

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

Pedro Ghilardi

**MODELAGEM DE ASPECTOS POR MÚLTIPLOS PONTOS DE VISTA**

Florianópolis

2013



Pedro Ghilardi

**MODELAGEM DE ASPECTOS POR MÚLTIPLOS PONTOS DE VISTA**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências da Computação.

Orientador: Ricardo Pereira e Silva, Prof. Dr.

Florianópolis

2013

Catálogo na fonte elaborada pela biblioteca da  
Universidade Federal de Santa Catarina

A ficha catalográfica é confeccionada pela Biblioteca Central.

Tamanho: 7cm x 12 cm

Fonte: Times New Roman 9,5

Maiores informações em:

<http://www.bu.ufsc.br/design/Catalogacao.html>

Pedro Ghilardi

## MODELAGEM DE ASPECTOS POR MÚLTIPLOS PONTOS DE VISTA

Esta Dissertação foi julgada aprovada para a obtenção do Título de “Mestre em Ciências da Computação”, e aprovada em sua forma final pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de março 2013.

---

Ronaldo dos Santos Mello, Prof. Dr.  
Coordenador

---

Ricardo Pereira e Silva, Prof. Dr.  
Orientador

**Banca Examinadora:**

---

Antônio Augusto Fröhlich, Prof. Dr.  
Presidente

---

Marcello Thiry, Prof. Dr.



---

Patrícia Vilain, Prof. Dr.





À minha família.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Ricardo, pela sua orientação, compreensão e motivação.







## RESUMO

A modelagem de sistemas orientados a aspectos tem como objetivo aumentar o nível de abstração de código para modelos. Esta dissertação propõe a modelagem de sistemas orientados a aspectos usando UML, através de um perfil UML, abrangendo as principais características da programação orientada a aspectos, e possibilitando a alternância de visões da dinâmica do sistema. O desenvolvedor pode criar diferentes composições de interesses núcleo e entrecortantes, visualizando os interesses núcleo, entrecortantes, ou uma composição com os interesses núcleos junto com os interesses entrecortantes. A visualização da dinâmica de aspectos pode ser atualizada dinamicamente, atualizando o modelo composto, sem esforço do desenvolvedor. Os interesses são diferenciados no modelo composto através de diferentes cores. A solução proposta é implementada como uma ferramenta no ambiente SEA, a qual permite a geração automática de diagramas de sequência, resultantes da composição de aspectos. Para avaliar a abordagem, realizam-se dois estudos de caso. Realiza-se também uma comparação da abordagem proposta com outras abordagens da literatura.

**Palavras-chave:** Modelagem Meta-Modelagem UML Aspectos Programação Orientada a Aspectos Interesses Perfil





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Separação de interesses do módulo para reserva de quarto .....	27
Figura 2	Fluxo de desenvolvimento de uma aplicação com aspectos .....	29
Figura 3	Identificação de pontos de junção .....	30
Figura 4	Diferença entre os pontos de junção de chamada (call) e execução (execution) .....	30
Figura 5	Exemplo de código em Java .....	31
Figura 6	Exemplo de ponto de corte .....	32
Figura 7	Exemplo de ponto de corte utilizando wildcards .....	33
Figura 8	Ponto de corte para captura do fluxo de execução inclusivo: cflow() .....	34
Figura 9	Ponto de corte para captura do fluxo de execução exclusivo: cflowbelow() .....	34
Figura 10	Exemplo de assinaturas em AspectJ .....	35
Figura 11	Exemplo de aviso com contexto de execução .....	36
Figura 12	Introdução de métodos e atributos .....	37
Figura 13	Introdução de relacionamentos de herança .....	37
Figura 14	Aspecto abstrato para implementação do padrão de projeto Observador .....	38
Figura 15	Aspecto concreto implementando o padrão de projeto Observador em um sistema de interface gráfica .....	39
Figura 16	Uso de estereótipos em um diagrama de classes .....	41
Figura 17	Uso de valores rotulados em um diagrama de classes .....	41
Figura 18	Diagrama de Perfil para representar veículos .....	42
Figura 19	Meta-modelo da Object Management Group (OMG) .....	43
Figura 20	Meta-modelo da UML .....	44
Figura 21	Perfil UML para representar componentes EJB (PROCESS, 2012) .....	46
Figura 22	Exemplo de estereótipo estendendo uma meta-classe em um diagrama de Perfil UML. ...	47
Figura 23	Perfil UML para modelagem de aspectos (EVERMANN, 2007) .....	48
Figura 24	Interesse núcleo para desenho de interface gráfica .....	49
Figura 25	Interesse entrecortante para implementação do padrão de projeto Observador .....	50
Figura 26	Composição do padrão observador no sistema de interface gráfica (em nível de código) ...	50
Figura 27	Modelo núcleo para transações .....	52
Figura 28	Aspecto para recuperação de dados (garantia de atomicidade) .....	53
Figura 29	Visão estrutural do modelo final para garantia de atomicidade de transações .....	54
Figura 30	Visão de mensagens do modelo final para garantia de atomicidade de transações .....	55
Figura 31	Visão de estados do modelo final para garantia de atomicidade de transações .....	56
Figura 32	Modelo núcleo para realizar a transação de saque .....	58
Figura 33	Ponto de corte e aviso para capturar pontos de junção que necessitam de autorização antes de serem executados .....	58
Figura 34	Ponto de corte para capturar pontos de junção onde é necessário enviar um e-mail após a execução dos mesmos .....	58
Figura 35	Modelo composto para transação bancária de saque com autorização e envio de e-mail ...	59
Figura 36	Fatias de casos de uso em um sistema de gerenciamento de hotel .....	60
Figura 37	Fatia de caso de uso para o caso de uso <i>Reserve Room</i> .....	60
Figura 38	Caso de uso de extensão <i>Handle Waiting List</i> .....	61
Figura 39	Fatia do caso de uso de extensão <i>Handle Waiting List</i> .....	61
Figura 40	Rastreamento completo de um requisito por todos modelos .....	62
Figura 41	Composição entre modelos de caso de uso .....	62
Figura 42	Diagrama de Estrutura Composta representando um servidor de recursos .....	64

Figura 43 Diagrama de máquina de estados focado em transições para um tratador de requisições..	65
Figura 44 Aspecto para controle de tempo ao protocolo 2PC.....	65
Figura 45 Visualização da composição do aspecto para controle de tempo no tratador de requisições.	67
Figura 46 Meta-modelo de extensão aos diagramas de sequência da UML .....	69
Figura 47 Exemplos de diagramas de sequência estendidos: bSD's e cSD's.....	70
Figura 48 Exemplos de aspectos comportamentais .....	70
Figura 49 Composição entre aspectos de registro de mensagens, segurança e atualização de interface gráfica com modelo base para autenticação de usuário.....	71
Figura 50 Modelo núcleo: registro de estudante em curso .....	72
Figura 51 Modelo entrecortante: registro de atividades do sistema .....	73
Figura 52 Configuração de composição entre interesses.....	73
Figura 53 Antes do uso de diretivas de composição para composição de aspectos .....	75
Figura 54 Depois do uso de diretivas de composição para composição de aspectos .....	76
Figura 55 Um modelo de aspecto segundo a abordagem AODM.....	78
Figura 56 Perfil UML para modelagem de sistemas orientados a aspectos .....	86
Figura 57 Exemplo de modelagem estrutural: interesse entrecortante <i>Copyable</i> .....	87
Figura 58 Definição de dois pontos de corte.....	88
Figura 59 A composição de dois pontos de corte com o operador AND .....	88
Figura 60 A composição de dois pontos de corte com o operador OR.....	89
Figura 61 A conexão entre pontos de corte e avisos usando invariantes de estado.....	89
Figura 62 Seleção de modelos para composição .....	90
Figura 63 Meta-modelo do ambiente SEA (SILVA, 2000).....	91
Figura 64 Modelo núcleo para reserva de quarto .....	93
Figura 65 Composição do modelo núcleo com o modelo entrecortante para cópia de estado entre objetos .....	93
Figura 66 Definição da aspecto para registro de mensagens.....	95
Figura 67 Definição da aspecto para autenticação.....	95
Figura 68 Reserva de quarto composto com registro de mensagens .....	97
Figura 69 Modelagem estrutural: reserva de quarto .....	99
Figura 70 Modelagem estrutural: registro de mensagens .....	100
Figura 71 Modelagem estrutural: lista de espera .....	100
Figura 72 Diagrama de sequência: reserva de quarto .....	101
Figura 73 Ponto de corte: registro de mensagens.....	102
Figura 74 Aviso: registro de mensagens .....	102
Figura 75 Ponto de corte: controle de uma lista de espera.....	103
Figura 76 Aviso: controle de uma lista de espera.....	104
Figura 77 Estudo de caso: reserva de quarto composto com registro de mensagens e controle de lista de espera .....	105
Figura 78 Modelagem estrutural: check-out de clientes .....	106
Figura 79 Modelagem estrutural: acúmulo de pontos em programa de fidelidade .....	106
Figura 80 Diagrama de sequência: check-out de clientes.....	107
Figura 81 Ponto de corte: programa de fidelidad .....	107
Figura 82 Aviso: programa de fidelidade.....	108
Figura 83 Estudo de caso: check-out de clientes composto com registro de mensagens e programa de fidelidade .....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação entre abordagens: critérios de linguagem . . . . .	79
Tabela 2	Comparação entre abordagens: critérios de composição e modelos . . . . .	80
Tabela 3	Comparação entre abordagens: critérios de ponto de junção e avisos . . . . .	81
Tabela 4	Comparação entre abordagens: critérios de aspectos e visualização . . . . .	82



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

POO	Programação Orientada a Objetos .....	23
POA	Programação Orientada a Aspectos .....	23
XMI	XML Metadata Interchange .....	41
CASE	Computer Aided Software Engineering .....	41
BNF	Backus Naur Form .....	42
MOF	Meta-Object Facility .....	43
SDL	Specification and Description Language .....	63
2PC	Two Phase Commit .....	63



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	23
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	23
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo Geral	24
1.3.2 Objetivos Específicos	24
1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA	24
1.5 JUSTIFICATIVA	24
1.6 MÉTODO DE PESQUISA	25
1.7 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	25
1.8 ORGANIZAÇÃO DESTA DISSERTAÇÃO	25
<b>2 CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	27
2.1 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A ASPECTOS	27
2.1.1 Abstração de Interesses	27
2.1.2 A necessidade de aspectos	28
2.1.3 Metodologia de desenvolvimento	28
2.1.4 A linguagem AspectJ	29
2.1.4.1 Construções Dinâmicas	29
2.1.4.2 Construções Estáticas	36
2.1.4.3 Aspecto	36
2.1.4.4 Exemplo de Aspecto	37
2.2 ANÁLISE E PROJETO COM UML	39
2.2.1 Múltiplos pontos de vista de um sistema	39
2.3 UML: SEGUNDA VERSÃO	40
2.3.1 Diagramas Estruturais	40
2.3.1.1 Diagrama de Classes	40
2.3.1.2 Diagrama de Perfil	40
2.3.2 Diagramas Comportamentais	41
2.3.2.1 Diagrama de Máquina de Estados	41
2.3.2.2 Diagrama de Sequência	42
2.4 META-MODELAGEM	42
2.4.1 Extensões a UML	45
2.4.1.1 Extensão pela Definição de um Perfil UML	45
2.4.1.2 Extensão pela Definição de um Meta-modelo	45
<b>3 TRABALHOS RELACIONADOS</b>	47
3.1 PERFIL UML PROPOSTO POR EVERMANN	47
3.2 MODELOS DE ASPECTOS REUSÁVEIS (RAM) PROPOSTO POR KIENZLE	51
3.3 MODELAGEM DE ASPECTOS COM ATIVIDADES PROPOSTO POR CUI	57
3.4 MODELAGEM DE ASPECTOS COM CASOS DE USO PROPOSTO POR JACOBSON	59
3.5 MOTOROLA WEAVR PROPOSTO POR COTTENIER	63
3.6 MODELAGEM DE ASPECTOS COM DIAGRAMAS DE SEQUÊNCIA PROPOSTO POR KLEIN	68
3.7 THEME/UML PROPOSTO POR CLARKE	71
3.8 MODELAGEM DE ASPECTOS COM DIRETIVAS DE COMPOSIÇÃO PROPOSTO POR FRANCE	74
3.9 MODELO DE PROJETO DE ASPECTOS (AODM) PROPOSTO POR STEIN	77
3.10 COMPARAÇÃO DE ABORDAGENS	79
3.10.1 Critérios Propostos por Wimmer	79
3.10.1.1 Critérios de Linguagem	79
3.10.1.2 Critérios de Composição e Modelos	80
3.10.1.3 Critérios de Pontos de Junção e Aviso	81
3.10.2 Critérios Propostos por Ghilardi	82

3.10.2.1 Critérios de Especificação de Aspectos e de Visualização .....	82
3.11 DISCUSSÃO .....	83
<b>4 ESPECIFICAÇÃO E MODELAGEM DE SISTEMAS ORIENTADOS A ASPECTOS</b> .....	<b>85</b>
4.1 ESPECIFICAÇÃO DE SISTEMAS ORIENTADOS A ASPECTOS .....	85
4.1.1 Especificação Estrutural .....	85
4.1.2 Especificação Comportamental .....	87
4.2 VISUALIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO AUTOMATIZADA DE ASPECTOS .....	90
4.2.1 A Ferramenta SEA/Aspect .....	90
4.2.1.1 Seleção .....	90
4.2.1.2 Composição .....	91
4.2.1.3 Ordem de Precedência .....	94
4.2.1.4 Visualizador de Aspectos .....	96
<b>5 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>99</b>
5.1 ESTUDO DE CASO: RESERVA DE QUARTO, REGISTRO DE MENSAGENS E LISTA DE ESPERA .....	99
5.2 ESTUDO DE CASO: CHECK-OUT DE CLIENTES, REGISTRO DE MENSAGENS E PROGRAMA DE FIDELIDADE .....	106
5.3 DISCUSSÃO .....	110
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>111</b>
6.1 PRINCIPAIS RESULTADOS .....	111
6.2 PRODUTOS DE TRABALHO .....	111
6.3 LIMITAÇÕES .....	111
6.4 TRABALHOS FUTUROS .....	112
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>113</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contextualiza o tema deste trabalho, apresentando motivações para o uso da programação orientada a aspectos e a necessidade de realizar a modelagem de sistemas orientados a aspectos. Apresentam-se os objetivos, a hipótese, a metodologia da pesquisa e a justificativa para realização do estudo. Ao final, apresentam-se os resultados obtidos, as limitações e a organização desta dissertação.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Programação Orientada a Objetos (POO) é um paradigma de programação amplamente difundido e utilizado para o desenvolvimento de aplicações. Esse paradigma permite implementações em um nível mais alto de abstração e o reuso de comportamentos (LADDAD, 2003).

O desenvolvimento de um sistema utilizando POO geralmente é dividido em quatro fases: análise, projeto, implementação e testes (PRESSMAN, 2001). Durante as fases de análise e projeto eliciam-se os requisitos e elabora-se a modelagem do sistema. Esta modelagem deve expressar características estruturais e dinâmicas. As características estruturais representam os interrelacionamentos entre os componentes do sistema. A parte dinâmica representa as funcionalidades do sistema e como elas são realizadas em tempo de execução. Ambas características devem ser modeladas em alto (modelos representando o domínio do problema) e baixo nível de abstração (modelos próximos ao nível de código), obtendo assim uma visão do todo e da parte (SILVA, 2000).

Na fase de análise, primeiramente deve-se descobrir qual o problema do cliente e eliciar quais são os requisitos do sistema. Cada requisito pode ser classificado como um interesse do cliente a fim de atingir um objetivo final (LADDAD, 2003). Ao final do desenvolvimento, após a modelagem nas fases de análise e projeto e o código nas fases de implementação e testes, todos interesses do cliente devem estar resolvidos, tendo como resultado um sistema completo e funcional. Os interesses podem ser separados em dois tipos (LADDAD, 2003):

- Interesses núcleo: Capturam uma funcionalidade principal e impactam apenas uma parte do sistema.
- Interesses entrecortantes (*Crosscutting concerns*): Capturam uma funcionalidade que impacta uma ou mais partes do sistema.

A POO pode ser utilizada para implementação de ambos tipos de interesses. O problema é que para sistemas complexos, há uma tendência de misturar interesses entrecortantes com interesses núcleo, prejudicando a manutenibilidade e compreensão do código. Conclui-se que a POO tem limitações para implementar extensões para comportamentos que impactam várias partes de um sistema: os interesses entrecortantes (KICZALES et al., 1997). A Programação Orientada a Aspectos (POA) é uma extensão a POO que permite uma implementação mais elegante para interesses entrecortantes.

O objetivo da POA é a modularização dos interesses entrecortantes para que os mesmos fiquem separados dos módulos que implementam os interesses núcleo da aplicação (LADDAD, 2003). Os interesses devem ser separados em módulos em todas as fases do desenvolvimento: análise, projeto, implementação e testes. Assim, obtém-se um mapeamento direto de um interesse, facilitando a manutenção e compreensão de um sistema desenvolvido utilizando aspectos. A separação de interesses é uma excelente prática para a construção de sistemas complexos, pois quanto maior o número de interesses, maior a complexidade para implementá-los. Com a separação de interesses, cada módulo representa um interesse, que pode ser implementado separadamente, diminuindo a complexidade de implementação (JACOBSON; NG, 2004).

### 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Segundo (SILVA, 2000), na modelagem de programas orientados a objetos podem-se identificar quatro pontos de vista essenciais: estrutural e comportamental de sistema e estrutural e comportamental de classe. Um sistema modelado pelos quatro pontos de vista permite a compreensão e manutenção do sistema e contribui para a geração de código em qualquer linguagem de programação, sendo considerada assim uma modelagem completa (SILVA, 2007a).

