriedades de sistemas concorrentes. Uma extensão desta linguagem é proposta para especificar requisitos de sistemas de tempo real.

Redes de Petri são formalismos utilizados como ferramentas para modelagem de sistemas que possuem um alto nível de concorrência e paralelismo. Utilizando redes de Petri é possível modelar o fluxo de informações entre processos bem como a relação de dependência/independência entre eles.

Lógica Dinâmica Proposicional PDL tem um papel importante na especificação de propriedades de programas. Várias propostas têm sido feitas de se introduzir operadores de paralelismo e concorrência em PDL. As mais conhecidas são: Lógica de Hennessy-Milner e a Lógica Dinâmica Concorrente CPDL de David Peleg [20, 21].

Em [13] (PN2) utilizamos as técnicas propostas em [9] para estender PDL com o poder de expressar concorrência e ter como modelo Redes de Petri. Usando uma codificação de Redes de Petri como termos de uma álgebra, nós utilizamos estes termos como programas de uma lógica dinâmica. Desta forma conseguimos raciocinar e provar propriedades de sistemas distribuídos representados como Redes de Petri. Deste trabalho publicamos os artigos PN1 e PN2.

No momento estamos investigando extensões para redes de Petri mas gerais tais como: Redes Temporais, Redes Probabilísticas etc. Um resultado parcial foi publicado em PN3.

- PN1. *Propositional dynamic logic for Petri Nets*, com Bruno Viera e Hermann Haeusler, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, v. 22(5), p. 721-736, 2014.
- PN2. *Extending Propositional Dynamic Logic for Petri Nets*. VIII Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications, 2013, São Paulo, com B. Vieira e H. Haeusler. **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**. Elsevier, v. 305. p. 67-83, 2014.
- PN3. *Verifying properties in multi-agent systems using Stochastic Petri Nets and Propositional Dynamic Logic*. Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional, 2013, Fortaleza., com B. Vieira e H. Haeusler. Anais Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional. Rio de Janeiro: SBC, 2013.

Este trabalho está sendo desenvolvida em colaboração com o Professor Edward Hermann Haeusler e com o recém-doutor Bruno Lopes do Departamento de Informática da Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

## Lógica Dinâmica e *Fork*

Este trabalho começou com uma tentativa de estender Lógicas Dinâmicas com dados estruturados. O artigo GC2 foi proposto com os professores Petrúcio Viana e Renata Freitas ambos do Departamento de Análise do Instituto de Matemática da UFF. Devido a alguns resultados negativos resolvemos utilizar um Cálculo de Grafos para apresentar nossas lógicas. Esta abordagem se mostrou muito frutífera como mostram GC1 e GC3. Continuamos o trabalho com os professores Paulo Veloso da PESC e Sheila Veloso da UERJ generalizando vários dos resultados para Lógicas Modais em geral como apresentado em GC3. A seguir apresentaremos estas duas vertentes.

## Lógica Dinâmica para Dados Estruturados

Lógica Dinâmica Proposicional **PDL** é uma lógica multi-modal com uma modalidade  $\langle \pi \rangle$  para cada programa  $\pi$ . Os programas complexos são construídos a partir dos programas básicos e de operadores. A versão mais popular de PDL é a de programas regulares onde os operadores são:  $;$  (composição)  $\cup$  (ou não-determinístico),  $?$  (teste) e  $+$  (iteração). Com estes operadores e os programas básicos é possível expressar operadores usuais tais como: *while*, *repeat*, *if then else* e etc.

Lógica de Separação (*Separation Logic*) [17, 22] é um formalismo proposto recentemente para descrever e verificar propriedades de programas, ela é um extensão de lógica de Hoare. Seu objetivo é descrever programas com estruturas de dados compartilhadas e modificáveis, isto é, estruturas de dados que podem ser manipuladas e modificadas em diferentes pontos do programa. Intuitivamente, esta lógica permite descrever propriedades sobre *heaps* e tem operações para alocar e desalocar dinamicamente dados armazenados. Um grande esforço tem sido feito nos últimos anos para formalizar esta lógica e muitos aspectos ainda estão em aberto.

