



**Cláudio Nogueira Sant'Anna**

**Manutenibilidade e Reusabilidade de Software Orientado  
a Aspectos: Um Framework de Avaliação**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de Mestre pelo Programa  
de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientadores: Prof. Carlos José Pereira de Lucena  
Prof. Arndt von Staa

Rio de Janeiro  
Março de 2004



**Cláudio Nogueira Sant'Anna**

**Manutenibilidade e Reusabilidade de Software Orientado  
a Aspectos: Um Framework de Avaliação**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Carlos José Pereira de Lucena**  
Orientador  
PUC-Rio

**Prof. Arndt von Staa**  
Co-orientador  
PUC-Rio

**Prof. Julio Cesar Sampaio do Prado Leite**  
PUC-Rio

**Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira**  
PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de março de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Cláudio Nogueira Sant'Anna**

Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Federal da Bahia (UFBA) em 1997. Atuou como desenvolvedor de software até 2001.

#### Ficha Catalográfica

Sant'Anna, Cláudio Nogueira

Manutenibilidade e reusabilidade de software orientado a aspectos : um framework de avaliação / Cláudio Nogueira Sant'Anna ; orientadores: Carlos José Pereira de Lucena, Arndt von Staa. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Informática, 2004.

113 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Desenvolvimento de software orientado a aspectos. 3. Métricas de software. 4. Modelo de qualidade. 5. Engenharia de software experimental. 6. Padrões de projeto. I. Lucena, Carlos José Pereira de. II. Staa, Arndt von. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

Aos meus pais.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, professor Carlos Lucena, por ter me dado liberdade para escolher o tema deste trabalho e por ter aberto caminhos para meu crescimento intelectual.

Ao meu co-orientador, professor Arndt von Staa, por ter me apresentado o mundo das métricas e da qualidade de software.

Agradeço especialmente ao amigo Alessandro Garcia, pelo exemplo, competência, incentivo, parceria, confiança e pelos ensinamentos. Tem sido um privilégio conviver com uma pessoa tão notável e generosa. A sua orientação constante foi ponto decisivo para o resultado deste trabalho.

À amiga Christina von Flach, primeiro por ter me recomendado ao meu orientador, e depois por ter passado de professora a tão boa colega de pesquisa.

Ao amigo Uirá Kulesza, pelo companherismo e pelas conversas e dicas sempre importantes e esclarecedoras.

Aos colegas do LES e do Departamento de Informática, pelos momentos compartilhados e pelo aprendizado dividido.

À Vera Menezes pelo apoio nas questões administrativas e burocráticas, sempre com carinho e bom humor.

Aos pesquisadores e colegas Barbara Kitchenham, Eric Ernst, Gail Murphy, Jan Hannemann pelas dicas que ajudaram a melhorar este trabalho.

Aos amigos Alexandre Pigatti e Davi Romero pela boa convivência.

À Karina Neves pelo apoio quando resolvi fazer o mestrado.

A Cláudio Fontoura, Daniel Burgos, Igor Lumumba e Wellington Queiroz, grandes amigos de longa data, e cuja amizade sempre se manteve forte apesar da distância.

A CAPES pelo apoio financeiro.

Agradeço, finalmente, aos meus maravilhosos pais Moema e Roberto, por uma vida inteira de dedicação. Muito obrigado pelo carinho, confiança, educação e estímulo que, sem dúvida, formaram o embrião deste trabalho.

## Resumo

Sant'Anna, Cláudio Nogueira. **Manutenibilidade e Reusabilidade de Software Orientado a Aspectos: Um Framework de Avaliação.** Rio de Janeiro, 2004. 113p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O desenvolvimento de software orientado a aspectos (DSOA) vem obtendo maior atenção tanto da academia quanto da indústria. Sistemas orientados a aspectos compreendem novas abstrações de engenharia de software e tratam de diferentes dimensões de complexidade. Conseqüentemente, o DSOA traz novos problemas para a engenharia de software experimental. Novos mecanismos de avaliação são necessários para medir os graus de manutenibilidade e reusabilidade de sistemas orientados a aspectos. Esta dissertação apresenta um framework de avaliação para o DSOA composto por dois elementos: um conjunto de métricas e um modelo de qualidade. No intuito de evitar a reinvenção de soluções já testadas, esses elementos são baseados em princípios bem conhecidos da engenharia de software e métricas já existentes. O framework proposto foi avaliado no contexto de dois estudos empíricos de domínios distintos, com características, níveis de controle e níveis de complexidade diferentes. O primeiro estudo empírico comparou uma abordagem orientada a objetos com uma abordagem orientada a aspectos para o projeto e implementação de um sistema multi-agentes. O segundo estudo envolveu a aplicação do framework proposto para avaliar as implementações em Java e AspectJ dos padrões de projeto da *GoF*.

## Palavras-chave

Desenvolvimento de software orientado a aspectos, métricas de software, modelo de qualidade, engenharia de software experimental, padrões de projeto.