Algumas abordagens já foram propostas para modelagem de sistemas orientados a aspectos com UML (Unified Modeling Language) (OMG, 2011). Um grupo de propostas estende o meta-modelo da linguagem (KIENZLE; ABED; KLEIN, 2009) (BANIASSAD; CLARKE, 2004a) (KLEIN; FLEUREY; JÉZÉQUEL, 2007) (JACOBSON; NG, 2004) (REDDY et al., 2006b), introduzindo novas construções para representar a estrutura e o comportamento de aplicações orientadas a aspectos. Outro conjunto de propostas estende a UML através de um perfil UML (EVERMANN, 2007) (COTTENIER, 2006) (CUI et al., 2009), o qual pode ser utilizado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis. No entanto, não existe nenhuma abordagem para modelagem de aspectos que represente a estrutura e a dinâmica de um sistema e que forneça subsídios para visualização do efeito dos aspectos no sistema, realizando a composição de modelos de aspectos com modelos núcleo automaticamente. Além disso, é importante que a modelagem permita representar as características inerentes à POA, como a possibilidade de capturar múltiplos pontos de execução de um programa com apenas uma expressão regular. A maior parte das propostas se limitam a modelar apenas parte destas características.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Propor uma abordagem para modelar sistemas orientados a aspectos nas fases de análise e projeto com a segunda versão da UML. Esta modelagem deve representar a estrutura e a dinâmica de um sistema, permitir automatizar parte do processo de modelagem, possibilitando a alternância de visões da dinâmica do sistema (com e sem explicitação dos aspectos) e, com isso, facilitar a compreensão e manutenção dos modelos.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Modelar as características inerentes a aspectos com a segunda versão da UML.
- Representar a estrutura e a dinâmica de sistemas orientados a aspectos, fornecendo subsídios para a composição de modelos e facilitando a compreensão e manutenção do sistema.
- Permitir a alternância de visões do comportamento dinâmico de um sistema orientado a aspectos, visualizando o efeito de modelos de interesses entrecortantes (aspectos) em modelos núcleo.

### 1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA

É possível modelar todas as características de programas orientados a aspectos com a segunda versão de UML, bem como é possível manipular esta modelagem em um procedimento algorítmico capaz de explicitar e ocultar dinamicamente os aspectos da modelagem.

### 1.5 JUSTIFICATIVA

Tratando-se de POO, uma modelagem pode ser considerada completa se modelar os quatro pontos de vista fundamentais (SILVA, 2000). Em relação a sistemas orientados a aspectos, além da modelagem estrutural e comportamental, definem-se dois requisitos importantes para se obter uma modelagem completa:

1. Representação das características inerentes à programas orientados a aspectos como: *wildcards*, pontos de corte, avisos e introduções.
2. Representação da estrutura e da dinâmica do sistema para permitir a composição em nível de modelo de interesses núcleo com interesses entrecortantes (aspectos).

Sabendo que a modelagem estrutural e dinâmica de um sistema facilita a compreensão e manutenção e também contribui para a composição de modelos, conclui-se que este trabalho justifica-se pelo uso de artefatos que representem a estrutura e a dinâmica de um sistema, automatizando parte do processo de modelagem. A compreensão do fluxo de execução de programas orientados a aspectos é difícil, assim, justifica-se a implementação de um visualizador do efeito de aspectos em modelos núcleo. Sabe-se também que a segunda versão da UML é um padrão e é amplamente utilizada na modelagem de aplicações, sendo assim, justifica-se que os modelos propostos estejam de acordo com a especificação proposta por esta linguagem, estendendo a linguagem através de um perfil UML. Em relação a aspectos, a modelagem de *wildcards* é fundamental para possibilitar a captura dos pontos do sistema que serão estendidos de maneira praticável. Logo, justifica-se a preocupação em modelar todas as características inerentes à POA.

## 1.6 MÉTODO DE PESQUISA

A realização deste trabalho é composta pelos seguintes passos:

1. Análise de trabalhos correlatos;
2. Proposta para a especificação de sistemas orientados a aspectos utilizando a segunda versão da UML;
3. Implementar o suporte para modelagem proposta no ambiente SEA (SILVA, 2000), gerando um produto deste trabalho, que é o suporte a modelagem de programas orientados a aspectos no ambiente SEA, permitindo a alternância de visões dos interesses modelados automaticamente;
4. Realizar um estudo de caso com a proposta de modelagem, realizando a composição de aspectos em nível de modelo e utilizando o visualizador de interesses.
5. Comparar a abordagem proposta por esta dissertação com os trabalhos correlatos, explicitando os diferentes requisitos cumpridos por cada proposta.

## 1.7 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A classificação desta pesquisa foi realizada baseando-se nas informações sobre metodologia de pesquisa de (SILVA, 2001). Em relação a natureza, classifica-se esta pesquisa como **aplicada**, pois ela tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática em cima de problemas específicos na área de modelagem de sistemas orientados a aspectos. A abordagem do problema utilizada nesta dissertação é **qualitativa**, com o pesquisador realizando a análise dos dados indutivamente, onde o processo e seu significado são os focos principais da abordagem. Em relação aos objetivos, classifica-se esta pesquisa como **exploratória**, realizando a análise dos trabalhos correlatos e identificando quais parâmetros são implementados por cada proposta para modelagem de sistemas orientados a aspectos. Finalmente, em relação aos procedimentos técnicos utilizados, classifica-se esta pesquisa como **pesquisa bibliográfica**, pois foi elaborada a partir de material já publicado sobre a modelagem de sistemas orientados a aspectos. Esta pesquisa também tem um caráter **experimental** com a implementação do protótipo para modelagem de aspectos no ambiente SEA.

## 1.8 ORGANIZAÇÃO DESTA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira: o presente capítulo descreveu a motivação para a modelagem de sistemas orientados a aspectos, objetivos, hipótese, método de pesquisa e justificativa. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica com conceitos de programação orientada a aspectos e da linguagem AspectJ, conceitos de análise e projetos de sistemas e modelagem e meta-modelagem com a segunda versão da UML. O capítulo 3 discute sobre os trabalhos correlatos, realizando uma comparação entre abordagens. O capítulo 4 descreve a metodologia de modelagem para a especificação de sistemas orientados a aspectos, incluindo o algoritmo para composição de aspectos. O capítulo 5 mostra dois estudos de caso que verificam a aplicabilidade da abordagem proposta. O capítulo 6 apresenta uma

comparação entre diferentes abordagens para modelagem de sistemas orientados a aspectos. Finalizando, o capítulo 7 discute sobre as conclusões deste trabalho.

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO

O objetivo deste capítulo é fornecer subsídios para a compreensão dos assuntos tratados nesta dissertação. Primeiramente, contextualiza-se o paradigma de Programação Orientada a Aspectos (POA), apresentando a motivação para o uso de aspectos e as construções específicas da linguagem AspectJ, que devem ser representáveis na modelagem. A segunda parte discorre sobre análise e projeto de sistemas utilizando a segunda versão da UML. Apresentam-se alguns conceitos sobre análise e projeto e os diagramas da UML. O tópico final fala sobre meta-modelagem, que permite estender um modelo para representar elementos de um domínio específico.

### 2.1 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A ASPECTOS

Esta seção discorre sobre a separação de um sistema em um conjunto de interesses e os problemas decorrentes da implementação de interesses com os paradigmas tradicionais. Devido a estes problemas surge a necessidade de um novo paradigma para realizar a separação de interesses: o paradigma de Programação Orientada a Aspectos (POA). A seção é finalizada com a apresentação da principal linguagem para implementação de aspectos em Java: AspectJ.

#### 2.1.1 Abstração de Interesses

Ao iniciar a análise e projeto de um sistema, existe um conjunto de requisitos que devem ser implementados para satisfazer as necessidades do cliente. Cada requisito pode ser considerado um interesse que deve ser realizado para finalizar o sistema como um todo. Assim, um sistema é composto por um conjunto de interesses. Em um sistema para gerenciamento de hotel, por exemplo, é possível identificá-los como: reserva de quartos, *check-in*, *check-out*, acúmulo de pontos em um programa de fidelidade, controle de uma lista de espera, registro de mensagens, controle de acesso, garantia de *performance*, etc (JACOBSON; NG, 2004).

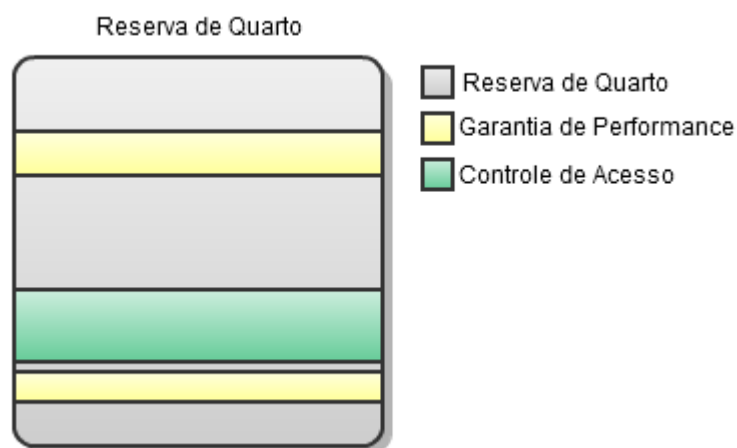


Figura 1 – Separação de interesses do módulo para reserva de quarto

No sistema de gerenciamento de hotel é possível classificar reserva de quartos, *check-in* e *check-out* como interesses núcleo. Os interesses de controle de acesso, acúmulo de pontos em um programa de fidelidade, controle de uma lista de espera, registro de mensagens e garantia de *performance* impactam diversas partes do sistema, por isso, são classificados como interesses entrecortantes. O interesse de controle de acesso deve verificar quais usuários podem acessar quais partes do sistema e, por isso, deve ser executado em todos os interesses núcleo. O interesse de acúmulo de pontos em um programa de fidelidade impacta qualquer pagamento realizado. O interesse de controle de uma lista de espera impacta

a reserva de quartos. Já o registro de mensagens impacta grande parte dos interesses, pois as transações do sistema são registradas. Garantia de *performance* impacta todos os outros interesses, pois para garantir *performance* todo o sistema deve ser implementado com restrições de segurança.

Utilizando os paradigmas convencionais para implementação de interesses, como a Programação Orientada a Objetos (POO), o módulo para implementar o interesse de reserva de quartos seria composto por código referente a reserva, e também a garantia de *performance* e controle de acesso. A figura 1 mostra os interesses presentes no módulo de reserva de quartos. Observa-se a implementação de vários interesses no mesmo módulo. Segundo Laddad (LADDAD, 2003), essa situação é conhecida como **emaranhamento de código** (*code tangling*).

Outro sintoma de implementação deselegante de interesses é o **espalhamento de código** (*code scattering*), quando o código referente a um mesmo interesse está disposto em diferentes módulos (LADDAD, 2003). O espalhamento de código pode acontecer em duas situações:

- **Duplicação de código:** Diferentes módulos núcleo executam código referente a um mesmo interesse entrecortante.

Exemplo: Interesse para registro de informações (*logging*) de um sistema; cada módulo núcleo contém chamadas a métodos da API de *logging* para registrar informações.

- **Complementação de código:** Diferentes módulos executam código complementar para implementar um interesse entrecortante.

Exemplo: Interesse para autorização em um sistema; um módulo implementa o gerenciamento da sessão, outro módulo implementa o gerenciamento de permissões e controle de acesso e outro realiza a autenticação de usuários; cada módulo implementa uma parte do interesse de autorização.

O emaranhamento e espalhamento de código dificultam a manutenção de um sistema, pois modificar um interesse impacta em modificar diferentes módulos. Além disso, é complicado realizar um rastreamento entre interesses e módulos, pois o código de um interesse está disposto em mais de um módulo. Outro problema é a dificuldade de reuso de módulos devido a dependência de um módulo com vários interesses (LADDAD, 2003).

### 2.1.2 A necessidade de aspectos

Os problemas destacados na sessão 2.1.1 indicam a necessidade de separação de interesses em diferentes módulos. A Programação Orientada a Aspectos (POA) (KICZALES et al., 1997) é um paradigma de programação para representar elegantemente os interesses de um sistema que impactam diversos módulos. Uma representação elegante de um interesse o separa em um único módulo e permite o reuso entre diferentes aplicações. O objetivo da POA é a modularização dos interesses entrecortantes para que os mesmos fiquem separados dos módulos que implementam os interesses núcleo da aplicação (LADDAD, 2003).

É importante observar que, boa parte dos interesses de uma aplicação são interesses núcleo e podem ser implementados elegantemente com a POO. Por isso, a POA não pretende substituir a Programação Orientada a Objetos (POO), mas sim complementá-la com uma melhor representação para os interesses entrecortantes.

### 2.1.3 Metodologia de desenvolvimento

Segundo (LADDAD, 2003), para implementar um sistema utilizando aspectos geralmente executam-se três fases:

1. **Decomposição de Aspectos:** Identificação de quais requisitos são interesses núcleo e quais são interesses entrecortantes.
2. **Implementação de Interesses:** Implementação de cada interesse separadamente.
3. **Composição de Aspectos** (*Weaving*): É a implementação de um aspecto para cada interesse entrecortante. O aspecto define o comportamento que será executado em determinados pontos de

execução de um ou mais interesses. Cada interesse entrecortante está contido em um único módulo: o aspecto. Após a implementação dos aspectos, se inicia o processo de composição *weaving* que insere o comportamento dos interesses entrecortantes nos interesses núcleo (nos pontos definidos nos aspectos). A figura 2 mostra o fluxo de desenvolvimento de uma aplicação orientada a aspectos.

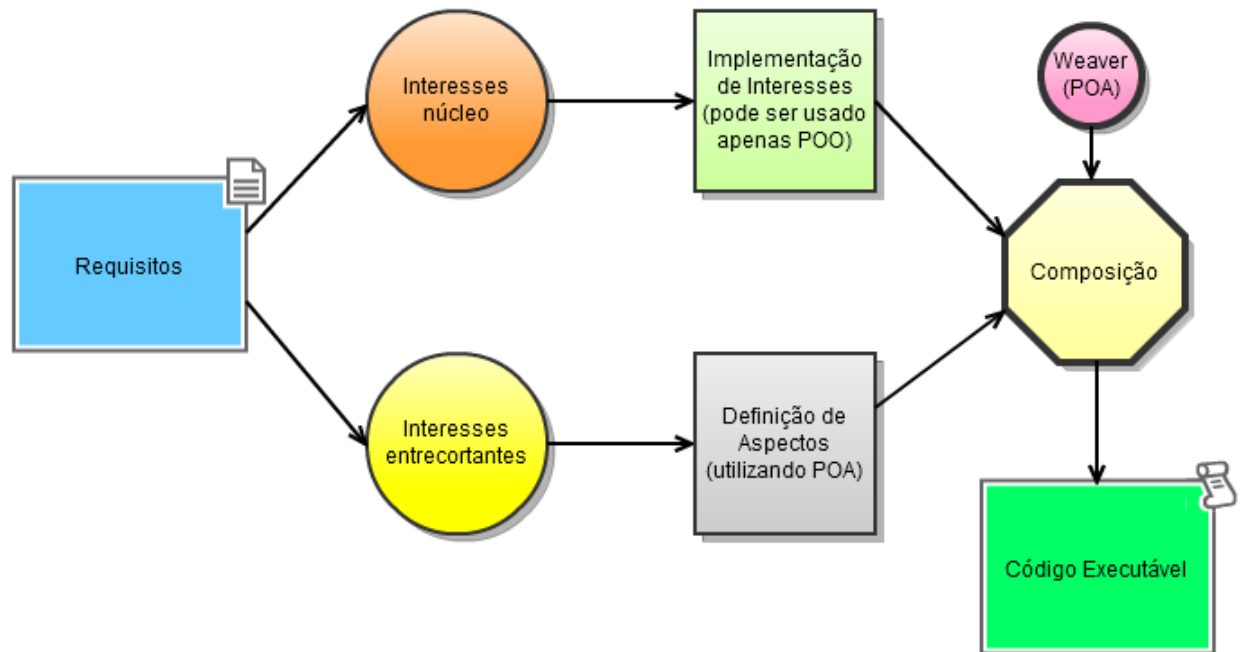


Figura 2 – Fluxo de desenvolvimento de uma aplicação com aspectos

#### 2.1.4 A linguagem AspectJ

A linguagem AspectJ (ASPECTJ, 2012) é uma extensão da linguagem Java para programação orientada a aspectos. Qualquer programa implementado em Java pode ser estendido utilizando AspectJ. A linguagem provê mecanismos para representar interesses entrecortantes e permite a composição dos mesmos com os interesses núcleo de um sistema. A linguagem oferece construções de extensão dinâmicas e estáticas. As extensões dinâmicas permitem que um novo comportamento seja executado antes, durante ou depois de um determinado ponto de execução do sistema. As extensões estáticas permitem adicionar novos elementos na estrutura das classes, por exemplo, a inserção de um novo método ou atributo. O conteúdo das próximas seções é baseado no guia de programação da linguagem AspectJ (TEAM, 2012) e no livro AspectJ: in Action (LADDAD, 2003). Os exemplos, no entanto, são originais desta dissertação.

##### 2.1.4.1 Construções Dinâmicas

Um dos principais conceitos dinâmicos que devem ser compreendidos na linguagem é o de **ponto de junção**. Um ponto de junção é um determinado ponto na execução de um programa. É importante observar que, um ponto de junção não é uma construção sintática de AspectJ, mas sim um conceito.

A figura 3 descreve o fluxo de execução de um programa através da troca de mensagens entre diferentes objetos. Nesta troca de mensagens existem diversos pontos de junção que podem ser capturados pela linguagem AspectJ. A seguir, será destacado cada ponto de junção nesse fluxo de execução. No início da troca de mensagens, é chamado o método `umMetodo()` do `objetoA`. A chamada de um método em AspectJ é representada pelo ponto de junção *call*. Após a chamada do método, o código do mesmo será executado. A execução de um método é representada pelo ponto de junção *execution*.

A duração de execução do método `umMetodo()` pode ser visualizada na ocorrência de execução em azul. No início da execução de `umMetodo()`, realiza-se a chamada a `outroMetodo()`. A ocorrência de execução em verde representa a duração da execução desse método. Dentro de `outroMetodo()` o método `metodoInterno()` é chamado. A ocorrência de execução em amarelo representa a duração de sua execução. Finalmente, instancia-se o `objetoC` através da chamada `new`. A chamada de um construtor também é um ponto de junção *call* em AspectJ. A execução do mesmo pode ser capturada com o ponto de junção *execution*. O tempo de execução da instanciação desse construtor pode ser visualizado na ocorrência de execução em rosa. Os pontos de junção *call* e *execution* são utilizados para capturar chamada e execução de métodos e construtores.