O objetivo deste trabalho é estender PDL com cinco operadores: quatro operadores básicos de armazenamento e recuperação de informações em arrays e um quinto operador de composição paralela. Esta nova extensão chamada de *PDL with Storing and Recovering and Parallel Composition* **PRSPDL** é mais expressiva do que PDL.

Cálculo de Grafos [10, 8] é uma maneira poderosa de apresentar lógicas. Esta provê uma notação gráfica de apresentação de conectivos e propriedades lógicas bastante intuitiva e muito expressiva.

Em [1] nós apresentamos a linguagem e a semântica de **PRSPDL** e ilustramos, com exemplos, o uso desta em problemas que envolvem armazenamento e recuperação de informações. Porém, só propomos uma axiomatização e provamos correção e completude para um fragmento desta chamado **RSPDL**<sup>0</sup>. Este fragmento é obtido de PRSPDL retirando-se os operadores de composição paralela, iteração e test.

Lógicas Dinâmicas não são apropriadas para representar paralelismo. Neste sentido nós usamos um cálculo de grafos e adicionamos novos operadores para lidar com dados estruturados o quais envolvem codificação de pares de estados. Nós estendemos PDL com operadores de *fork* e projeções, que são operadores muito utilizados em Álgebras Relacionais com *Fork* [?]. Usando-se estes operadores podemos definir o operador de composição paralela, interseção de relações e vários outros que não modalmente definíveis.

Os seguintes artigos foram publicados.

- GC1. *PDL for structured data: a graph-calculus approach*, com Paulo Veloso e Sheila Veloso, **Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)**, v. 22(5), p. 737-757, 2014.
- GC2. *Propositional Dynamic Logic with Storing, Recovering and Parallel Composition*, **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**, Proceedings of V Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications (LSFA 2010) com Renata de Freitas e Petrucio Viana, Elsevier, v. 269: 95-107, 2011.

Este subprojeto é feito em colaboração com os professores Paulo A. S. Veloso da COPPE/Sistemas, Sheila M. Veloso da Universidade Estadual do Rio de Janeiro UERJ e Jorge Petrúcio Viana e Renata Freitas, professores do Dept. de Análise, Instituto de Matemática, Universidade Federal Fluminense.

## 4.6 Uma Abordagem de Grafos para Lógicas Modais

Cálculo de Grafos [10, 8] é uma maneira poderosa de apresentar lógicas. Esta provê uma notação gráfica de apresentação de conectivos e propriedades lógicas bastante intuitiva e muito expressiva.

Em [25] propomos uma abordagem baseadas em Grafos para Lógicas Multi-modais que é correta e completa. Este formalismo internaliza a semântica (de Kripke) da lógica modal de um forma uniforme e provê ferramentas



para expressar e manipular fórmulas modais. As regras de derivação simulam as propriedades semânticas dos operadores modais de uma forma bastante intuitiva.

Usar desenhos para representar relações é uma idéia bem natural: representar o fato de  $a$  estar relacionado com  $b$  via relação  $r$ , pode ser representado por  $a \xrightarrow{r} b$ . Usar notação de Grafos para representar relações tem sido usado em [10, 8]. Representações usando grafos tem sintaxe e semântica precisas e suas derivações são muito similares com a maneira que raciocinamos sobre modalidades semanticamente.

Lógicas modais e grafos são muito próximo. Semântica de Kripke é freqüentemente representada como um grafo rotulado pelas relações. Neste trabalho nós representamos fórmulas modais como grafos e associamos regras de derivação para raciocinar sobre estas.

Nós apresentamos um cálculo de grafos para o sistemas modal **K** e gostaríamos de estendê-lo para outros sistemas **T**, **S4**, **S5** e etc. e investigamos outros operadores que são normalmente apresentados usando-se regras não ortodoxas, tais como, operador de diferença, modalidade universal e interseção e etc... Que no nosso cálculo são apresentados de uma forma padrão como outros operadores de uma forma elegante.

Neste momento estamos investigando a possibilidade de usar algo baseado no método de filtragem para extrair modelos finitos.

Os seguintes artigos foram publicados.

GC3. *On a Graph Approach to Modal Logics*. VIII Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications, 2013, São Paulo, com P. Veloso e S. Veloso. **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**. Elsevier, v. 305. p. 123-139, 2014.