## **Abstract**

Sant'Anna, Cláudio Nogueira. **Maintainability and Reusability of Aspect-Oriented Software: An Assessment Framework.** Rio de Janeiro, 2004. 113p. MSc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Aspect-oriented software development (AOSD) is gaining wide attention both in research environments and in industry. Aspect-oriented systems encompass new software engineering abstractions and different complexity dimensions. As a consequence, AOSD poses new problems to empirical software engineering. It requires new assessment mechanisms to measure the maintainability and reusability degrees of aspect-oriented systems. This dissertation presents an assessment framework for AOSD, which is composed of two components: a suite of metrics and a quality model. These components are based on well-known principles and existing metrics in order to avoid the re-invention of well-tested solutions. The proposed framework has been evaluated in the context of two different empirical studies with different characteristics, diverse domains, varying control levels and different complexity degrees. The first study compared an object-oriented approach and an aspect-oriented approach to the design and implementation of a multi-agent system. The second study involved the application of the proposed framework to evaluate Java and AspectJ implementations of the *GoF* design patterns.

## **Keywords**

Aspect-oriented software development, software metrics, quality model, empirical software engineering, design patterns.

## Sumário

1 Introdução	15
2 Desenvolvimento de Software Orientado a Aspectos	18
3 Medição de Software	23
3.1. Modelos de Qualidade de Software	25
3.2. A Abordagem <i>Goal-Question-Metric</i>	27
4 O Framework de Avaliação	29
4.1. O Modelo de Qualidade	31
4.1.1. Qualidades	32
4.1.2. Fatores	34
4.1.3. Atributos Internos	34
4.2. Abordagem <i>GQM</i> : Objetivo e Perguntas	35
4.3. Princípios de Projeto no DSOA	36
4.3.1. Dimensões de Acoplamento	38
4.3.2. Dimensões de Coesão	39
4.3.3. Dimensões de Tamanho	39
4.3.4. Dimensões de Separação de <i>Concerns</i>	40
5 As Métricas	42
5.1. Métricas de Separação de <i>Concerns</i>	44
5.1.1. Difusão do <i>Concern</i> por Componentes (CDC)	45
5.1.2. Difusão do <i>Concern</i> por Operações (CDO)	47
5.1.3. Difusão do <i>Concern</i> por Linhas de Código (CDLOC)	47
5.2. Métricas de Acoplamento	50
5.2.1. Acoplamento entre Componentes (CBC)	50
5.2.2. Profundidade da Árvore de Herança (DIT)	52
5.3. Métrica de Coesão	53

5.3.1. Falta de Coesão em Operações (LCOO)	54
5.4. Métricas de Tamanho	56
5.4.1. Tamanho do Vocabulário (VS)	56
5.4.2. Linhas de Código (LOC)	57
5.4.3. Número de Atributos (NOA)	57
5.4.4. Peso de Operações por Componente (WOC)	59
 6 Os Estudos Experimentais	 60
6.1. O Primeiro Estudo Experimental	60
6.1.1. O Sistema Multi-Agentes	61
6.1.2. O Formato do Primeiro Estudo Experimental	62
6.1.3. Resultados da Fase de Construção	65
6.1.3.1. Resultados das Métricas de Separação de <i>Concerns</i>	67
6.1.3.2. Resultados das Métricas de Acoplamento	68
6.1.3.3. Resultados da Métrica de Coesão	69
6.1.3.4. Resultados das Métricas de Tamanho	69
6.1.4. Resultados da Fase de Evolução e Reutilização	70
6.1.4.1. Cenário C1 – Mudança dos papéis de um agente	71
6.1.4.2. Cenário C2 – Criação de um tipo de agente	71
6.1.4.3. Cenário C3 – Reutilização da parte fundamental do agente	72
6.1.4.4. Cenário C4 – Inclusão da propriedade de colaboração em um tipo de agente	72
6.1.4.5. Cenário C5 – Reutilização de papéis	72
6.1.4.6. Cenário C6 – Criação de uma nova instância de agente	73
6.1.4.7. Cenário C7 – Mudança da definição da parte fundamental do agente	73
6.1.4.8. Cenário C8 – Inclusão da propriedade de mobilidade em um tipo de agente	74
6.1.5. Discussões sobre os Resultados do Primeiro Estudo Experimental	74
6.2. O Segundo Estudo Experimental	75
6.2.1. O Estudo Realizado por Hannemann & Kiczales	76
6.2.2. O Formato do Segundo Estudo Experimental	79

6.2.3. Resultados do Segundo Estudo Experimental	80
6.2.3.1. Resultados do Padrão <i>Observer</i>	81
6.2.3.2. Resultados do Padrão <i>Mediator</i>	82
6.2.3.3. Resultados do Padrão <i>Prototype</i>	83
6.2.3.4. Resultados do Padrão <i>Strategy</i>	84
6.2.3.5. Resultados do Padrão <i>State</i>	85
6.2.3.6. Resultados do Padrão <i>Abstract Factory</i>	86
6.2.4. Discussões sobre os Resultados do Segundo Estudo Experimental	87
6.3. Ameaças à Validade dos Estudos Experimentais	88
 7 Trabalhos Relacionados	90
 8 Conclusões e Trabalhos Futuros	92
8.1. Conclusões	92
8.2. Trabalhos Futuros	94
 9 Referências Bibliográficas	96
 Anexo A – Resultados da Aplicação das Métricas no Primeiro Estudo Experimental	101
 Anexo B – Resultados da Aplicação das Métricas no Segundo Estudo Experimental	106