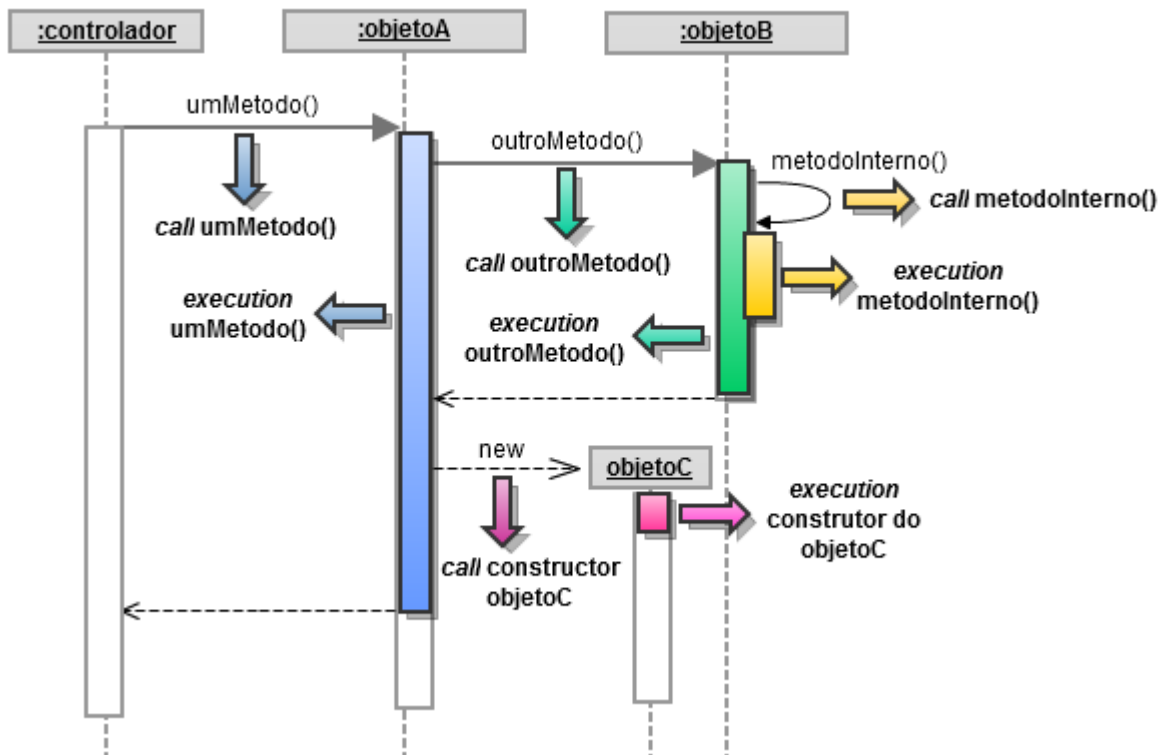


Figura 3 – Identificação de pontos de junção

É importante observar a diferença entre os pontos de junção de **chamada** (*call*) e **execução** (*execution*). Um ponto de junção de chamada não está no código do método ou construtor sendo chamado, mas sim no código de quem está chamando o método ou construtor em questão. Observe na figura 4 que a chamada (*call*) ao método `umMetodo()` é realizada dentro do código *main* da aplicação. Já o ponto de junção de execução de um método ou construtor é disparado no corpo do método ou construtor em questão. Observa-se na figura que a execução (*execution*) do método `umMetodo()` refere-se à execução do código do próprio método.

<pre> public static void main(String[] args) {     ObjetoA objetoA = new ObjetoA();     objetoA.umMetodo(); } </pre>	<p>] ponto de junção <i>call</i>()</p>	<pre> public void umMetodo(){     objetoB.outroMetodo();     new ObjetoC(); } </pre>	<p>] ponto de junção <i>execution</i>()</p>
--	--	--	---

Figura 4 – Diferença entre os pontos de junção de chamada (*call*) e execução (*execution*)

O modelo de pontos de junção de AspectJ permite capturar também o tratamento de exceções,



acesso e modificação de atributos (*get* e *set*), inicialização e pré-inicialização de objetos, contexto de uma execução e execução de avisos. Estes pontos de junção também devem ser representáveis em uma proposta para modelagem de programas orientados a aspectos.

Os pontos de junção em AspectJ definem quais são os pontos da execução de um programa possíveis de serem capturados. A linguagem deve disponibilizar alguma construção sintática para selecionar pontos de junção. Para isso, AspectJ disponibiliza os **pontos de corte** (*pointcuts*). Um ponto de corte permite selecionar um conjunto de pontos de junção.

Existem dois tipos de ponto de corte:

- **Com nome:** Tem um nome e pode ser referenciado dentro de um aspecto.
- **Anônimo:** Não tem um nome e não pode ser referenciado dentro de um aspecto. Geralmente é definido dentro de um ponto de corte nomeado.

```
public class Testing {

    public static void main(String[] args) {
        ObjetoA objetoA = new ObjetoA();
        objetoA.umMetodo();
        objetoA.doisMetodo();
        objetoA.tresMetodo();
    }
}
```

Figura 5 – Exemplo de código em Java

O código da figura 5 mostra o exemplo de um simples código em Java. É possível capturar pontos específicos da execução deste código com pontos de corte. O ponto de corte **exemploDePontoDeCorte()** foi definido para capturar chamadas ao método **umMetodo()** de objetos do tipo **ObjetoA**. Este ponto de corte é composto por dois pontos de corte anônimos e pode ser visualizado na figura 6. O primeiro ponto de corte anônimo seleciona um ponto de junção, capturando as chamadas ao método **umMetodo()** de objetos do tipo **ObjetoA**. O segundo ponto de corte anônimo seleciona vários pontos de junção, pois captura qualquer chamada a membros (atributos, métodos, construtores, etc) de objetos do tipo **ObjetoA**. É importante observar que, o segundo ponto de corte anônimo seleciona vários pontos de junção em uma única definição. Entre os dois pontos de corte anônimos encontra-se o operador binário **&&**. Este operador especifica que o ponto de corte **exemploDePontoDeCorte()** somente será satisfeito se **os dois pontos de corte anônimos forem satisfeitos**. Assim, o ponto de corte **exemploDePontoDeCorte()** seleciona apenas um ponto de junção: execução da chamada ao método **umMetodo()** com o método membro de um objeto do tipo **ObjetoA**. A captura de um único método pode ser visualizada no código na parte inferior da figura 6 (método selecionado está destacado com uma flecha laranja).

Para possibilitar a captura de vários pontos de junção em um mesmo ponto de corte de maneira praticável, AspectJ disponibiliza os **wildcards**. Um *wildcard* é semelhante a uma expressão regular. As seguintes notações estão disponíveis na definição de *wildcards*:

- **\*** representa qualquer número de caracteres, exceto pontos.
- **..** representa um ou mais caracteres, incluindo qualquer número de pontos.
- **+** representa uma subclasse ou sub-interface de um dado tipo.

Utilizando *wildcards* é possível modificar o ponto de corte especificado na figura 6 para que capture chamadas para qualquer método pertencente a objetos do tipo **ObjetoA**. Para isso, modifica-se o primeiro ponto de corte anônimo, substituindo **umMetodo()** pela notação **\***, capturando agora todos os métodos do **ObjetoA**, independente do nome. Além disso, adiciona-se a notação **..**, capturando métodos com qualquer número de parâmetros.

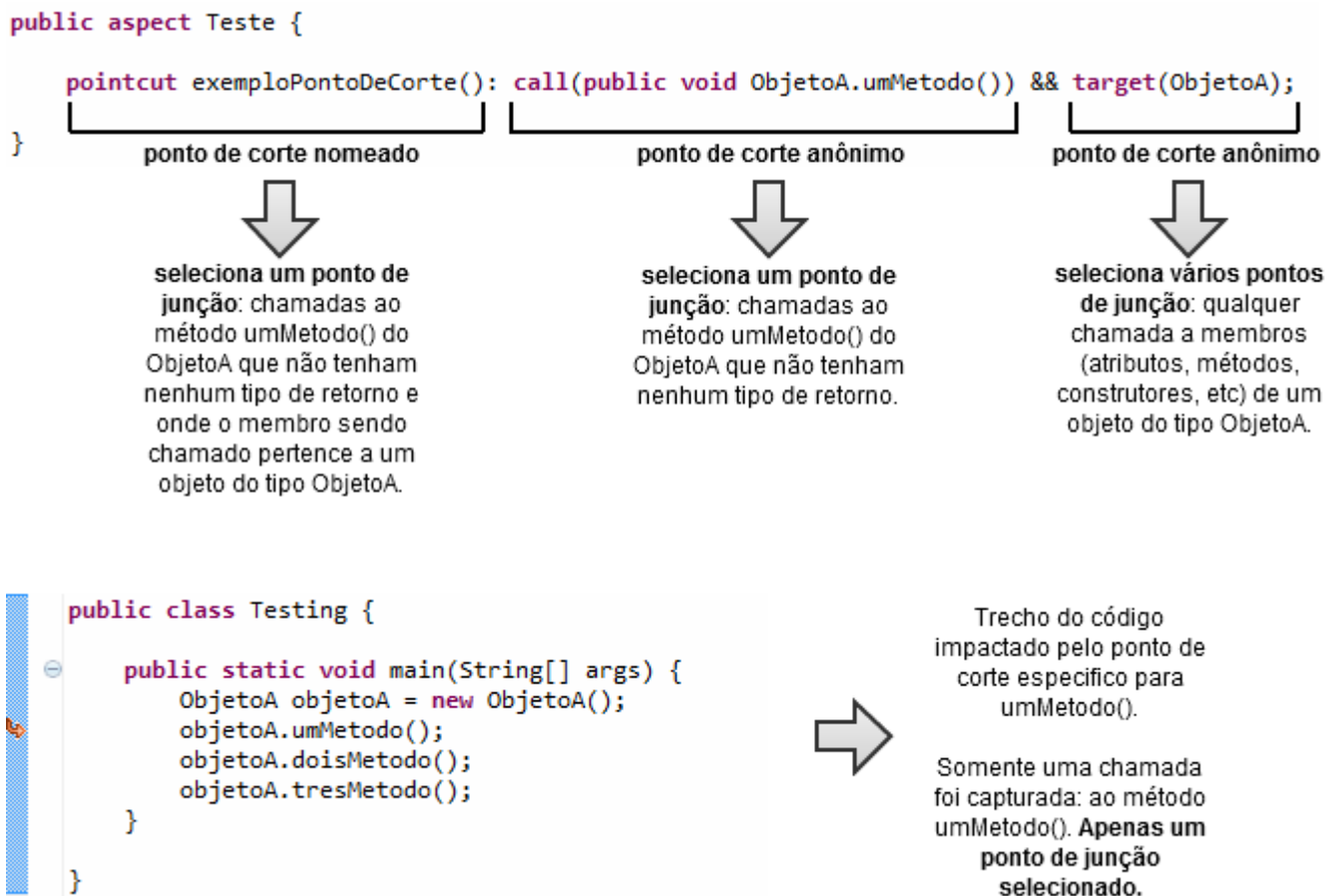


Figura 6 – Exemplo de ponto de corte

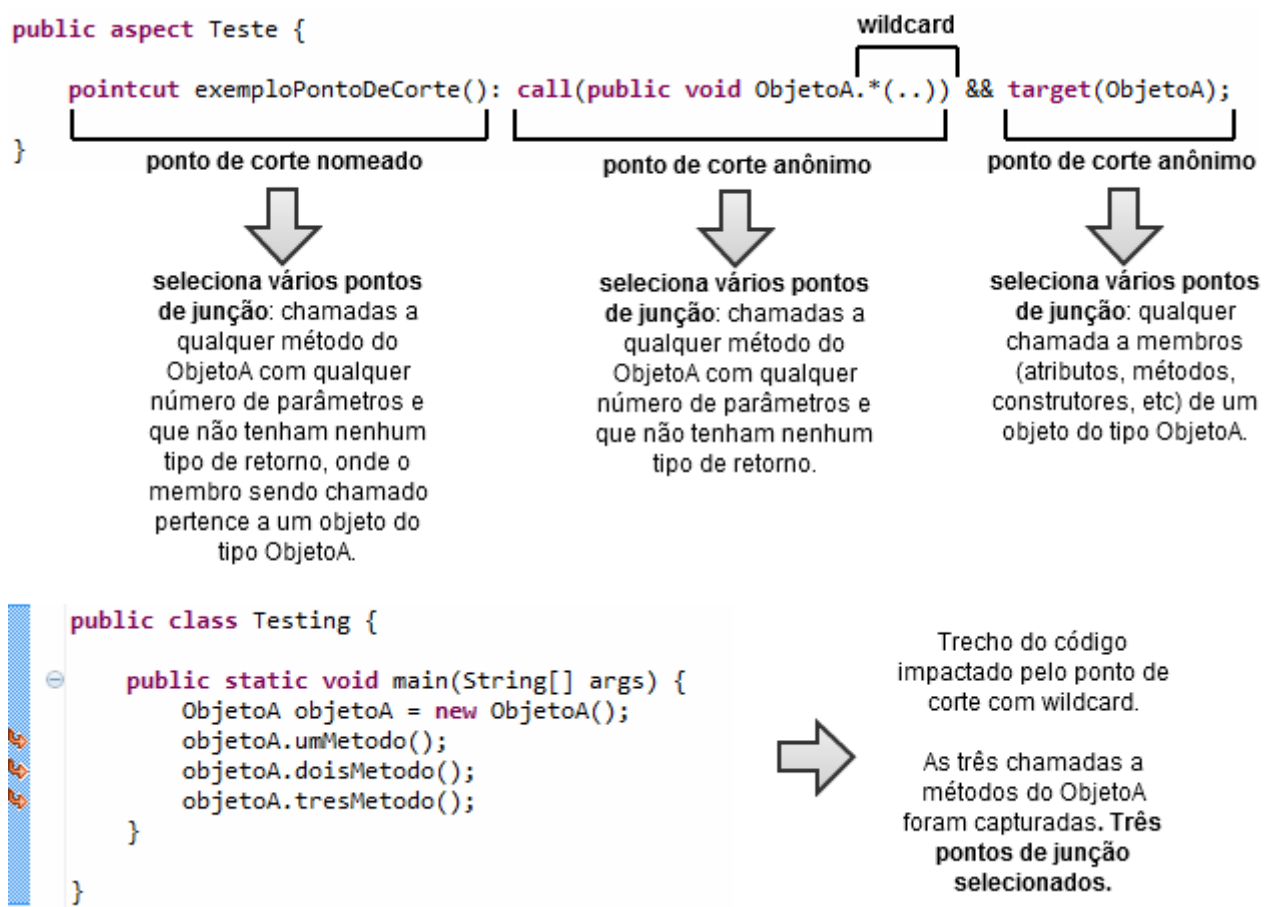


Figura 7 – Exemplo de ponto de corte utilizando wildcards

A figura 7 mostra o ponto de corte redefinido, utilizando *wildcards*. O novo ponto de corte captura a chamada de qualquer método, com qualquer número de parâmetros e qualquer tipo de retorno de um objeto do tipo **ObjetoA**. A captura de todos os métodos pode ser visualizada no código da parte inferior da figura 6 (métodos selecionados estão destacados com flechas laranjas).

Os pontos de corte das figuras 6 e 7 foram definidos utilizando **padrões de assinatura** (*signature patterns*). Um padrão de assinatura é utilizado para especificar quais assinaturas de um programa em Java serão capturadas. No exemplo de ponto de corte da figura 6 a assinatura **public void ObjetoA.umMetodo()** permite capturar as chamadas ao método **umMetodo()** do **ObjetoA** sem retornar nenhum objeto. Já a assinatura **public void ObjetoA.\*(..)** da figura 7 permite capturar as chamadas a qualquer método, com qualquer número de parâmetro e sem nenhum tipo de retorno do **ObjetoA**. AspectJ disponibiliza padrões de assinatura para especificar pontos de corte para capturar métodos, construtores, tipos, exceções, atribuições, etc. Os seguintes padrões de assinatura estão disponíveis:

- **Assinaturas de Tipo** (*AssinaturaDeTipo*): Permite capturar definições de classes e interfaces. É possível especificar o pacote e o nome do tipo a ser capturado.
- **Assinaturas de Método e Construtores** (*AssinaturaDeMetodo* e *AssinaturaDeConstrutor*): Permite capturar métodos e construtores. É possível especificar escopo, tipo de retorno, localização e nome do método ou construtor e tipos de argumentos.
- **Assinaturas de Atributos** (*AssinaturaDeAtributo*): Permite capturar definições de atributos de classes. É possível especificar o escopo, tipo do atributo, localização e nome do atributo.

A figura 10 mostra exemplos de padrões de assinatura na captura de pontos de junção. O primeiro exemplo mostra o uso de um padrão de método para capturar chamadas ao método **umMetodo()** de objetos do tipo **ObjetoA** que não tenha retorno e com escopo público. O segundo exemplo mostra o padrão de tipo para capturar objetos do tipo **ObjetoA**. O terceiro mostra o padrão de atributo para capturar atribuições ao atributo **name** de objetos do tipo **ObjetoB**, em qualquer o escopo. O último exemplo apresenta o padrão de construtor para capturar a inicialização de objetos do tipo **ObjetoA** sem nenhum parâmetro. Além do operador **&&**, que tem a semântica do operador lógico do tipo AND, AspectJ disponibiliza outros operadores binários. O operador **||** tem a mesma semântica de um operador lógico do tipo OR e o operador **!** possui a mesma semântica do operador lógico do tipo NOT.

```
public aspect Teste {
    pointcut exemploPontoDeCorte(): cflow(call(public void ObjetoA.umMetodo()));
}
```

Figura 8 – Ponto de corte para captura do fluxo de execução inclusivo: `cflow()`

```
public aspect Teste {
    pointcut exemploPontoDeCorte(): cflowbelow(call(public void ObjetoA.umMetodo()));
}
```

Figura 9 – Ponto de corte para captura do fluxo de execução exclusivo: `cflowbelow()`

Além dos pontos de corte para captura de execução, chamada, tratamento de exceção e atribuição, existem pontos de corte mais complexos relativos ao fluxo de execução de um programa. Os **pontos de corte para captura do fluxo de execução** capturam todos os pontos de junção a partir de um outro ponto de corte. Existem dois tipos: *cflow(PontoDeCorte)* e *cflowbelow(PontoDeCorte)*. O ponto de corte da figura 8 é do tipo *cflow()* e captura todos os pontos de junção disparados a partir do ponto de corte **call(public void ObjetoA.umMetodo())**, inclusive a chamada ao próprio método. O ponto de corte da figura 9 é do tipo *cflowbelow()* e captura os mesmos pontos de junção do anterior, exceto a chamada ao próprio método.