Este subprojeto é desenvolvido em parceria com os professores Paulo A. S. Veloso da COPPE/Sistemas e Sheila M. Veloso da Universidade Estadual do Rio de Janeiro UERJ.

## 5 Coordenação

Relato a seguir as atividades de coordenação na UFRJ, realizadas no Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática e no Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE, nos diferentes níveis: sub-chefia do departamento, representante dos professores associados na congregação, comissão de progressão; coordenação comissão de Bolsas do

Programa; chefia da linha de Inteligência Artificial; coordenação de projetos de pesquisa junto às agências de fomento CNPq, FAPERJ e CAPES; organização de eventos científicos ou cujo programa científico eu presidi; e a organização de volumes de periódicos como editor convidado.

## **5.1 Participação em Chefias, Comissões, Representação**

Tenho exercido algumas atividades em comissões tanto no Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática e no Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE. A seguir listo estas comissões:

### **Chefia**

1. Vice-chefe do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática de junho de 2012 até outubro de 2013, tendo assumido a chefia várias vezes em substituição ao chefe.
2. Chefe da Linha de Pesquisa de Inteligência Artificial do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE, 2006-2007.

### **Representante**

1. Representante Suplente dos Professores Associados na Congregação do Instituto de Matemática 06/2010 até 09/2011;
2. Representante Titular dos Professores Associados na Congregação do Instituto de Matemática 10/2011 até 05/2012;

### **Comissões**

1. Chefe da Comissão de Bolsa do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação de 2006 até 12/2010;
2. Comissão de Progressão de Professor Adjunto do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática 2008;
3. Membro da Comissão de Finanças do Programa de Eng. Sist. e Computação da COPPE de 2004-2005.

## 5.2 Participação em Projetos

Desde minha chegada ao Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE em 1991 que tenho participado e projetos de pesquisa junto as agências financiadoras. Desde 2004 coordeno projetos Universais sem interrupção. tenho tido êxito em todas as submissões que fiz neste últimos dez anos. A seguir listo os projetos que participei como coordenador e listo alguns mais recentes que participei como membro.

### 5.2.1 Participação em Projetos como Coordenador

1. CNPq - Universal 2014: Lógicas Modais Aplicadas à Computação, Faixa B - 12/2014-11/2015.
2. FAPERJ - APQ1 - Lógicas Modais Aplicadas à Computação, 09/2014 - 08/2015
3. CNPq - Bolsa de Produtividade em Pesquisa: Lógicas Modais, Álgebras de Processos e Especificação de Sistemas Concorrentes, desde 1993 até hoje
4. CNPq - APQ - Logical Foundations of Modern Defeasibility-Tolerant Knowledge-Based Systems - 04/2014 - 03/2017
5. CNPq - APQ - Provas: estrutura, transformações e semântica - 01/2013 - 02/2016
6. CNPq - Universal 2011: Lógicas Modais Aplicadas à Computação, - 12/2011-11/2013.
7. CNPq - Universal 2009: Lógicas Modais e Verificação de Sistemas Concorrentes, - 12/2009-/11/2011.
8. CNPq - Universal 2007: Lógicas Modais, Álgebras de Processos e Jogos, 2007-2009.
9. CNPq - Universal 2004: Lógicas Modais, Álgebras de Processos e Jogos, 2005-2007.

### 5.2.2 Participação em Projetos como Membro

1. CNPq - Universal 2015: Verificação de modelos de software com Lógica Dinâmica e Redes de Petri. Coordenador: Bruno Vieira, faixa A - 12/2014-11/2015.