## **Lista de figuras**

Figura 1 – Exemplo da definição de um aspecto em AspectJ	21
Figura 2 – O mesmo programa em Java (lado esquerdo) e AspectJ (lado direito).	21
Figura 3 – Modelo de qualidade de Boehm	26
Figura 4 – Estrutura hierárquica da abordagem GQM	28
Figura 5 – O Modelo de Qualidade	32
Figura 6 – Objetivo e perguntas geradas com o uso da abordagem <i>GQM</i>	37
Figura 7 – Dimensões de acoplamento no DSOA	39
Figura 8 – Exemplo do uso das métricas de separação de <i>concerns</i> em parte do código do sistema do primeiro estudo experimental (Seção 6.1).	46
Figura 9 – Código para exemplificar o uso da métrica de acoplamento CBC	52
Figura 10 – Código para exemplificar o uso da métrica de acoplamento DIT	53
Figura 11 – Código para exemplificar o uso da métrica de coesão LCOO	55
Figura 12 – Código para exemplificar o uso da métrica de tamanho LOC	58
Figura 13 – Código para exemplificar o uso das métricas de tamanho NOA e WOC	58
Figura 14 – Agentes do Portalware	61
Figura 15 – Subconjunto do Projeto Orientado a Objetos	63
Figura 16 – Subconjunto do Projeto Orientado a Aspectos	64
Figura 17 – Comparação dos resultados das duas versões	66
Figura 18 – Um sistema simples de elementos gráficos que usa o padrão <i>Observer</i> em Java	78

## **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Métricas: Perguntas do <i>GQM</i> , Atributos e Fontes.	44
Tabela 2 – Resultados dos Cenários de Evolução e Reutilização	71
Tabela 3 – Resultados do padrão <i>Observer</i> : Acoplamento, Coesão e Tamanho	81
Tabela 4 – Resultados do padrão <i>Mediator</i> : Acoplamento, Coesão e Tamanho	82
Tabela 5 – Resultados do padrão <i>Prototype</i> : Acoplamento, Coesão e Tamanho	83
Tabela 6 – Resultados do padrão <i>Strategy</i> : Acoplamento, Coesão e Tamanho	84
Tabela 7 – Resultados do padrão <i>State</i> : Acoplamento, Coesão e Tamanho	86
Tabela 8 – Resultados do padrão <i>Abstract Factory</i> : Acoplamento, Coesão e Tamanho	87
Tabela 9 – Métricas de acoplamento, coesão e tamanho: dados da versão OO	102
Tabela 10 – Métricas de acoplamento, coesão e tamanho: dados da versão OA	103
Tabela 11 – Métricas de acoplamento, coesão e tamanho: valores gerais	103
Tabela 12 – Métricas de separação de <i>concerns</i> : dados das duas versões do sistema	103
Tabela 13 – Diferenças relevantes entre alguns componentes: métrica LOC	104
Tabela 14 – Diferenças relevantes entre alguns componentes: métrica NOA	104
Tabela 15 – Diferenças relevantes entre alguns componentes: métrica WOC	104
Tabela 16 – Diferenças relevantes entre alguns componentes: métrica CBC	104
Tabela 17 – Diferenças relevantes entre alguns componentes: métrica LCOO	105
Tabela 18 – Diferenças relevantes entre alguns componentes: métrica DIT	105
Tabela 19 – Diferenças entre os componentes da propriedade de colaboração: métricas LOC, NOA e WOC	105
Tabela 20 – Diferenças entre a combinação de papéis e planos relacionados: métricas LOC e CBC	105
Tabela 21 – Resultados do padrão <i>Observer</i> : acoplamento, coesão e tamanho	107
Tabela 22 – Resultados do padrão <i>Observer</i> : separação de <i>concerns</i>	107
Tabela 23 – Resultados do padrão <i>Mediator</i> : acoplamento, coesão e tamanho	108
Tabela 24 – Resultados do padrão <i>Mediator</i> : separação de <i>concerns</i>	109

Tabela 25 – Resultados do padrão <i>Prototype</i> : acoplamento, coesão e tamanho	109
Tabela 26 – Resultados do padrão <i>Prototype</i> : separação de <i>concerns</i>	110
Tabela 27 – Resultados do padrão <i>Strategy</i> : acoplamento, coesão e tamanho	111
Tabela 28 – Resultados do padrão <i>Strategy</i> : separação de <i>concerns</i>	111
Tabela 29 – Resultados do padrão <i>State</i> : acoplamento, coesão e tamanho	112
Tabela 30 – Resultados do padrão <i>State</i> : separação de <i>concerns</i>	112
Tabela 31 – Resultados do padrão <i>Abstract Factory</i> : acoplamento, coesão e tamanho	113
Tabela 32 – Resultados do padrão <i>Abstract Factory</i> : separação de <i>concerns</i>	113