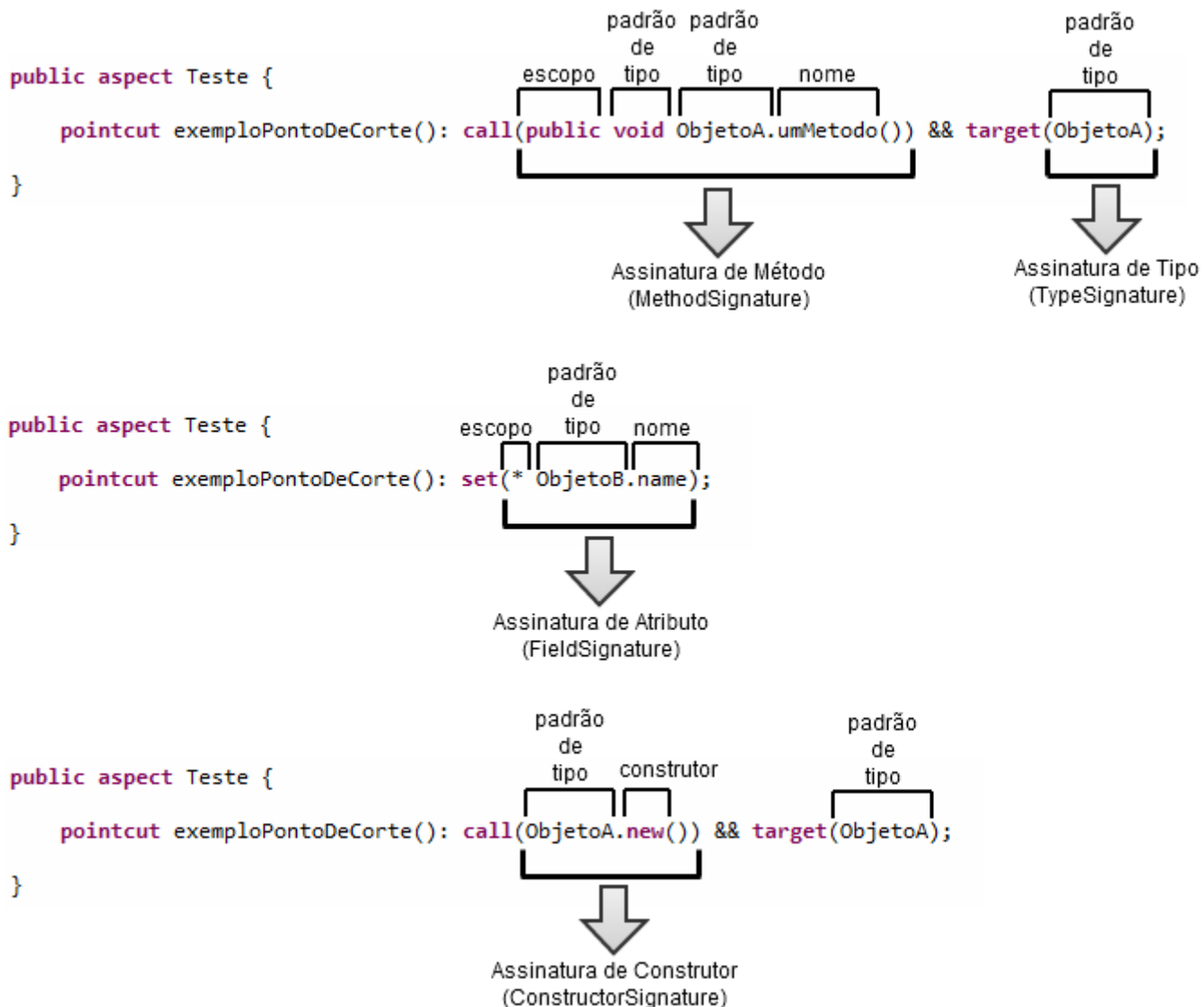


Figura 10 – Exemplo de assinaturas em AspectJ

Existem também **pontos de corte baseados na estrutura léxica do código**. Estes pontos de corte capturam pontos de junção que ocorrem dentro de um determinado trecho de código. Existem dois tipos: *within(AssinaturaDeTipo)* e *withincode(AssinaturaDeConstrutor ou AssinaturaDeMétodo)*. O primeiro tipo captura os pontos de junção que ocorrerem dentro de classes, aspectos ou classes aninhadas de um determinado tipo (*AssinaturaDeTipo*). O segundo tipo captura os pontos de junção que estiverem dentro do código de um dado método ou construtor (*AssinaturaDeConstrutor ou AssinaturaDeMétodo*).

Outros tipos de **ponto de corte permitem capturar o contexto de uma execução**. O ponto de corte *this(TipoDoObjeto)* permite capturar todos os pontos de junção onde o objeto que está executando é do tipo *TipoDoObjeto*. Já o ponto de corte *target(TipoDoObjeto)* permite capturar os pontos de junção onde o objeto que está sendo chamado é do tipo *TipoDoObjeto*. Estes pontos de corte são importantes, pois permitem passar o contexto de uma execução, isto é, instâncias de objetos, para um aviso, o que será abordado ainda neste capítulo.

Para finalizar existem os **pontos de corte para argumentos**. Estes pontos de corte tem a seguinte sintaxe: *args(AssinaturaDeTipo, ..., AssinaturaDeTipo)*. Eles permitem capturar pontos de junção baseados nos argumentos recebidos. Por exemplo, capturar os métodos que recebam três atributos do tipo *String*.

Após identificar quais pontos de junção serão capturados através de pontos de corte, deve-se especificar qual o comportamento que será executado antes, durante ou depois dos locais selecionados. Para isso, AspectJ propõe uma construção denominada **aviso**. Um aviso é uma construção parecida com um método em Java. Ele define um comportamento para ser executado. Existem três tipos de avisos:

- **Antes** (before): Executa antes do ponto de junção capturado.
- **Depois** (after): Executa depois do ponto de junção capturado. Existe uma variação ao aviso *after* que executará apenas se o ponto de junção capturado não lançar nenhuma exceção, isto é, só será executado se a execução do ponto de junção tiver sucesso. Esse tipo de aviso é denominado *after returning*.
- **Durante** (around): É o tipo de aviso mais poderoso, pois pode executar no lugar do ponto de junção capturado, continuar a execução original ou alterar o contexto de execução.

A figura 11 mostra um exemplo de um aviso que executa **depois**(*after*) do ponto de corte **exemploDePontoDeCorte()**. Este aviso recebe o contexto da execução como parâmetro (um objeto do tipo **ObjetoA**) e imprime uma mensagem com a representação textual deste objeto. O corpo deste aviso é o trecho de código que realiza a impressão da representação do objeto. Em AspectJ, o corpo de um aviso pode conter qualquer código Java. Observa-se também que o objeto passado no contexto de execução é referenciado no corpo do aviso. Os pontos de corte *target()* e *this()* são muito utilizados, pois permitem passar o contexto de execução para um aviso.

```
public aspect Teste {

    pointcut exemploPontoDeCorte(ObjetoA a): call(public void ObjetoA.umMetodo()) && target(a);

    after(ObjetoA a): exemploPontoDeCorte(a) {
        System.out.println("Execução do Aviso, com o objeto: " + a.toString());
    }

}
```

Figura 11 – Exemplo de aviso com contexto de execução

#### 2.1.4.2 Construções Estáticas

Uma das construções estáticas propostas por AspectJ é a **introdução**, que permite alterar a estrutura de classes, aspectos e interfaces adicionando novos métodos e atributos. A figura 12 mostra um aspecto que introduz o método **metodoIntroduzido()** e os atributos **atributoUm** e **atributoDois** na classe do tipo **ObjetoA**. Os dois atributos introduzidos são utilizados no próprio método **metodoIntroduzido()** e que também foi introduzido. Isto é possível, pois o compilador AspectJ sabe que o método introduzido pertence ao **ObjetoA** e o objeto que executará este método será um objeto do tipo **ObjetoA**.

Outra funcionalidade disponível na linguagem é a **modificação da hierarquia de classes**, permitindo a definição de relacionamentos de herança, implementação de interfaces, dentre outras alterações (LADDAD, 2003). O exemplo da figura 13 mostra a introdução de um relacionamento de herança entre as classes **ObjetoA** e **ObjetoB**.

#### 2.1.4.3 Aspecto

Resumidamente, para estender um sistema utilizando Java com AspectJ, deve-se identificar os pontos de junção que serão selecionados por um ponto de corte e implementar o aviso que introduzirá o novo comportamento antes, durante ou depois do ponto de corte. O elemento da linguagem que agrupa

```

public aspect Teste {

    public String ObjetoA.atributoUm = "um";
    public String ObjetoA.atributoDois = "dois";

    public void ObjetoA.metodoIntroduzido(){
        System.out.println("Novo método no objeto A com dois atributos: " + this.atributoUm + this.atributoDois);
    }
}

```

Figura 12 – Introdução de métodos e atributos

```

public aspect Teste {

    declare parents: ObjetoA extends ObjetoB;

}

```

Figura 13 – Introdução de relacionamentos de herança

todas essas construções é o **aspecto**. Um aspecto é uma unidade de modularização semelhante a uma classe, mas com diferenças em relação ao ciclo de vida, pois não pode ser instanciado e não pode especializar de um outro aspecto concreto. No entanto, um aspecto pode ser declarado como abstrato e aspectos concretos podem estendê-lo para implementar suas declarações abstratas.

#### 2.1.4.4 Exemplo de Aspecto

O objetivo deste exemplo é utilizar a linguagem AspectJ para implementar de maneira elegante o padrão de projeto **Observador** (GAMMA et al., 1995). Este padrão permite que um ou mais objetos se cadastrem para escutar mudanças de um outro objeto. A implementação do padrão está presente nos exemplos da IDE para desenvolvimento com aspectos: AspectJ Development Tools (AJDT) (ASPECTJ, 2012).

Um dos requisitos deste padrão é que um ou mais objetos (observadores) possam escutar mudanças de um outro objeto (sujeito) e serem atualizados. Assim, identificam-se duas interfaces: *Subject* e *Observer*. A interface *Subject* deve armazenar seus observadores e prover métodos para adicionar, remover e obter os mesmos. A interface *Observer* deve prover métodos para associar e obter o sujeito observado. Esses requisitos são implementados no aspecto como introduções de métodos e atributos. O trecho de código da figura 14 apresenta as introduções realizadas. Observa-se a introdução do atributo *observers* e dos métodos *addObserver()*, *removeObserver()* e *getObservers()* na interface *Subject*. Na interface *Observer* foram introduzidos os métodos *setSubject()* e *getSubject()* e o atributo *subject*.

Além de introduzir os métodos e atributos para permitir a associação entre sujeitos e observadores, deve-se implementar a lógica que capture mudanças nos sujeitos e avise os observadores. Essa lógica pode ser implementada com o uso de pontos de corte e avisos. O ponto de corte *stateChanges()* é responsável por escutar mudanças em um sujeito e após (*after*) cada mudança, um aviso é executado para atualizar os observadores. O ponto de corte *stateChanges()* deve ser abstrato, pois este ponto de corte será diferente para cada sujeito a ser observado. O trecho de código que implementa o ponto de corte e o aviso também pode ser visualizado na figura 14.

Com esses requisitos implementados, é possível juntar os dois trechos de código em um aspecto abstrato que implementa o padrão **Observador**. Este aspecto é abstrato, pois tem o ponto de corte abstrato *stateChanges()*, que deve ser definido por um aspecto concreto, selecionando quais pontos de junção serão capturados para definir que uma mudança ocorreu. O aspecto abstrato recebe o nome de *SubjectObserverProtocol* e pode ser visualizado na figura 14. Um desenvolvedor que deseja utilizar o padrão de projeto observador pode reusar o aspecto abstrato *SubjectObserverProtocol*, estendendo-o com a implementação de um aspecto concreto. Este aspecto concreto deve especificar qual classe faz o papel

```

abstract aspect SubjectObserverProtocol {

    abstract pointcut stateChanges(Subject s);

    after(Subject s): stateChanges(s) {
        for (int i = 0; i < s.getObservers().size(); i++) {
            ((Observer) s.getObservers().elementAt(i)).update();
        }
    }

    private Vector Subject.observers = new Vector();

    public void Subject.addObserver(Observer obs) {
        observers.addElement(obs);
        obs.setSubject(this);
    }

    public void Subject.removeObserver(Observer obs) {
        observers.removeElement(obs);
        obs.setSubject(null);
    }

    public Vector Subject.getObservers() {
        return observers;
    }

    private Subject Observer.subject = null;

    public void Observer.setSubject(Subject s) {
        subject = s;
    }

    public Subject Observer.getSubject() {
        return subject;
    }
}

```

Figura 14 – Aspecto abstrato para implementação do padrão de projeto Observador

de sujeito, isto é, qual classe implementa a interface *Subject* e qual classe faz o papel de observador, isto é, qual classe implementa a interface *Observer*. Além disso, deve definir o ponto de corte *stateChanges()*, para especificar em quais pontos de junção serão detectadas mudanças.

Considerando como exemplo um sistema de interface gráfica com um botão e um texto com cor variável. Define-se como requisito que a cor deste texto deve modificar toda vez que o botão foi clicado. Este requisito pode ser implementado utilizando o aspecto abstrato. O pequeno sistema de interface gráfica contém a classe *Button* representando o botão e a classe *ColorLabel* representando o texto com cor. A classe *Button* é o sujeito observado, por isso implementa a interface *Subject*. O observador é a classe *ColorLabel* que implementa a interface *Observer*. Além disso, introduz-se o método *update()* na classe *ColorLabel* para atualizar a cor do texto quando houver alguma mudança no botão. O que está faltando definir é quais pontos na execução do programa geram mudanças no botão. Estes pontos são definidos ao implementar o ponto de corte abstrato *stateChanges()*. Define-se que serão capturadas as chamadas ao método *click()* da classe *Button*, onde o objeto alvo é do tipo *Subject* (neste caso é da classe *Button*, pois esta classe implementa *Subject*). O código do aspecto concreto para implementar o padrão observador pode ser visualizado na figura 15. Este aspecto captura cliques em um botão, atualizando a cor de um texto.



```

aspect SubjectObserverProtocolImpl extends SubjectObserverProtocol {

    declare parents: Button implements Subject;
    public Object Button.getData() { return this; }

    declare parents: ColorLabel implements Observer;
    public void ColorLabel.update() {
        colorCycle();
    }

    pointcut stateChanges(Subject s):
        target(s) &&
        call(void Button.click());

}

```

Figura 15 – Aspecto concreto implementando o padrão de projeto Observador em um sistema de interface gráfica

## 2.2 ANÁLISE E PROJETO COM UML

A análise e projeto de sistemas orientados a objetos é importante para o desenvolvimento de aplicações complexas. Aplicações complexas necessitam de um planejamento antes da implementação. Usualmente divide-se o desenvolvimento de um sistema em quatro fases: análise, projeto, implementação e testes (PRESSMAN, 2001). As fases de análise e projeto são as fases aonde realiza-se a maior parte do planejamento de um desenvolvimento. Já as fases de implementação e testes são responsáveis pela codificação com o objetivo de obter um programa executável e que cumpra os requisitos do cliente.

Nas fases de análise e projeto utilizam-se modelos que permitem representar o sistema em diferentes níveis de abstração, facilitando a compreensão e reduzindo a complexidade. A fase de análise pretende compreender os principais conceitos do domínio do problema, evitando o uso de termos computacionais. Já a fase de projeto foca na solução que será desenvolvida para produzir um sistema a partir da compreensão do problema.

### 2.2.1 Múltiplos pontos de vista de um sistema

Segundo (SILVA, 2007a), um sistema orientado a objetos pode ser visualizado por diferentes pontos de vista:

- Estrutural de sistema: Essa visão contém o conjunto de elementos de um sistema orientado a objetos e seus relacionamentos.
- Estrutural de classe: Essa visão contém o detalhamento da estrutura de cada um dos elementos de um sistema.
- Comportamental de sistema: Essa visão permite compreender o conjunto de funcionalidades do sistema e como os elementos iteram em tempo de execução.
- Comportamental de classe: Essa visão permite compreender o comportamento de um elemento isoladamente. Geralmente compreende-se a variação de estados desse elemento.

Uma modelagem que permita representar esses quatro pontos de vista pode ser considerada completa. Uma **modelagem completa** fornece subsídios para a geração de código e facilita a compreensão de um sistema, tornando-o manutenível e possibilitando o reuso.

## 2.3 UML: SEGUNDA VERSÃO

A segunda versão da UML (OMG, 2011) permite representar os elementos e o comportamento e a estrutura de um sistema nas fases de análise e projeto através de diagramas estruturais e comportamentais. Esta linguagem é um padrão da *Object Management Group* (OMG), por isso é compreendida e utilizada por grande parte dos desenvolvedores e analistas para realizar a modelagem de sistemas. Os diagramas da segunda versão da UML permitem a representação dos quatro pontos de vista essenciais para programas orientados a objetos. As seções que tratam dos diagramas estruturais e comportamentais da UML são baseadas no conteúdo do livro UML 2 em Modelagem Orientada a Objetos (SILVA, 2007b) e no Tutorial de UML da Sparx Systems (SYSTEMS, 2012).

### 2.3.1 Diagramas Estruturais

A segunda versão da UML disponibiliza sete diagramas estruturais: diagrama de classes, componentes, estrutura composta, instalação, objetos, pacotes e perfil. Os diagramas estruturais utilizados nesta dissertação são os diagramas de classe e o diagrama de perfil. Este último foi introduzido na versão 2.2 da linguagem e é importante para extensão da linguagem para um domínio específico.

#### 2.3.1.1 Diagrama de Classes

O diagrama de classes permite representar a estrutura e os relacionamentos dos elementos de um sistema. Este diagrama permite visualizar o sistema como um todo, visualizando os relacionamentos entre os elementos e também permite visualizar a estrutura de cada elemento, com seus atributos e métodos. Os principais componentes deste diagrama são as classes, associações, atributos, métodos e pacotes.

#### 2.3.1.2 Diagrama de Perfil

O diagrama de perfil permite estender o modelo da linguagem para representar conceitos de um determinado domínio de aplicações. Um perfil é composto por **estereótipos**, **restrições** e **valores rotulados**.

Um **estereótipo** adiciona uma semântica adicional a um elemento da UML. Geralmente adiciona-se um estereótipo para diferenciar os papéis dos elementos de um modelo. Por exemplo, a classe *RoomManager* da figura 16 foi associada ao estereótipo *Controller* para representar que esta classe tem o papel de controlador. É possível adicionar mais de um estereótipo a mesma classe. A classe *ReservationManager* é associada aos estereótipos *Controller* e *Client* para representar que esta classe é um controlador e que encontra-se do lado do cliente. Os estereótipos *Client* e *Controller* estendem o elemento do meta-modelo da UML *Class*, podendo assim ser aplicados a qualquer classe. É importante observar que um estereótipo pode ser associado a qualquer elemento do meta-modelo da UML. O atributo *id* da classe *Room* está associado ao estereótipo *key* para representar que este atributo define unicamente uma sala. O estereótipo *key* está estendendo o meta-modelo da UML *Attribute*.

Um estereótipo adiciona um papel a um elemento do modelo. Para adicionar mais informações a um elemento, podem-se definir **valores rotulados**. A linguagem permite associar zero ou mais valores rotulados a um estereótipo. Um valor rotulado pode ser um elemento do modelo, um número, um texto, um booleano ou uma enumeração definida pelo usuário. Ao utilizar um estereótipo em um modelo, deve-se definir os valores rotulados associados ao mesmo. Os valores rotulados adicionam uma semântica ao estereótipo. O exemplo da figura 17 contém duas classes que representam sistemas operacionais: *Fedora64* e *WindowsXP*. Estas classes são marcadas com o estereótipo *Operating System*. Este estereótipo exige a definição do valor rotulado *platform*, que define qual a plataforma do sistema operacional. Este valor rotulado é um enumerado com dois tipos: x86 e x64. No exemplo, a classe *Fedora64* associa o valor x64 ao valor rotulado *platform*, pois é um sistema de 64 bits. Já a classe *WindowsXP* associa o valor x86 ao mesmo valor rotulado, pois é um sistema de 32 bits. Finalmente, **restrições** podem ser introduzidas ao modelo para garantir a consistência no próprio modelo e nos seus relacionamentos.