2. CNPq - Universal 2015: Teoria das Categorias e Teoria da Prova: Uma interação via Computação Coordenador: Edward H. Hauesler, faixa B - 12/2014-11/2015.
3. CNPq - Universal 2011: Lógica intuicionista como base para ontologias jurídicas Coordenador: Edward H. Hauesler - 12/2011-11/2013.
4. CNPq-FAPERJ - Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia - Projeto Instituto Brasileiro de Pesquisa em Ciência da Web - Coordenador: Professor Carlos José Pereira de Lucena (Informática - PUC-Rio). 2009-2012.
5. CNPq – PRONEX, Algoritmos: Engenharia e Fundamentos. Coordenador: Paulo A. S. Veloso. 10/2007-11/2010.
6. CNPq - Universal 2007: Revisão de Especificações Formais. Coordenador: Renata Wasserman (USP) - 2007-2009.
7. CNPq – Projeto CASADINHO Edital/MCT/CNPq/PADCT Região Nordeste, consolidação do Programa de Pós-Graduação - Projeto Fortalecimento do PPgSC/UFRN através de Projetos para Desenvolvimento de Tecnologias em Software e Hardware para Sistemas Embarcados. Coordenador: Thais Vasconcelos Batista. Universidades: UFRN, UFRJ, PUC-RJ, UFPE, e UFRGS, 12/2008-.11/2010.
8. CNPq – Projeto CASADINHO Edital/MCT/CNPq/PADCT Região Nordeste, consolidação do Programa de Pós-Graduação - Projeto BOOST – Consolidação da Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFC através de Parcerias. Coordenador: Creto Augusto Vidal. Universidades: UFC, UFRJ e PUC-RJ, 12/2008-.11/2010.
9. CNPq – PRONEX, Algoritmos: Engenharia e Fundamentos. Coordenador: Paulo A. S. Veloso. 2004-2007.
10. CNPq - PADCT: Teoria da Computação: Modelos e Métodos. Coordenador: Tarcísio H. C. Pequeno (UFC) 2004-2007.
11. CNPq, CTInfo, coordenador Edward H. Hauesler, 2006-2008.
12. CNPq – Universal, Engenharia Lógica: Fundamentos e Aplicações, coordenador: Paulo A. S, 2003-2005.
13. CNPq – coordenador Valmir C. Barbosa, Os Aspectos Simbolistas, Conexionistas e Biológicos da Inteligência Artificial, 2001-2003.

### 5.3 Coordenação de Congressos Científicos

Tenho participado ativamente da comunidade científica Brasileira e internacional. No Brasil participo tanto da comunidade de Lógica, Lógicas Aplicadas a Computação e de Inteligência Artificial. Foi um dos fundadores de um série de workshops chamados "Workshop on Logical and semantical framework with Application" no qual já estamos indo para a décima edição em 2015 e eu sou o Presidente do Comitê de Programa. Faço parte do "Steering Committee" desde sua criação e já publicamos edições especiais em boas revistas (ex. Theoretical Computer Science, IGPL, etc..) com artigos selecionados.

A seguir detalho minhas participações em eventos.

#### 5.3.1 Organização de Eventos Científicos

1. 17<sup>th</sup> Brazilian Logic Conference (EBL 2014), LNCC, Petrópolis, abril de 2014.  
(<http://www.uff.br/eb/>)
2. 4<sup>th</sup> World Congress and School on Universal Logic (UNILOG 2013), Rio de Janeiro, abril de 2013.  
(<http://www.uni-log.org/start4.html>)
3. 6<sup>th</sup> Workshop on Intuitionistic Modal Logic and Applications (IMLA), Rio de Janeiro, abril de 2013.  
(<https://sites.google.com/site/imodallogic2013/home>)

#### 5.3.2 Presidência de Comitê de Eventos Científicos

1. 10<sup>th</sup> Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. **Presidente (Chairman)** do comitê de programa. Natal, setembro de 2015.
2. 6<sup>th</sup> Workshop on Intuitionistic Modal Logic and Applications (IMLA), **Presidente (Chairman)** do comitê de programa, Rio de Janeiro, abril de 2013.  
(<https://sites.google.com/site/imodallogic2013/home>)
3. Third Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. **Presidente (Chairman)** do comitê de programa. Agosto de 2008. (<http://www.mat.ufmg.br/lsfa2008/>).