Figura 16 – Uso de estereótipos em um diagrama de classes



Figura 17 – Uso de valores rotulados em um diagrama de classes

A figura 18 mostra a definição de um perfil UML para modelagem de sistemas que desejam representar veículos (PARADIGM, 2011). Foram definidos sete estereótipos que estendem o elemento do meta-modelo *Class*. Observa-se a generalização entre os estereótipos *Vehicle*, *Mini*, *Pickup Truck* e *Convertible*. O estereótipo *Pickup Truck* especializa o estereótipo *Vehicle*. O relacionamento de composição entre os estereótipos *Interior* e *Seat* define que o interior de um veículo deve ter no mínimo um assento. Observa-se também a presença de dois valores rotulados do tipo texto no estereótipo *Seat*: *texture* e *pattern*. Existem outros valores rotulados neste perfil como: o limite de passageiros (*passenger-limit*) no estereótipo *Vehicle*, que é do tipo inteiro; o limite de velocidade (*speed-limit*) também no estereótipo *Vehicle*, que é do tipo ponto flutuante, dentre outros. Este perfil pode ser exportado no formato *XML Metadata Interchange (XMI)* ((OMG), 2011b) e utilizado por outras ferramentas do tipo *Computer Aided Software Engineering (CASE)*. Assim, é possível intercambiar perfis entre diferentes ferramentas CASE. A vantagem do intercâmbio de perfis é o reuso de especificações já prontas sobre um determinado domínio de aplicação. Um exemplo de perfil que pode ser reusado por outros desenvolvedores é um perfil que especifique sistemas orientados a aspectos.

### 2.3.2 Diagramas Comportamentais

A segunda versão da UML possui sete diagramas comportamentais: diagrama de atividades, máquina de estados, casos de uso, comunicação, visão geral de interação, sequência e de tempo. Neste trabalho serão utilizados os diagramas de máquina de estados e de sequência.

#### 2.3.2.1 Diagrama de Máquina de Estados

O diagrama de máquina de estados representa os estados e o comportamento de um objeto, especificando a sequência de eventos que um objeto recebe durante sua existência. Os principais componentes deste diagrama são os estados e as transições. Um diagrama de máquina de estados também pode representar concorrência utilizando nodos *fork* e *join* com regiões concorrentes. Este mecanismo permite realizar a sincronização entre diferentes estados. Na POO utiliza-se o diagrama de máquina de estados para especificar os diferentes estados de uma classe. Neste caso, cada estado representa uma configuração dos atributos da classe. As transições são as execuções de métodos, que modificam valores de atributos, evoluindo a classe para um novo estado.

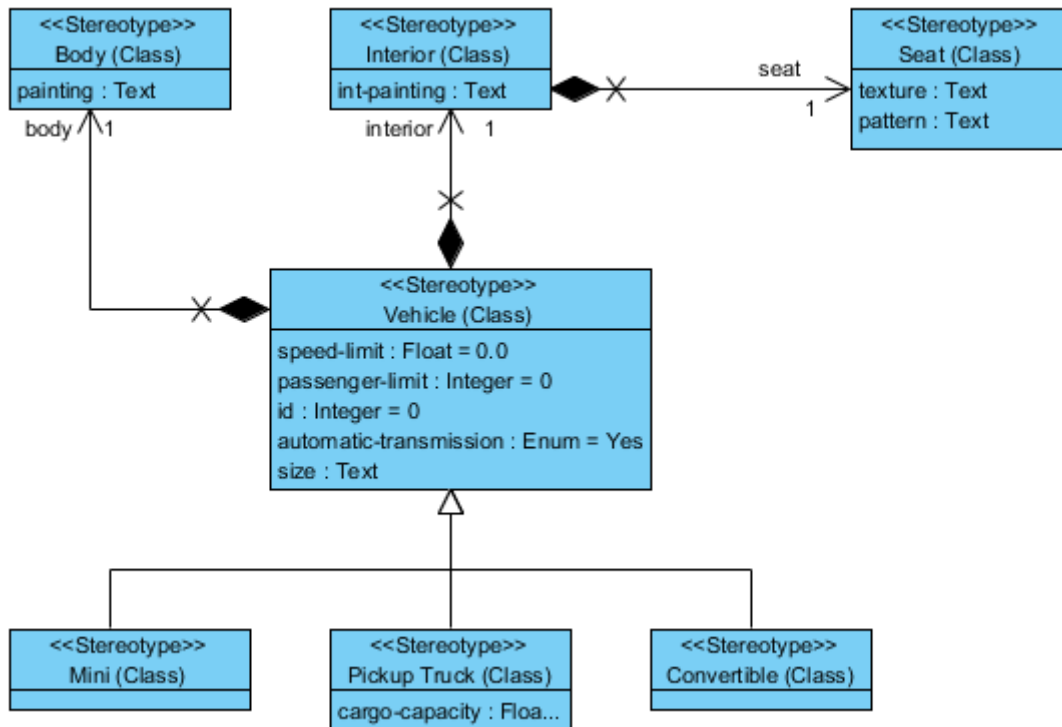


Figura 18 – Diagrama de Perfil para representar veículos

### 2.3.2.2 Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência representa as trocas de mensagens entre objetos. Este diagrama permite compreender a interação entre objetos com foco no tempo e na ordem das mensagens durante uma execução. Os principais componentes do diagrama de sequência são as linhas de vida de objetos, as mensagens e os fragmentos combinados. Um fragmento combinado permite adicionar condições e iterações em uma troca de mensagens. Outro componente importante e utilizado nesta dissertação é a invariante de estado, que permite estabelecer uma condição para que um conjunto de mensagens seja executado. Este conjunto de mensagens somente será executado quando o sistema atingir o estado associado com a invariante de estado. O comportamento de cada caso de uso pode ser refinado com um diagrama de sequência.

## 2.4 META-MODELAGEM

Uma linguagem geralmente é definida através de uma gramática na forma *Backus Naur Form* (BNF). Uma linguagem bem definida pode ser interpretada de forma automatizada por um computador. Este método de definição de linguagens é utilizado até hoje para representar linguagens baseadas em texto. No entanto, as linguagens para modelagem contêm elementos não-textuais e, por isso, necessitam de um novo mecanismo de definição. Este mecanismo é denominado **meta-modelagem**, que permite a descrição de uma linguagem na forma de um modelo (KLEPPE; WARMER; BAST, 2003). Um meta-modelo de uma linguagem define os elementos que podem ser utilizados na criação de modelos utilizando esta linguagem. Considerando a UML como exemplo, o meta-modelo da linguagem define elementos como Classe, Estado, Pacote, Operação, etc. Assim, um modelo definido utilizando UML pode definir instâncias de classes, estados, pacotes, operações, etc. A OMG define uma arquitetura em quatro camadas para representar os modelos padrões para definição de modelos. Esta arquitetura pode ser visualizada na figura 19.

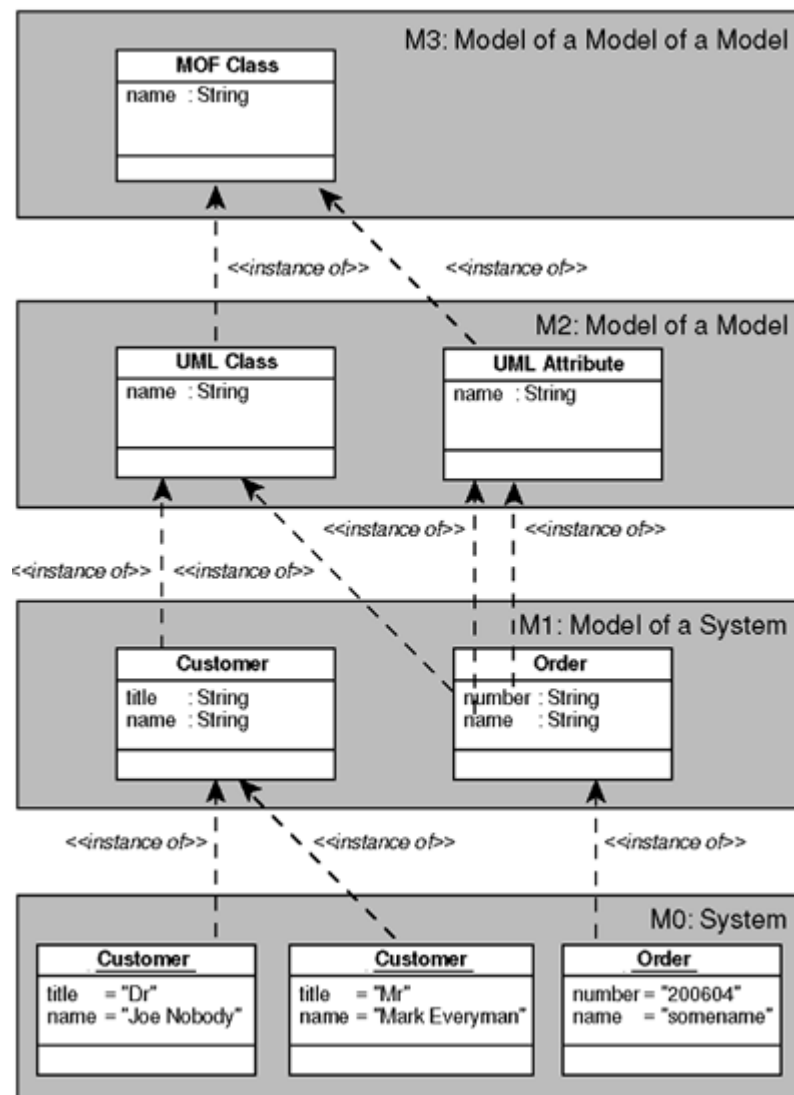


Figura 19 – Meta-modelo da Object Management Group (OMG)

Na arquitetura da figura 19, o modelo M3 define elementos que podem ser utilizados para representar conceitos no modelo M2. O modelo M3 é considerado o meta-meta-modelo da OMG. O *Meta-Object Facility* (MOF) é um padrão da OMG que define a linguagem que deve ser utilizada para definir linguagens para modelagem ((OMG), 2011a). O MOF está no nível M3. O modelo M2 especifica os elementos que podem ser utilizados no modelo M1. Um modelo no nível M2 é denominado um meta-modelo. Linguagens geralmente são definidas neste nível de modelo. Observa-se na figura 19 a definição de uma classe (*UML Class*) e de um atributo (*UML Attribute*) no nível M2. Estes elementos fazem parte da definição do meta-modelo da UML. O modelo M1 contém instâncias de elementos definidos no modelo M2. Este modelo é o que é definido pelo analista ao realizar a modelagem de um determinado sistema com UML. Na figura 19 observa-se a definição de duas classes: *Customer* e *Order* no nível M1. Além disso, definem-se os atributos *title*, *name* e *number* nessas classes. As classes são instâncias da meta-classe *UML Class*. Os atributos são instâncias da meta-classe *UML Attribute*. Finalmente, o modelo M0 representa as instâncias de um sistema representadas em um modelo. Um exemplo de instância é um cliente do tipo *Customer* com o nome *Joe Nobody*.

O meta-modelo da UML é definido no nível M2 a partir do MOF. Este meta-modelo é uma instância do MOF. Uma parte do meta-modelo pode ser visualizada na figura 20. Esta parte do modelo define os componentes para representar classes, atributos, operações, etc.

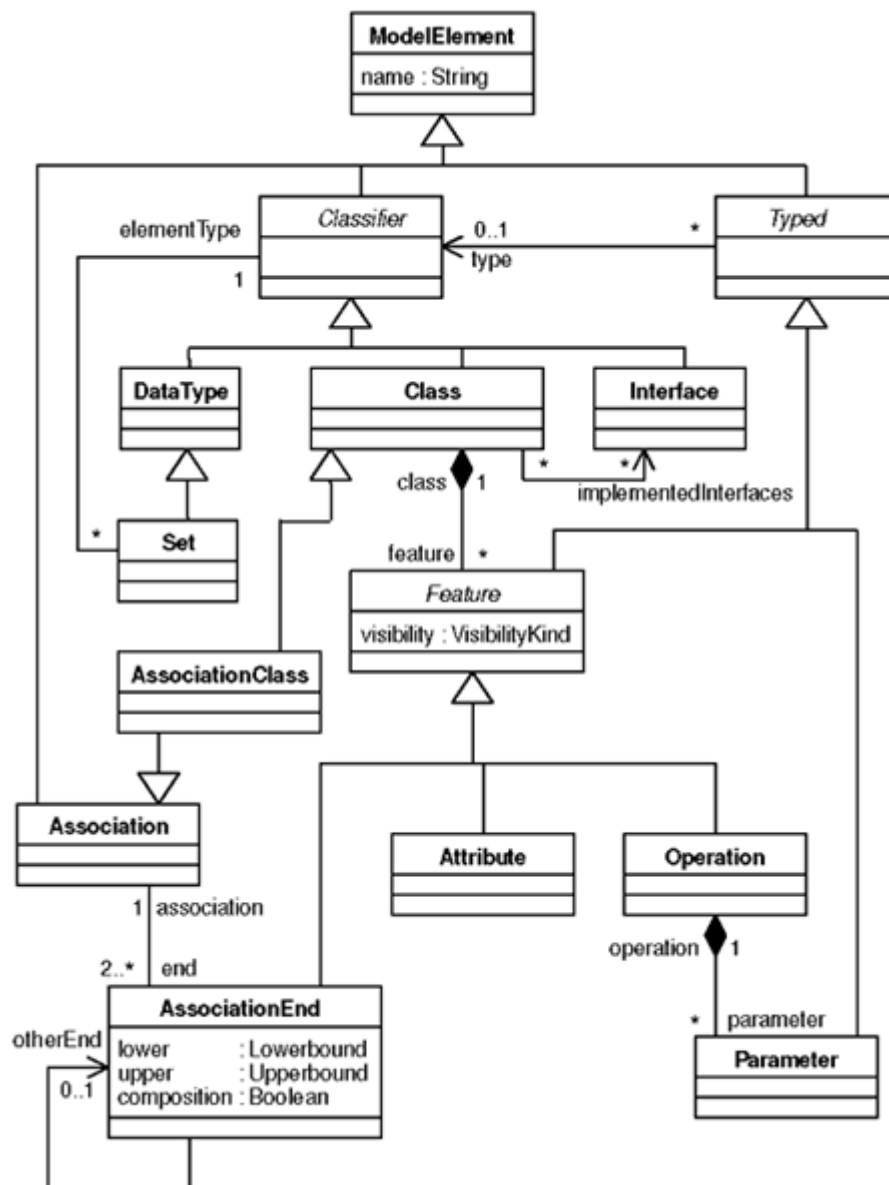


Figura 20 – Meta-modelo da UML

É importante observar no modelo da figura 20 que qualquer elemento de um modelo da UML deve derivar de *ModelElement* e por isso deve ter um nome. Nota-se também a presença de Classe (*Class*), Atributo (*Attribute*) e Operação (*Operation*). Estes são alguns dos elementos que podem ser utilizados na criação de uma modelagem utilizando UML. Os relacionamentos entre os elementos do meta-modelo podem introduzir restrições. Um exemplo de restrição é que uma operação pode ter zero ou mais parâmetros. Qualquer modelo da UML deve respeitar estas restrições e a estrutura definida no meta-modelo da OMG.

#### 2.4.1 Extensões a UML

É possível estender a UML de duas formas: criação de um Perfil UML para representar os conceitos de um dado domínio de aplicação ou através da definição de um novo meta-modelo para este domínio de aplicação.

##### 2.4.1.1 Extensão pela Definição de um Perfil UML

A UML pode ser estendida com a definição de diferentes perfis para determinados domínios de aplicação. É importante observar que, o mecanismo de perfis não é um mecanismo de extensão de primeira classe, o que significa que um perfil não pode modificar um meta-modelo (removendo restrições da UML, por exemplo), apenas adaptá-lo com construções específicas do domínio tratado. O mecanismo de extensão por perfis é considerado um mecanismo leve para extensão da linguagem.

A grande vantagem de estender a UML através de perfis é que qualquer ferramenta que suporte a importação de perfis pode utilizar os conceitos estendidos pelo perfil UML. Como o diagrama de perfil é um padrão da UML, a maior parte das ferramentas CASE já está suportando a definição e importação de perfis. Outra vantagem deste mecanismo é que é possível aplicar mais de um perfil em um mesmo modelo. Além disso um Perfil UML pode ser facilmente modificado, com a introdução de novos estereótipos, valores rotulados e restrições. Esta modificação pode ser realizada em qualquer ferramenta CASE que suporte a importação e definição de perfis.

A figura 21 apresenta um perfil UML para especificação de sistemas que utilizam o componente Enterprise Java Beans (EJB) (ORACLE, 2012a) da plataforma Java 2 Enterprise Edition (J2EE) (ORACLE, 2012b). A plataforma J2EE providencia algumas facilidades para realizar a camada de lógica de negócio e acesso a banco de dados de um sistema. Este perfil tem diversos estereótipos para representar os principais componentes de um sistema que utiliza EJB como: entidades (estereótipo *Entity EJB*), mensagens (estereótipo *Message EJB*), sessão (estereótipo *Session EJB*), dentre outros. Este perfil pode ser usado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis e está disponível na internet (PROCESS, 2012). Com ele, é possível representar todas as características dos componentes EJB em uma modelagem UML.

##### 2.4.1.2 Extensão pela Definição de um Meta-modelo

Com meta-modelagem, o objetivo é estender o meta-modelo da UML no nível M2 com a adição de novos conceitos relacionados a um domínio de aplicação. Uma extensão neste nível modifica o meta-modelo, podendo adicionar e remover restrições, adicionar e remover meta-classes do modelo, adicionar e modificar relacionamentos, etc.

Este tipo de extensão não permite o reuso dos conceitos em qualquer ferramenta de modelagem, pois as ferramentas CASE suportam apenas a definição de modelos dentro do meta-modelo padrão da OMG ou modelos definidos com o uso de perfis. Assim, a extensão será específica para uma determinada ferramenta. A extensão através de meta-modelagem pode ser utilizada quando uma extensão tem uma baixa probabilidade de ser modificada no futuro e não existe a necessidade de combinar esta extensão com outras extensões.





### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

A POA tem elementos que não podem ser representados com o meta-modelo padrão da segunda versão da UML. Esta limitação faz com que seja necessário estender a linguagem para modelagem de sistemas orientados a aspectos. Esta extensão pode ser obtida com a definição de perfis UML ou através da definição de um novo meta-modelo. Propostas que estendem a UML através de um perfil podem ser reusadas diretamente em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis. Os trabalhos que trabalham em nível de meta-modelagem podem ser utilizados em outras ferramentas CASE apenas através de transformações nos modelos, pois as ferramentas CASE suportam apenas o meta-modelo padrão da UML ou a extensão através de perfis.

#### 3.1 PERFIL UML PROPOSTO POR EVERMANN

A proposta de Evermann (EVERMANN, 2007) propõe um Perfil UML para modelagem das construções da linguagem AspectJ. O foco do trabalho é o desenvolvimento de um perfil que estenda a UML através da introdução de estereótipos, valores rotulados e restrições que permitam representar programas orientados a aspectos. Este perfil não remove restrições do meta-modelo padrão da linguagem e também não adiciona novas meta-classes em nível de meta-modelo, apenas estende meta-classes através de estereótipos. Assim, é possível utilizar esse meta-modelo como um perfil UML em qualquer ferramenta que suporte a importação de perfis.

Na proposta de Evermann, os aspectos são agrupados em um interesse entrecortante. Para tal introduz-se o estereótipo *CrossCuttingConcern* que estende a meta-classe *Package*. Um aspecto (*Aspect*) é representado estendendo a meta-classe *Class*. Este pode conter características estruturais e dinâmicas. Um aviso representa comportamento e estende a meta-classe *BehavioralFeature*, significando que este aviso pode incluir colaborações e máquinas de estado. Os pontos de corte são características estruturais e são representados estendendo a classe do meta-modelo *StructuralFeature*. Para representar os possíveis tipos de ponto de corte estende-se a meta-classe abstrata *PointCut* em diversas sub-classes. Um aviso pode ter um ou mais pontos de corte associados. Os pontos de junção capturados por um ponto de corte devem ser elementos do modelo, como operações, atributos, etc. Um aspecto pode conter também declarações inter-tipos (*StaticCrossCuttingFeatures*), uma construção que possibilita a introdução de novos membros e relacionamentos em classes existentes.

A figura 22 mostra o exemplo de um estereótipo que estende um elemento do meta-modelo da UML: o estereótipo *Aspect* estendendo a meta-classe *Class*. O nome do estereótipo está representado em negrito e a meta-classe a qual ele estende está representada entre colchetes. Um estereótipo pode ter relacionamentos com outros estereótipos, como composições, agregações e associações.

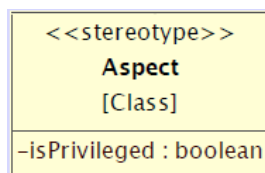


Figura 22 – Exemplo de estereótipo estendendo uma meta-classe em um diagrama de Perfil UML.

O Perfil UML completo proposto por Evermann pode ser visualizado na figura 23. Como todas as construções são definidas em linguagem de meta-modelo, pode-se realizar a geração de código em AspectJ. É de responsabilidade do desenvolvedor elaborar uma modelagem que esteja de acordo com as construções da linguagem alvo para geração do código.

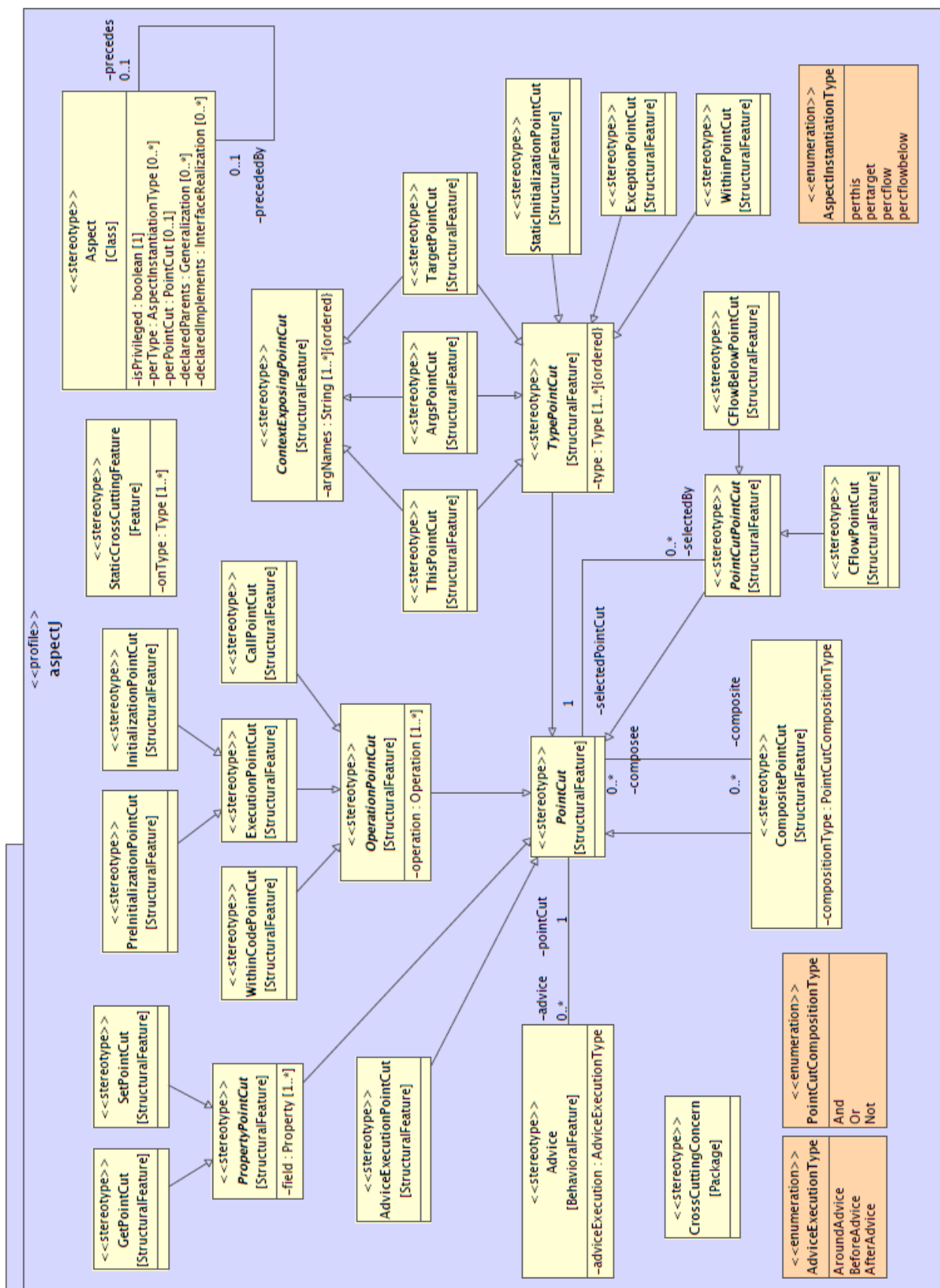


Figura 23 – Perfil UML para modelagem de aspectos (EVERMANN, 2007)

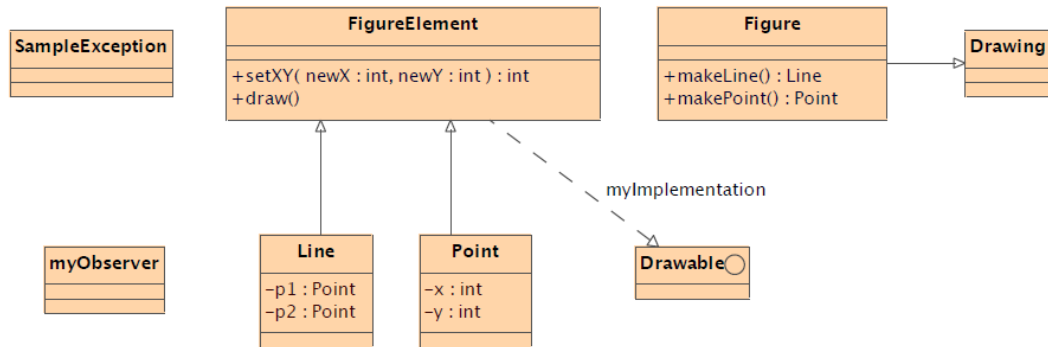


Figura 24 – Interesse núcleo para desenho de interface gráfica

Para exemplificar o uso deste Perfil UML em uma modelagem, Evermann implementou o padrão de projeto Observador (GAMMA et al., 1995) em um sistema para desenho de interface gráfica. O diagrama de classes do interesse núcleo pode ser visualizado na figura 24.

O interesse entrecortante é o padrão de projeto Observador e a sua modelagem pode ser visualizada na figura 25. O modelo do interesse entrecortante contém um aspecto que especifica quatro pontos de corte, três introduções e dois avisos. O ponto de corte *setXYPointCut* captura modificações nos atributos x e y da classe *Point*. O ponto de corte *twoIntArgsPC* captura chamadas e execuções com dois argumentos do tipo inteiro. O ponto de corte *observePointPC* compõe os dois pontos de cortes anteriores com o operador *And*, capturando modificações nos atributos x e y da classe *Point* com dois argumentos do tipo inteiro. Finalmente, define-se o ponto de corte *makeLinePointCut* que captura chamadas ao método *makeLine()*. As introduções adicionadas são os métodos *addObserver()* e *removeObserver()* e o atributo *theObservers* nas classes *Line* e *Point*. Estes membros permitem adicionar, remover e armazenar os observadores. Para introduzir os novos comportamentos, especifica-se o aviso *pointChange* que é executado antes do ponto de corte *observePointPC* e o aviso *newLine* que é executado antes do ponto de corte *makeLinePointCut*. A composição do interesse entrecortante no interesse núcleo pode ser visualizada na figura 26. A composição é realizada em nível de código.

A principal contribuição deste trabalho é a especificação do meta-modelo apenas em termos da UML, sem a necessidade de descrições textuais e de ferramentas adicionais para interpretação ou geração de código a partir do modelo. Além disso, o meta-modelo pode ser utilizado como um perfil UML em ferramentas que suportem a importação de perfis. Com a representação de elementos apenas em termos de meta-modelo, perde-se a possibilidade de representar padrões para captura de pontos de junção: os *wildcards*. A especificação por padrões é uma importante funcionalidade da programação por aspectos, pois simplifica a forma de capturar pontos de junção, sem a necessidade de explicitar cada elemento que será capturado. Assim, é importante que a extensão à UML permita representar essas características de uma maneira simples e praticável, para que seja possível expressar todas as características da POA na modelagem.

O trabalho de (EVERMANN, 2007) permite representar a estrutura de um programa orientado a aspectos através das meta-classes *CrossCuttingConcern*, *Aspect*, *PointCut* e *StaticCrossCuttingFeatures*. É importante observar que apenas a parte estrutural é especificada por esta proposta. Em relação às características comportamentais, como a meta-classe *Advice* estende a meta-classe *BehavioralFeature*, é possível representá-las com colaborações e diagramas de máquinas de estados, mas o trabalho não demonstra como realizar a modelagem de colaborações e nem permite a composição automatizada entre modelos que representam aspectos dinâmicos do sistema. Assim, conclui-se que o foco do trabalho é a representação da estrutura de um sistema orientado a aspectos. A parte dinâmica deve ser implementada manualmente no código gerado, que é uma limitação da abordagem, pois o desenvolvedor não pode especificar e visualizar a dinâmica de aspectos nos modelos que representam o sistema.

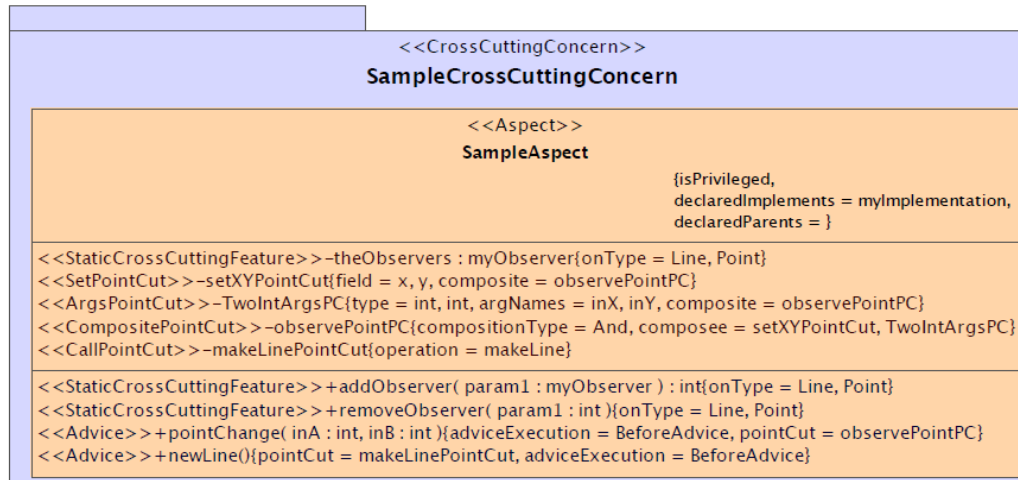


Figura 25 – Interesse entrecortante para implementação do padrão de projeto Observador

```

package SampleCrossCuttingConcern;

privileged aspect SampleAspect {
    declare parents: Figure extends Drawing;
    declare parents: FigureElement implements Drawable;

    pointcut setXYPointCut () : (
        set(private int Point.x) ||
        set(private int Point.y));

    pointcut TwoIntArgsPC (int inX, int inY):
        args(inX, inY);

    pointcut observePointPC (int inX, int inY): (
        (set(private int Point.x) ||
        set(private int Point.y)) &&
        args(inX, inY));

    pointcut makeLinePointCut () : (
        call(public Line Figure.makeLine ()) );

    before(int inA, int inB) throws SampleException
        : observePointPC(inA, inB) {}
    before() : makeLinePointCut() {}

    private myObserver Line.theObservers;
    private myObserver Point.theObservers;
    public int Line.addObserver (myObserver param1) {};
    public int Point.addObserver (myObserver param1) {};
    public void Line.removeObserver (int param1) {};
    public void Point.removeObserver (int param1) {};
}

```

Figura 26 – Composição do padrão observador no sistema de interface gráfica (em nível de código)

### 3.2 MODELOS DE ASPECTOS REUSÁVEIS (RAM) PROPOSTO POR KIENZLE

Uma modelagem por múltiplos pontos de vista é proposta por Kienzle (KIENZLE; ABED; KLEIN, 2009) (KIENZLE et al., 2010). Propõe-se RAM (*Reusable Aspects Models*), uma abordagem para especificar aspectos com dois diagramas dinâmicos (diagrama de máquina de estados e de sequência) e um diagrama estrutural (diagrama de classes). O objetivo deste trabalho é a melhora da escalabilidade de um sistema, mantendo a consistência entre as diferentes visões de um interesse entrecortante. RAM define modelos base para representar interesses núcleo e de aspectos para representar interesses entrecortantes.

Duas ferramentas são utilizadas para a composição dos modelos. *Kompose* (FLEUREY et al., 2007) é utilizado para composição da parte estrutural (diagramas de classe). Para composição, os elementos do modelo devem ser instâncias da mesma classe do meta-modelo. A composição é realizada comparando a assinatura de tipo dos elementos. Cada elemento do modelo deve possuir uma assinatura de tipo que o representa unicamente na modelagem. Dois elementos que tiverem a mesma assinatura podem ser compostos. A composição de diagramas de sequência e de estado é realizada utilizando uma outra ferramenta denominada GeKo (MORIN; KLEIN; BARAIS, 2008). Com essa ferramenta, para inserção de um novo comportamento em um modelo núcleo deve-se definir um modelo entrecortante (aspecto). Esse modelo de aspecto é composto por um diagrama refinando o ponto de corte e outro diagrama refinando o aviso. A composição acontece em duas fases: primeiramente são detectados os elementos do modelo núcleo que são impactados pelo ponto de corte do modelo do aspecto. Com os elementos capturados executa-se um mecanismo de composição que gera o modelo composto com o comportamento (aviso) do modelo do aspecto inserido no modelo núcleo (antes, durante ou depois). Essas duas ferramentas permitem representar aspectos e a composição entre um modelo núcleo e um modelo de aspecto.

Um interesse em RAM é modelado através de um pacote UML. Este pacote contém três visões: estrutural, de estado e de mensagens e é denominado modelo de um aspecto, podendo ser reusado em diferentes aplicações. A visão estrutural é composta por diagrama de classes. Nesta visão, as classes não precisam ser completamente especificadas, pois só precisam expressar o que é relevante para o interesse em questão. A visão de estado descreve o protocolo de uso de uma classe. Para classes completas, utiliza-se o diagrama de máquina de estados da UML. Classes incompletas são modeladas com um diagrama de máquina de estados para aspectos, composto por uma parte representando o ponto de corte e outra representando o aviso. O ponto de corte determina quais estados devem existir para o aviso ser executado. A visão de troca de mensagens utiliza o diagrama de sequência, onde cada método público das classes modeladas deve ser representando. Aqui também pode-se especificar o comportamento de aspectos através de dois diagramas de sequência: um para o ponto de corte e outro para o aviso. O ponto de corte determina a sequência de mensagens que deve ocorrer pra ativar o aviso. O aviso descreve a sequência de mensagens que substituem o ponto de corte em uma execução. Nas três visões, alguns elementos podem estar incompletos, o que significa que eles não são especificados no modelo de aspecto e deverão ser especificados por algum outro modelo na composição de modelos. Esses elementos são denominados **parâmetros de instanciação mandatória**, identificados pelo prefixo | e modelados como parâmetros de *template* UML.

RAM permite estabelecer dependências entre aspectos, com o objetivo de possibilitar o reuso de modelos. Se um aspecto A depende de um aspecto B, A deve instanciar todos os parâmetros de instanciação mandatória de B através de **diretivas de instancialização**. Por exemplo, para uma classe incompleta em B, A deve especificar uma classe que possa completá-la com os métodos e atributos faltantes. Esta regra vale também para as visões de estado e de mensagens. Além disso, A pode definir **diretivas de ligação** que mapeiam entidades incompletas de A em entidades completas de B. Nesse caso, as entidades incompletas de A não podem ser parâmetros de instanciação mandatória. É importante observar que diretivas de ligação e parâmetros de instanciação mandatória podem ser definidos com *wildcards*, permitindo a captura de padrões, uma funcionalidade importante da programação por aspectos.

A proposta de Kienzle também realiza a verificação de consistências entre as diferentes visões e modelos de aspectos. São realizadas verificações em diferentes níveis:

- **No modelo de aspecto:** Pode-se verificar se existe um diagrama de máquina de estados para cada classe na visão estrutural.
- **Entre modelos de aspectos:** Pode-se verificar que um aspecto A que depende de B deve inicializar todos os parâmetros de instanciação mandatórios de B.