### 5.3.3 Membro de Comitês de Programa

1. International Workshop on Defeasible and Ampliative Reasoning DARE/ECAI. Praga, agosto de 2014. (<http://dare2014.yolasite.com/>)
2. The Brazilian Conference on Intelligent Systems BRASIC/ENIAC. São Carlos, outubro de 2014. (<http://jcris2014.icmc.usp.br/index.php/bracis-eniac>).
3. VII CTDIA, Concurso de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial. Curitiba, outubro de 2014. (<http://jcris2014.icmc.usp.br/index.php/ctdiac>).
4. Brazilian Congress on Fuzzy Systems (CBSF 2014), João Pessoa, abril 2014. (<http://www.de.ufpb.br/~cbsf2014/indexUK.html>)
5. 9<sup>th</sup> Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. Brasília, setembro de 2014. (<http://lsfa2014.cic.unb.br/>)
6. Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial SBIA 2012. Curitiba, outubro de 2012. (<http://www.inf.ufpr.br/bracis2012/SBIA.html>).
7. VI CTDIA, Concurso de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial. Curitiba, outubro de 2012. (<http://www.inf.ufpr.br/bracis2012/CTDIA.html>).
8. Brazilian Congress on Fuzzy Systems (CBSF 2012), Natal, novembro de 2012. (<https://sites.google.com/site/academicfuzzybr/home>)
9. 10th Conference on Logic and the Foundations of Game and Decision Theory (LOFT12), Sevilha, 2012. (<http://personal.us.es/hvd/loft/>)
10. Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial SBIA 2010. São Bernardo do Campo, outubro de 2010. (<http://www.sbia10.fei.edu.br/>).
11. VI CTDIA, Concurso de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial. São Bernardo do Campo, outubro de 2010. (Segunda Etapa).
12. V Workshop on MSc Dissertation and PhD Thesis in Artificial Intelligence (WTDIA-2010). São Bernardo do Campo, outubro de 2010. (<http://www.jointconference.fei.edu.br/wtdia/index.html>)
13. Encontro Nacional de Inteligência Artificial ENIA 2012. Curitiba, outubro de 2012. (<http://www.ppgia.pucpr.br/enia/>).
14. Encontro Nacional de Inteligência Artificial ENIA 2011. Natal, julho de 2011. (<http://www.dimap.ufrn.br/csbc2011/eventos/enia.php>)

15. CTD - XXIV - SBC Concurso de Teses e Dissertações, Natal, julho de 2011.  
(<http://www.dimap.ufrn.br/csbc2011/eventos/ctd.php>)
16. EBL 2011 - Encontro Brasileiro de Lógica, Itaipava, maio de 2001.  
(<http://www.cle.unicamp.br/eb12011/>)
17. Sixth Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. Brasília, Agosto de 2011.  
(<http://www.mat.ufmg.br/lsfa2011/LSFA2011/Welcome.html>)
18. Fifth Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. Natal, Agosto de 2010. (<http://www.tecmf.inf.puc-rio.br/LSFA>)
19. Encontro Nacional de Inteligência Artificial ENIA 2009.  
(<http://csbc2009.inf.ufrgs.br/>).
20. Fourth Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA 2009. (<http://lsfa09.cic.unb.br/>).
21. Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial SBIA 2008. Salvador, outubro de 2008. (<http://www.sbia2008.ufba.br/sbia.php>).
22. VI CTDIA, Concurso de Teses e Disertações em Inteligência Artificial. Outubro de 2008. (<http://wtdia-ctdia.labic.icmc.usp.br/>).
23. Third Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. **Presidente (Chairman)** do comitê de programa. Agosto de 2008. (<http://www.mat.ufmg.br/lsfa2008/>).
24. Encontro Nacional de Inteligência Artificial ENIA 2007  
<http://www.sbc.de9.ime.eb.br/br/eventos/enia.htm>
25. Second Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA 2007 <http://www.mat.unb.br/lsfa2007>
26. Workshop on Logic Language and Computation – WoLLIC, PUC-Rio, agosto de 2002.
27. Workshop de Métodos Formais, WMF, Gramado, outubro de 2002.