- **No modelo final:** Pode-se comparar a sequência de mensagens na visão de mensagens com o diagrama de máquina de estados. As mensagens devem obedecer o protocolo do diagrama de máquina de estados.

Um estudo de caso foi realizado para avaliar a modelagem por múltiplos pontos de vista. No estudo adiciona-se a funcionalidade de garantia de atomicidade em um modelo de transações. O modelo de transações bancárias (modelo núcleo) pode ser visualizado na figura 27. Para garantir a atomicidade de transações utiliza-se o aspecto *Recovering* que tem dependência com nove aspectos. Este aspecto pode ser visualizado na figura 28. Uma das dependências indiretas é o aspecto *Checkpointable* (*Recovering* depende de *Checkpointing* que depende de *Checkpointable*). Este aspecto permite estabelecer pontos de verificação de um objeto, armazenando o seu estado e permitindo a restauração do mesmo. O aspecto *Checkpointable* depende de um outro aspecto denominado *Copyable* e ele deve instanciar os elementos incompletos de *Copyable*. Um exemplo de instanciação pode ser visualizado na visão de mensagens do aspecto *Checkpointable*. A diretiva de instanciação *clone.ICaller-ICheckpointable* indica que o objeto *ICaller* da visão de mensagens do método *clone* em *Copyable* está sendo instanciado com o objeto *ICheckpointable* de *Checkpointable*. O aspecto *Recovering* também contém diretivas de instanciação para os elementos incompletos dos aspectos os quais depende.

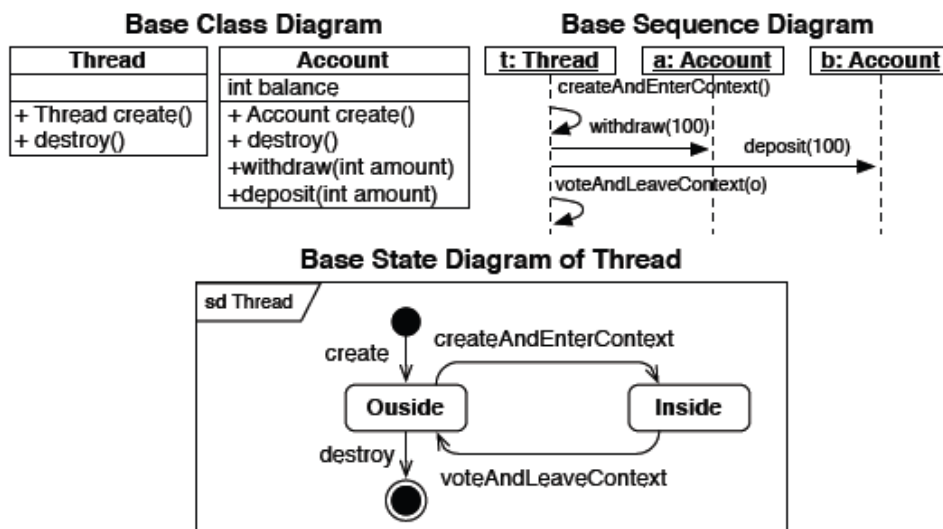


Figura 27 – Modelo núcleo para transações

Com o aspecto para garantia de atomicidade definido, deve-se realizar a composição com o modelo núcleo. O modelo final após a composição pode ser visualizado nas figuras 29 (visão estrutural), 31 (visão de estados) e 30 (visão de mensagens). Observa-se a presença de alguns elementos referentes ao aspecto *Checkpointable* no modelo final como a classe *Stack* e a inserção dos métodos *establish()*, *restore()* e *discard()* na visão de mensagens. Na visão de troca de mensagens, as mensagens referentes ao aspecto *Checkpointable* também estão destacadas. Nesta visão, as mensagens de cada aspecto dependente estão destacadas. Assim, o modelo final contém uma parte de cada aspecto, compostas com o modelo núcleo, resultando em um modelo que representa o comportamento desejado para garantia de atomicidade de transações.

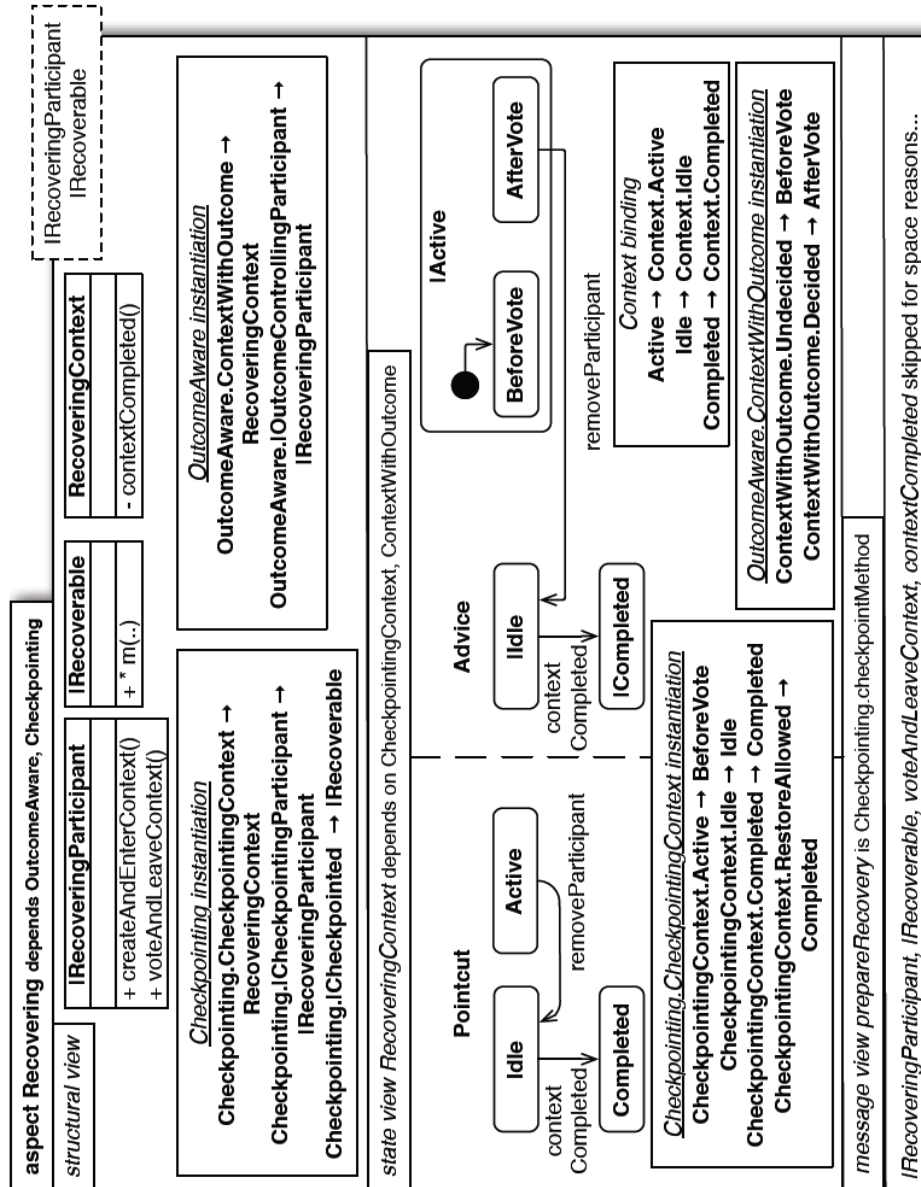


Figura 28 – Aspecto para recuperação de dados (garantia de atomicidade)

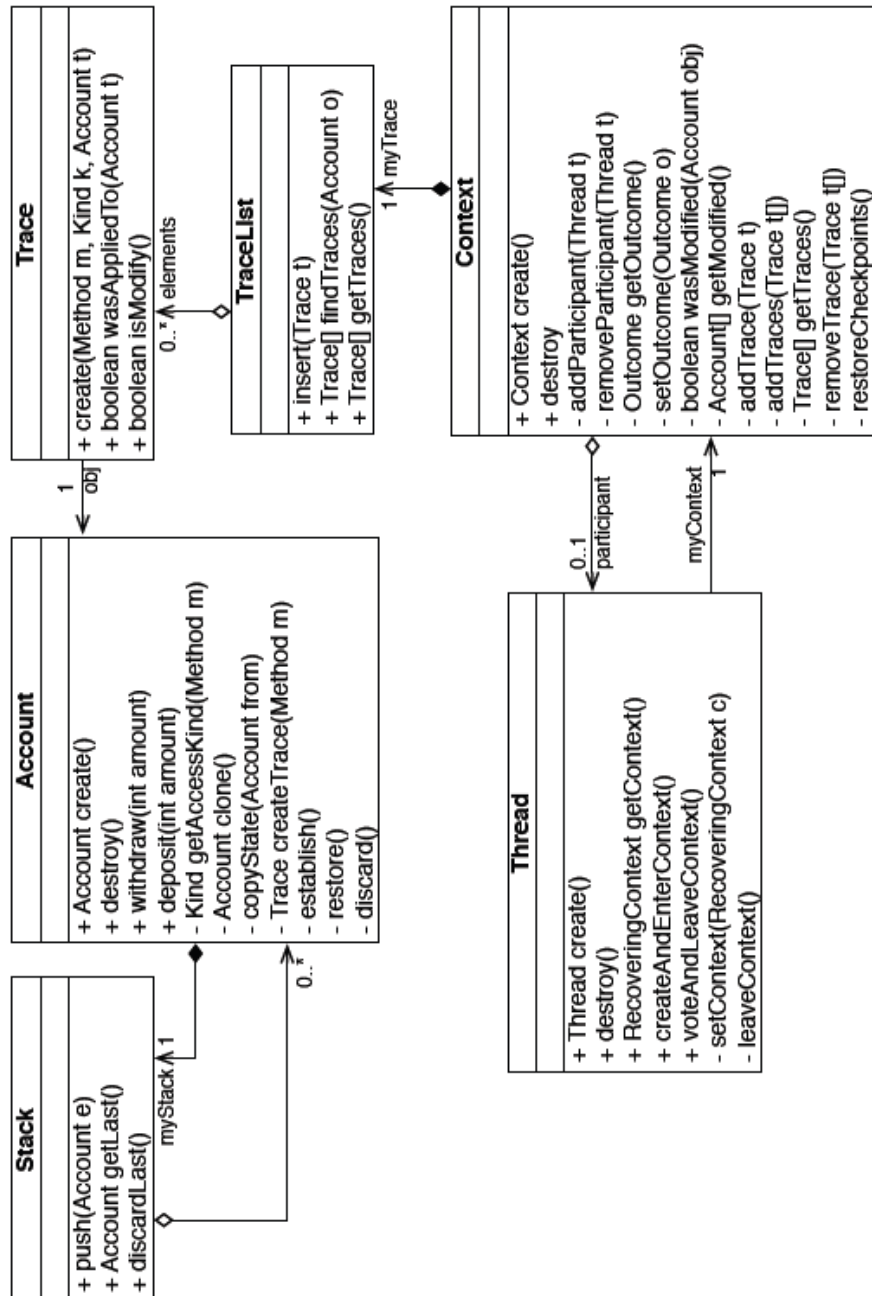


Figura 29 – Visão estrutural do modelo final para garantia de atomicidade de transações



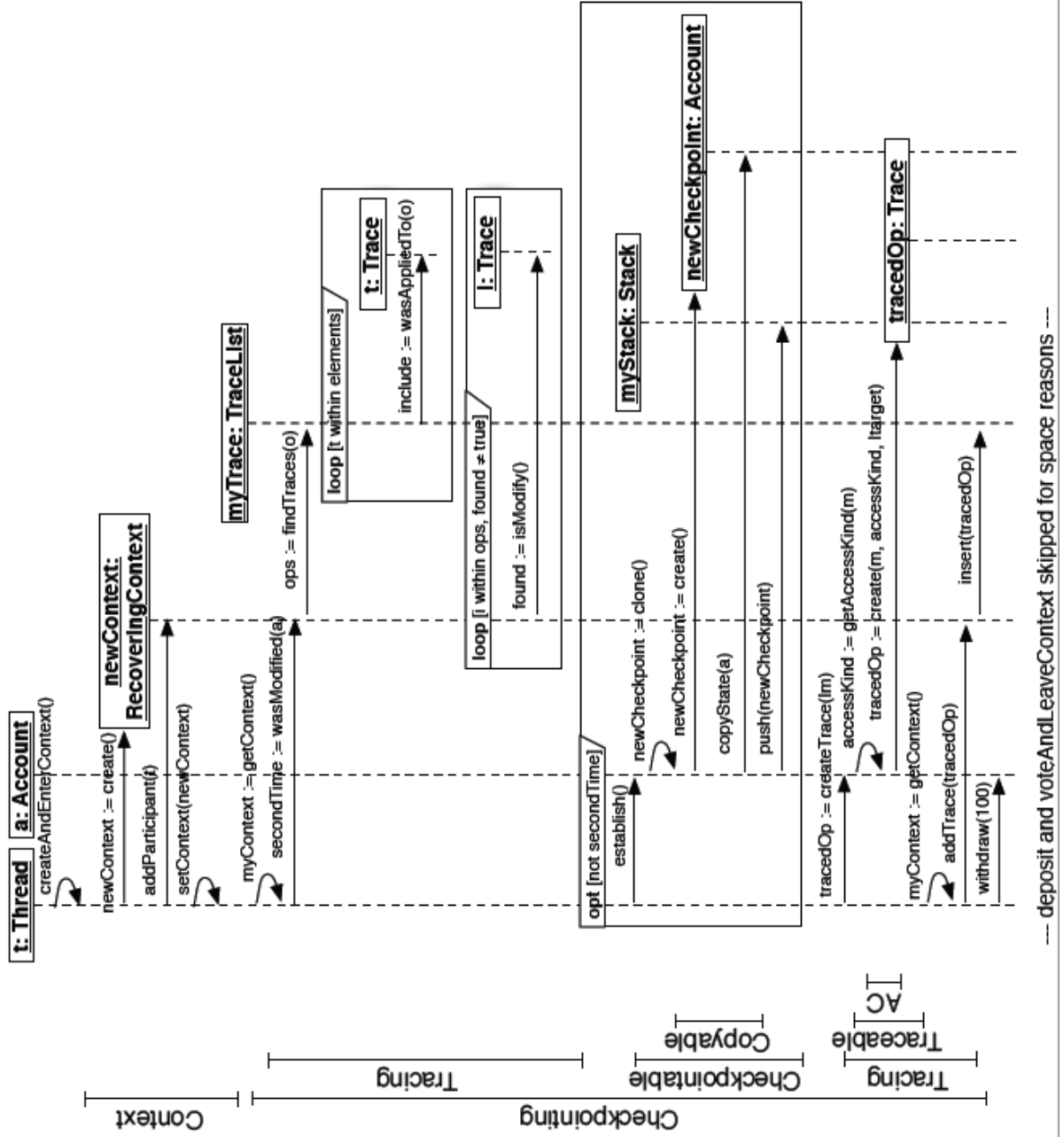


Figura 30 – Visão de mensagens do modelo final para garantia de atomicidade de transações

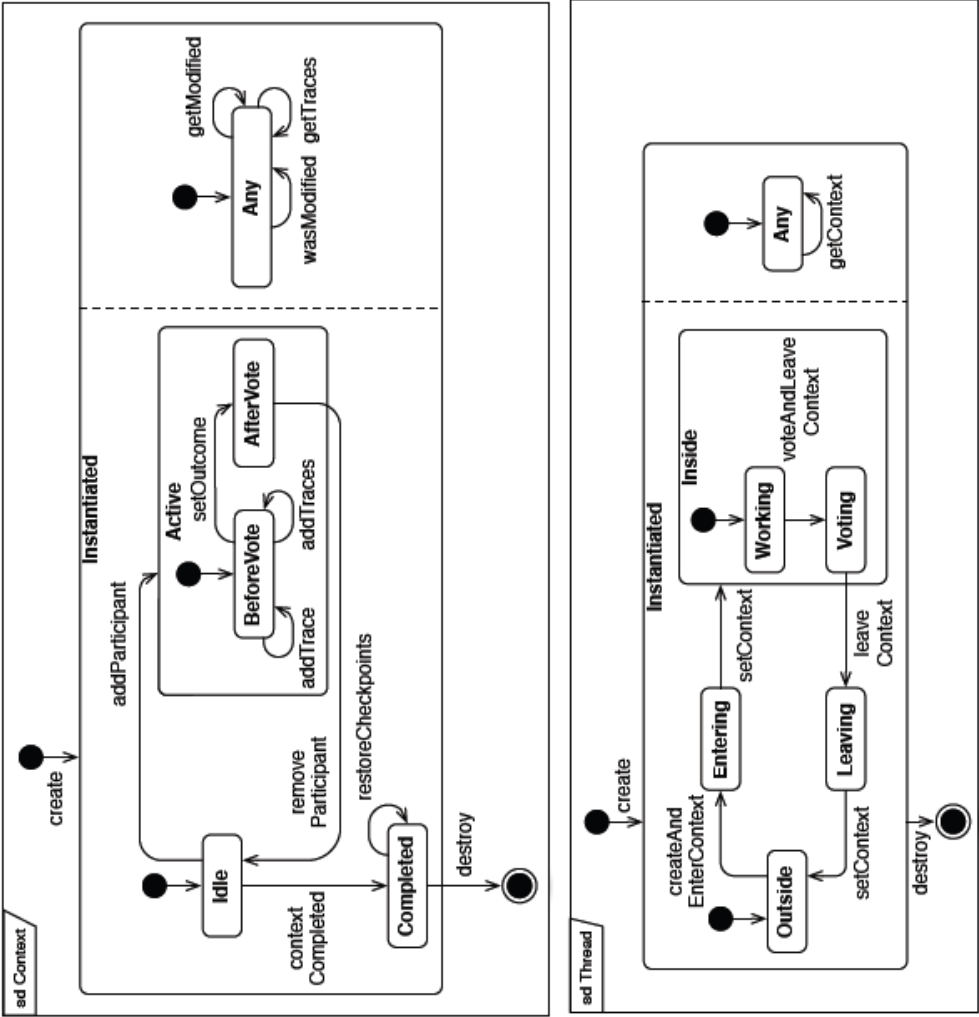


Figura 31 – Visão de estados do modelo final para garantia de atomicidade de transações

A abordagem RAM permite representar a estrutura de um sistema através da visão estrutural e a dinâmica do sistema através das visões de estado e de troca de mensagens. A maior contribuição deste trabalho é o foco na representação das características dinâmicas de um sistema, utilizando diagramas de máquinas de estado para representar o protocolo de um aspecto e diagramas de sequência para representar as possíveis interações entre objetos. A especificação de pontos de corte com padrões (*wildcards*) também é suportada pela ferramenta, permitindo assim o uso de uma importante funcionalidade da programação orientada a aspectos. Outra característica importante de RAM é a garantia de consistência entre as diferentes visões e a orientação ao reuso de aspectos através da definição de dependências.