#### 5.3.4 Avaliador de Artigos Científicos para Anais de Congressos

1. The Brazilian Conference on Intelligent Systems BRASIC/ENIAC. São Carlos, outubro de 2014. (<http://jcris2014.icmc.usp.br/index.php/bracis-eniac>).
2. VII CTDIA, Concurso de Teses e Disertações em Inteligência Artificial. Curitiba, outubro de 2014. (<http://jcris2014.icmc.usp.br/index.php/ctdiac>).
3. Brazilian Congress on Fuzzy Systems (CBSF 2014), João Pessol, abril 2014. (<http://www.de.ufpb.br/~cbsf2014/indexUK.html>)
4. 9<sup>th</sup> Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. Brasília, setembro de 2014. (<http://lsfa2014.cic.unb.br/>)
5. Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial SBIA 2012. Curitiba, outubro de 2012. (<http://www.inf.ufpr.br/bracis2012/SBIA.html>).
6. VI CTDIA, Concurso de Teses e Disertações em Inteligência Artificial. Curitiba, outubro de 2012. (<http://www.inf.ufpr.br/bracis2012/CTDIA.html>).
7. Brazilian Congress on Fuzzy Systems (CBSF 2012), Natal, novembro de 2012. (<https://sites.google.com/site/academicfuzzybr/home>)
8. CTD SBC 2011, Concurso de Teses e Disertações da Sociedade Brasileira de Computação. Julho de 2011.
9. IJCAI 2011, International Joint Conference on Artificial Intelligence, Barcelona, Julho de 2011.
10. LICS 2011 - Logic in Computer Science, Toronto. Junho de 2011.
11. Encontro Nacional de Inteligência Artificial ENIA 2011. Natal, julho de 2011.. (<http://www.dimap.ufrn.br/csbc2011/eventos/enia.php>)
12. EBL 2011 - Encontro Brasileiro de Lógica, Itaipava, maio de 2011. (<http://www.cle.unicamp.br/eb12011/>)
13. Sixth Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. Brasília, Agosto de 2011. (<http://www.mat.ufmg.br/lsfa2011/LSFA2011/Welcome.html>)
14. Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial SBIA 2010. São Bernardo do Campo, outubro de 2010. (<http://www.sbia10.fei.edu.br/>).



15. VI CTDIA, Concurso de Teses e Disertações em Inteligência Artificial. São Bernardo do Campo, outubro de 2010. (Segunda Etapa).
16. V Workshop on MSc Dissertation and PhD Thesis in Artificial Intelligence (WTDIA-2010). São Bernardo do Campo, outubro de 2010. (<http://www.jointconference.fei.edu.br/wtdia/index.html>)
17. Fifth Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. Natal, Agosto de 2010. (<http://www.tecmf.inf.puc-rio.br/LSFA>)
18. ERI-RJ 2010 Escola Regional de Informática. UFRJ, abril 2010.
19. ICTAC 2010 7th International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing. Abril 2010.
20. CNMAC 2009 - 32º Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional. Setembro de 2009.
21. CTD SBC 2009, Concurso de Teses e Disertações da Sociedade Brasileira de Computação. Julho de 2009.
22. Encontro Nacional de Inteligência Artificial ENIA 2009. (<http://csbc2009.inf.ufrgs.br/>).
23. Fourth Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA 2009. (<http://lsfa09.cic.unb.br/>).
24. CTD SBC 2008, Concurso de Teses e Disertações da Sociedade Brasileira de Computação. Julho de 2008.
25. CLAIO 2008, Congreso Latino Ibero Americano de Investigación de Operaciones Setembro de 2008.
26. Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial SBIA 2008. Salvador, outubro de 2008. (<http://www.sbia2008.ufba.br/sbia.php>).
27. VI CTDIA, Concurso de Teses e Disertações em Inteligência Artificial. Outubro de 2008. (<http://wtdia-ctdia.labic.icmc.usp.br/>).
28. Third Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications LSFA. Agosto de 2008. (<http://www.mat.ufmg.br/lsfa2008/>).

## 5.4 Árbitro de Periódico

Tenho feito muitas revisões para periódicos internacionais e nacionais. A seguir listo alguns.

1. Theoretical Computer Science;  
(<http://www.journals.elsevier.com/theoretical-computer-science/>)
2. Journal of Applied and Non-Classical Logic;  
(<http://www.tandfonline.com/toc/tncl20/current/>)
3. Journal of Applied Logic;  
(<http://www.journals.elsevier.com/journal-of-applied-logic/>)
4. Journal of Systems and Software, Elsevier;  
(<http://www.journals.elsevier.com/journal-of-systems-and-software/>).
5. Journal of Computational Interdisciplinary Sciences;  
(<http://epacis.org/jcis.php>).
6. TEMA – Tendências em Matemática Aplicada e Computacional. Publicada pela SBMAC;  
(<http://www.sbmac.org.br/tema/>).
7. Logic Journal of the IGPL, Oxford University Press;  
(<http://jigpal.oxfordjournals.org/>).
8. Logica Universalis;  
(<http://www.springer.com/birkhauser/mathematics/book/978-3-7643-8353-4>).

## 5.5 Editor de Volume Especial de Revista Eletrônica Internacional

1. Valeria de Paiva, Mario Benevides, Vivek Nigam and Elaine Pimentel, *Proceedings of the 6th Workshop on Intuitionistic Modal Logic and Applications (IMLA 2013)*, **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**, vol, 300, Pages 1-104 (January 2014), Ed. Elsevier.  
( <http://www.sciencedirect.com/science/journal/15710661/300>).
2. Mario Benevides e Elaine Pimentel, *Third Workshop on Logical and Semantic Frameworks with Applications (LSFA 2008)*, **Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS**, vol, 247, Pages

1-156 (4 August 2009), Ed. Elsevier.  
(<http://www.sciencedirect.com/science/issue/13109-2009-997529999-1390072>).

## 5.6 Participação em Curso de Extensão

1. Curso do CEDERJ de Tecnologia de Sistemas de Informação - Disciplina de Programação I - **Coordendor** da disciplina e Professor. 2006 até a presente data.

## 5.7 Atividades de Divulgação Científicos

1. Workshop do CEDERJ 2014. - Título: Lógica Epistêmica e Evolução do Conhecimento. Rio de Janeiro, outubro de 2014.
2. Escola de Verão do Instituto de Matemática da UnB, Workshop de Matemática Aplicada. - Título: Onde, Quando e Porque Usar Lógica Modal. Brasília, fevereiro de 2014.
3. Departamento de Ciência da Computação da UFC. - Título: Lógica Epistêmica e Mudanças de Crenças. Fortaleza agosto de 2012.
4. Instituto de Computação da UFF. Seminários do Instituto de Computação. - Título: Lógica e Computação. Niterói, junho de 2011.
5. Workshop do CEDERJ 2012. - Título: Lógica Epistêmica e Alguns Quebra-Cabeças. Rio de Janeiro, outubro de 2012.
6. Departamento de Ciência da Computação da UFC. - Título: Lógica Dinâmica Proposicional + Extensões. Fortaleza outubro de 2010.
7. Departamento de Informática da PUC-Rio. Comemoração dos Cinquenta Anos do Professor Edward Hermann Haeusler- Título: What to Say About Hermann?. Rio de Janeiro, outubro de 2010.
8. Instituto de Matemática da UFRJ - Sextas Matemáticas - Título: Centenário de Aniversário de Kurt Gödel e Especificações de Sistemas Concorrentes - Maio de 2007
9. Instituto de Computação da UFF - Título: Lógicas Modais, Álgebras de Processos e Especificações de Sistemas Concorrentes - Junho de 2007.

10. Instituto de Matemática - Grupo de Teoria da Computação da UnB  
- Título: Modelagem e Verificação de Propriedades Epistêmicas em  
Sistemas Multi-agentes - dezembro de 2007.
11. Palestrante convidado do XIII Encontro Brasileiro de Lógica. Título:  
Dynamic Logic. Campinas, maio 2003.  
(<http://www.cle.unicamp.br/xiiiebl/chacom.htm>)

## 5.8 Membro de Diretoria de Sociedades Científicas

1. Membro da diretoria da Sociedade Brasileira de Lógica SBL  
(<http://www.cle.unicamp.br/sbl/>). De 2006 até 2008.

## 6 Título da Conferência

### Lógicas Modais Aplicadas a Computação

## Referências

- [1] M. Benevides, R. Freitas, and P. Viana. *Propositional Dynamic Logic with Storing, Recovering and Parallel Composition*. Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS, v. 269, p. 95-107. Elsevier, Natal, April 2011. V Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications.
- [2] M. Benevides and L. Schechter. Using modal logics to express and check global graph properties. *Journal of the Interest Group in Pure and Applied Logics (IGPL)*, 17:559–587, 2009.
- [3] M. R. F. Benevides. Modal Logics for Finite Graphs. *Logic for Concurrency and Synchronization*, 18:239–267, 2003.
- [4] Mario R. F. Benevides and L. Menasché Schechter. A study on multi-dimensional products of graphs and hybrid logics. *Theor. Comput. Science.*, 412(37):4946–4966, 2011.
- [5] J. Bradfield and C. Stirling. Modal mu calculi. In P. Blackburn, J. van Benthem, and F. Wolter, editors, *Handbook of Modal Logic*, pages 721–756. Elsevier, 2007.

- [6] V. Costa and M. Benevides. Formalizing Concurrent Common Knowledge as Product of Modal Logics. *Logic Journal of the IGPL*, 13(6):665–684, 2005.
- [7] V. Costa and M. Benevides. Reasoning about Knowledge in Asynchronous Distributed Systems. *Logic Journal of the IGPL*, 13(1):5–28, 2005.
- [8] Sharon Curtis and Gavin Lowe. Proofs with graphs. *Science of Computer Programming*, 26(1–3):197 – 216, 1996.
- [9] Eliana Silva de Almeida. *A Lógica dos Recursos no Formalismo de Redes de Petri*. PhD thesis, Dept. de Informática - PUC-Rio, Orientador: Edward Hermann Haeusler, 1998.
- [10] Renata P. de Freitas, Paulo A. S. Veloso, Sheila R. M. Veloso, and Jorge Petrúcio Viana. On graph reasoning. *Inf. Comput.*, 207(10):1000–1014, 2009.
- [11] R. Fagin, J. Halpern, Y. Moses, and M. Vardi. *Reasoning about Knowledge*. MIT Press, EUA, 1995.
- [12] L. Lamport. Time, clocks, and ordering of events in a distributed system. *Comm. of the ACM*, 21, 1978.
- [13] B. Lopes, M. Benevides, and H. Haeusler. *Extending Propositional Dynamic Logic for Petri Nets*. Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS (to appear). Elsevier, Sao Paulo, 2013. VIII Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications.
- [14] R. Milner. *Communication and Concurrency*. Prentice Hall, 1989.
- [15] R. Milner. *Communicating and Mobile Systems: the  $\pi$ -Calculus*. Cambridge University Press, 1999.
- [16] F. Moller and A. Rabinovich. On the expressive power of CTL\*. In *XIV IEEE Symposium on Logic in Computer Science*, pages 360–369, 1999.
- [17] P. W. O’Hearn, J. C. Reynolds, and H. Yang. Local reasoning about programs that alter data structures. In *CSL 2001*, London, UK, 2001.
- [18] Prakash Panangaden and Kim Taylor. Concurrent common knowledge: Defining agreement for asynchronous systems. *Distributed Computing*, 6(2):73–93, 1992.

- [19] R. Parikh. The logic of games and its applications. *Annals of Discrete Mathematics*, 24, 1985.
- [20] D. Peleg. Communication in concurrent dynamic logic. *Journal of Computer and System Sciences*, 35, 1987.
- [21] D. Peleg. Concurrent dynamic logic. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 34, 1987.
- [22] J. C. Reynolds. Separation logic: A logic of share mutable variables. In *LICS 2002, IEEE Computer Society Press*, London, UK, 2002.
- [23] B. ten Cate and M. Franceschet. On the complexity of hybrid logics with binders. In *Proceedings of the 19th International Workshop of Computer Science Logic*, volume 3634 of *Lecture Notes in Computer Science*, page 339–354. Springer, 2005.
- [24] H. van Ditmarsch, W. van der Hoek, and B. Kooi. *Dynamic Epistemic Logic*. Springer, The Netherland, 2008.
- [25] P. Veloso, S. Veloso, and M. Benevides. *On a Graph Approach to Modal Logics*. Electronic Notes in Theoretical Computer Science ENTCS (to appear). Elsevier, Sao Paulo, 2013. VIII Workshop on Logical and Semantic Frameworks, with Applications.