Uma limitação da proposta é que nem todos os diagramas podem ser elaborados apenas estendendo a UML, pois a abordagem realiza modificações no meta-modelo da UML, introduzindo novos conceitos que não estão presentes na versão padrão da OMG. Exemplos são as diretivas de instancialização e as diretivas de ligação. A complexidade do modelo composto também pode ser considerada uma limitação da abordagem, pois o modelo gerado é extenso, o que dificulta a compreensão, já que existem muitas dependências indiretas entre aspectos e muitos elementos sintáticos na modelagem. Segundo (FARRINGTON, 2011), quando uma pessoa entra em contato com novas informações, o limite de sua memória de trabalho é entre três ou quatro elementos de informação. A modelagem proposta por Kienzle é difícil de ser compreendida, pois o modelo final (composto) contém muitos elementos de informação. No exemplo de composição de aspectos, o modelo final contém elementos que vieram de nove diferentes aspectos. Além disso, contém elementos que não são padrões na modelagem de sistemas com UML, como as diretivas de instancialização e de ligação. Para facilitar a compreensão do comportamento dinâmico de uma modelagem, este trabalho poderia disponibilizar um visualizador de aspectos, que permitisse habilitar e desabilitar modelos de aspectos dinamicamente em um modelo núcleo, diferenciando os aspectos no modelo final.

### 3.3 MODELAGEM DE ASPECTOS COM ATIVIDADES PROPOSTO POR CUI

O trabalho de Cui, (CUI et al., 2009) modela a dinâmica de um sistema com diagramas de atividades da segunda versão da UML. Os interesses núcleo são modelados com a versão padrão da UML. No caso dos interesses entrecortantes, é proposta uma extensão ao diagrama de atividades com estereótipos e valores rotulados. Um interesse entrecortante é representado por dois modelos: um para o ponto de corte e outro para o aviso. Adiciona-se o estereótipo *Pointcut* para indicar que um diagrama de atividades representa um **modelo de ponto de corte**. O estereótipo *Pointcut* tem um valor rotulado denominado *advice* que aponta para o nome do modelo de aviso associado a este ponto de corte. Para representar os pontos de execução de um programa que serão capturados adiciona-se o estereótipo *Joinpoint*. Esta abordagem permite a seleção de pontos de junção com o uso de *wildcards*. Um elemento no modelo de ponto de corte estereotipado com *Argument* define os argumentos que serão passados para o modelo de aviso. O estereótipo *Argument* tem um valor rotulado denominado *parameter* que define o nome dos parâmetros que serão preenchidos no modelo de aviso. O estereótipo *Advice* é adicionado para especificar que um diagrama de atividades representa um **modelo de aviso**. O valor rotulado *type* está associado com este estereótipo indicando o tipo de aviso: antes ou depois. O estereótipo *Parameter* é adicionado para representar os parâmetros que são aceitos pelo modelo de aviso. Estes parâmetros são utilizados para possibilitar o reuso de avisos, apenas modificando os parâmetros passados na inicialização. Finalmente, adicionam-se dois estereótipos *Entry* e *Exit* para especificar o início e o fim de uma execução de um modelo de aviso.

A figura 32 mostra o modelo núcleo de um caso de uso para realizar a transação bancária de saque. Este modelo é estendido utilizando a abordagem proposta por Cui, com a definição de dois pontos de corte e dois avisos. Os modelos do primeiro ponto de corte e do primeiro aviso podem ser visualizados na figura 33. O ponto de corte *Pointcut1* seleciona os elementos no modelo núcleo aonde o aviso de autorização deve ser aplicado. O aviso *Advice1* representa o comportamento de autorização. A figura 34 mostra o ponto de corte *Pointcut2* que pretende capturar os elementos no modelo núcleo aonde o aviso de envio de e-mail será aplicado. O aviso *Advice2* representa o comportamento de enviar um e-mail. Observa-se uma diferença no comportamento dos dois avisos: a autorização é realizada antes (aviso do tipo *before*) da execução dos pontos de junção selecionados pelo primeiro ponto de corte. No entanto, o envio de e-mail é realizado depois (aviso do tipo *after*) dos pontos de junção selecionados pelo segundo ponto de corte, e, o envio de e-mail é realizado paralelamente ao comportamento dos pontos de junção.

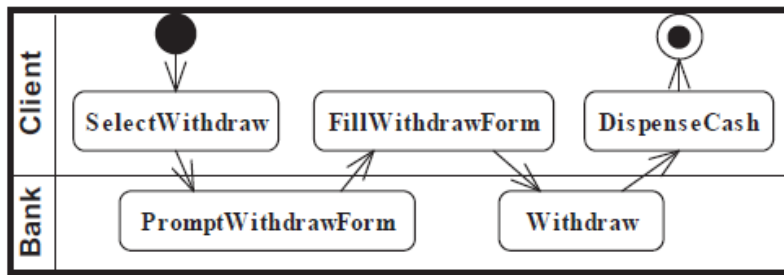


Figura 32 – Modelo núcleo para realizar a transação de saque

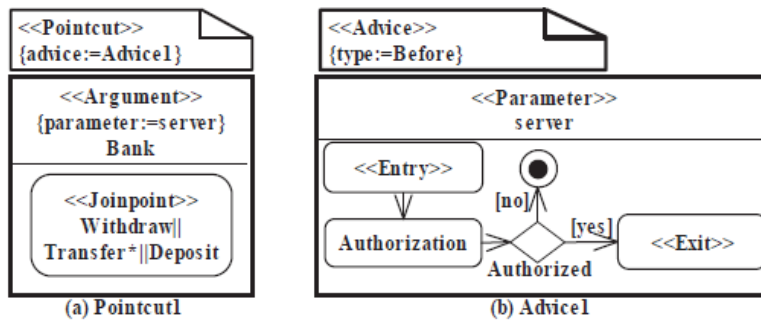


Figura 33 – Ponto de corte e aviso para capturar pontos de junção que necessitam de autorização antes de serem executados

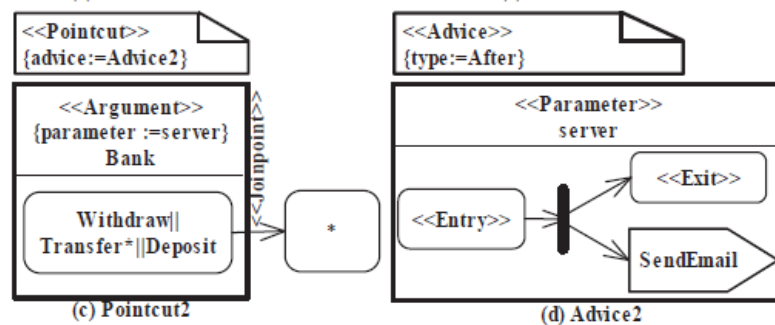


Figura 34 – Ponto de corte para capturar pontos de junção onde é necessário enviar um e-mail após a execução dos mesmos

Após a definição do modelo núcleo e dos modelos para os interesses entrecortantes, deve-se realizar a composição entre os modelos. Esta composição consiste em três passos:

- **Captura:** Encontrar os pontos de junção no modelo núcleo.
- **Inicialização:** Inicializar os modelos de aspectos com os parâmetros obtidos do modelo núcleo.
- **Composição:** Realizar a composição entre os modelos de aspectos e o modelo núcleo.

Após a composição, obtém-se o modelo final com os interesses entrecortantes introduzidos. O modelo final pode ser visualizado na figura 35.

A proposta de Cui é uma extensão à segunda versão da UML, estendendo apenas o diagrama de atividades com a adição de novos estereótipos e valores rotulados para representar interesses entrecortantes. A extensão segue o padrão do meta-modelo definido pela OMG para a segunda versão da UML e pode ser utilizada em qualquer ferramenta que suporte a definição de perfis. É possível realizar a com-

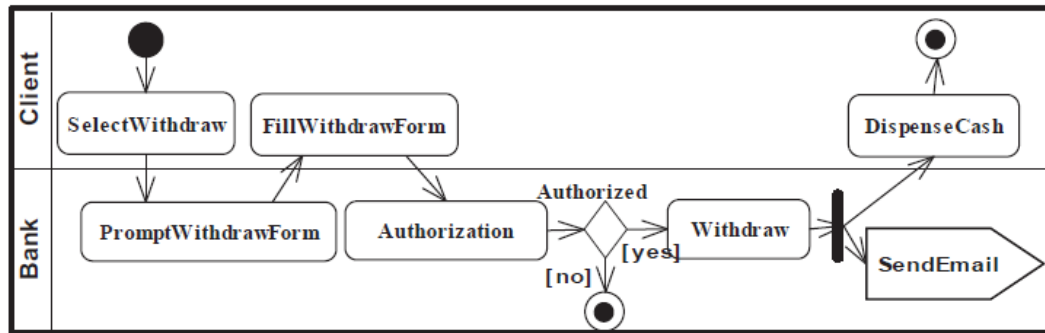


Figura 35 – Modelo composto para transação bancária de saque com autorização e envio de e-mail

posição entre modelos de interesses núcleo e modelos de interesses entrecortantes e a mesma é realizada em nível de modelo.

Em relação a POA, a abordagem não permite representar as principais características do paradigma. Não é possível adicionar introduções a classes e interfaces nos modelos de interesses núcleo. Também não é possível representar todos os tipos de ponto de junção e nem adicionar avisos do tipo *around*, que permite substituir a execução de um ponto de junção ou modificar o comportamento de execução do mesmo. Em relação as visões representadas pela modelagem, a parte estrutural não pode ser representada apenas com diagrama de atividades e a abordagem não utiliza nenhum diagrama estrutural para representar o sistema. Assim, esta proposta representa apenas a parte dinâmica de um sistema orientado a aspectos. A principal contribuição desta proposta é uma extensão leve e simples aos diagramas de atividades da UML para representação da dinâmica de aspectos em alto nível de abstração.

### 3.4 MODELAGEM DE ASPECTOS COM CASOS DE USO PROPOSTO POR JACOBSON

O trabalho de Jacobson (JACOBSON; NG, 2004) utiliza casos de uso para representação de interesses entrecortantes. São identificados dois tipos de caso de uso:

- *Peer Use Cases*: São casos de uso que não tem relacionamentos com outros casos de uso, mas sua implementação impacta mais de uma classe. São os interesses núcleo de um sistema.
- *Extension Use Cases*: São casos de uso que estendem o comportamento de um caso de uso base. Tem relacionamentos com outros casos de uso e sua implementação pode impactar mais de uma classe. São os interesses entrecortantes de um sistema.

Propõe-se uma construção denominada **fatia de caso de uso** (*use-case slice*) que deve modelar apenas as especificidades de um caso de uso. Para tal adiciona-se o estereótipo *use-case slice* ao meta-modelo da UML. Uma fatia de caso de uso contém: definições de novas classes necessárias para realizar o caso de uso, extensões a classes existentes (apenas a extensão será representada na fatia do caso de uso) e colaborações para representar a realização do caso de uso. O gráfico da figura 36 mostra o impacto dos casos de uso nas classes de um sistema de gerenciamento de hotel. Observa-se que os casos de uso *Reserve Room*, *Check In Customer* e *Check Out Customer* modificam a mesma classe *Room*. Cada fatia de caso de uso define uma parte desta classe. A classe completa é obtida realizando a composição das fatias de caso de uso. A classe *StaffScreen* é modificada pelos casos de uso *CheckOutCustomer* e *CheckInCustomer*. Já a classe *Reservation* é modificada pelos casos de uso *ReserveRoom* e *CheckInCustomer*. As outras classes são modificadas por apenas um caso de uso.

A figura 37 mostra a fatia do caso de uso *Reserve Room*. As classes pertencentes a este interesse estão dentro de um pacote estereotipado como *use case slice*. Observa-se nesta figura o aspecto *ReserveRoom* marcado com o estereótipo *aspect*. Dentro deste aspecto definem-se extensões à três classes do modelo: *CustomerMainForm*, *Reservation* e *Room*. A representação de extensões à classes é equivalente às introduções da linguagem AspectJ. Esta fatia de caso de uso define também duas novas classes: *ReserveRoomForm* e *ReserveRoomHandler*. Este caso de uso é do tipo *peer* (*Peer Use Case*), pois ele não estende nenhum caso de uso, apenas define novas classes e introduz métodos em classes já existentes.

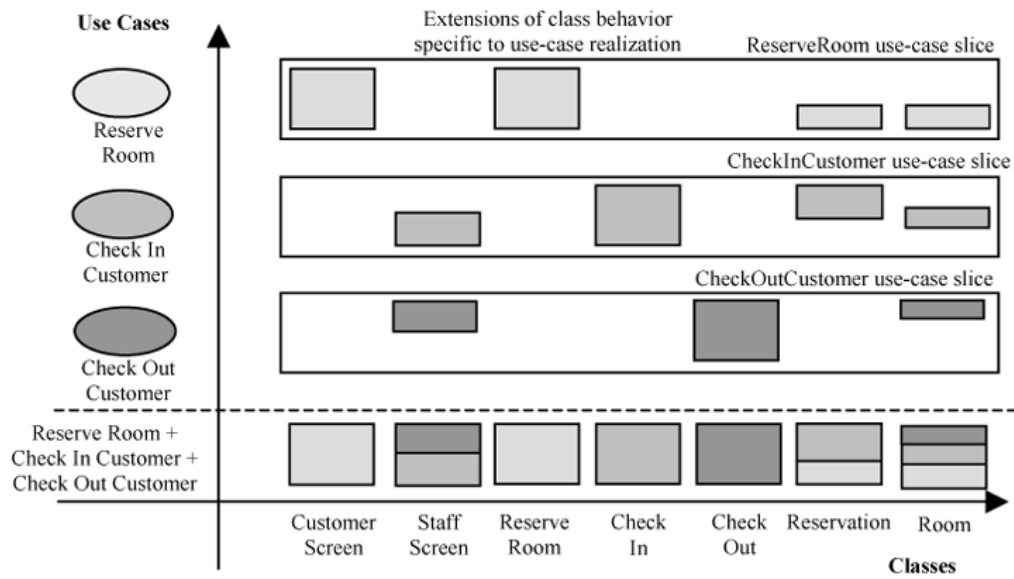


Figura 36 – Fatias de casos de uso em um sistema de gerenciamento de hotel

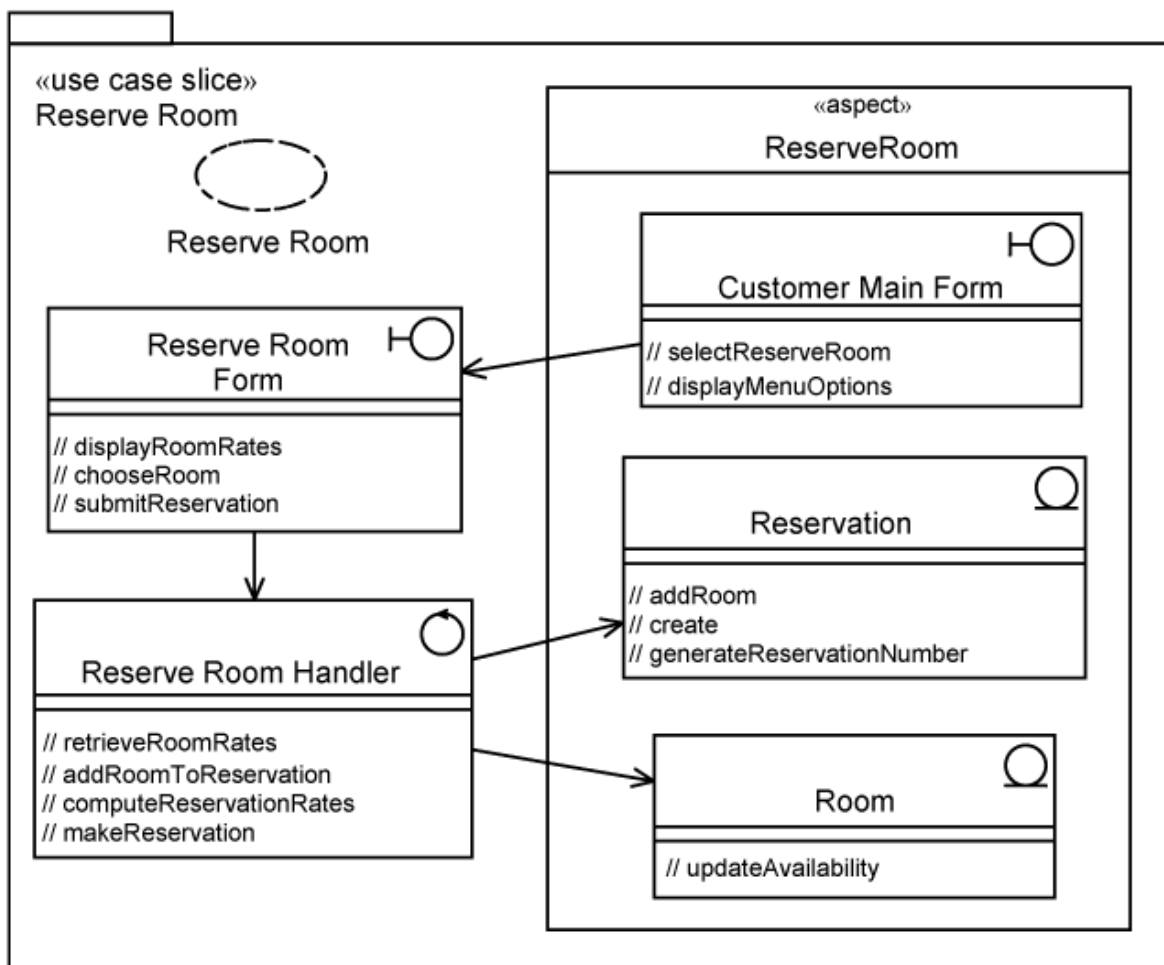


Figura 37 – Fatia de caso de uso para o caso de uso *Reserve Room*

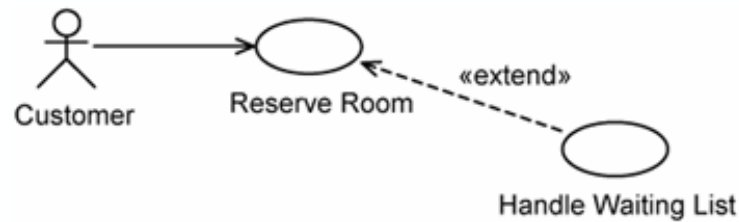


Figura 38 – Caso de uso de extensão *Handle Waiting List*

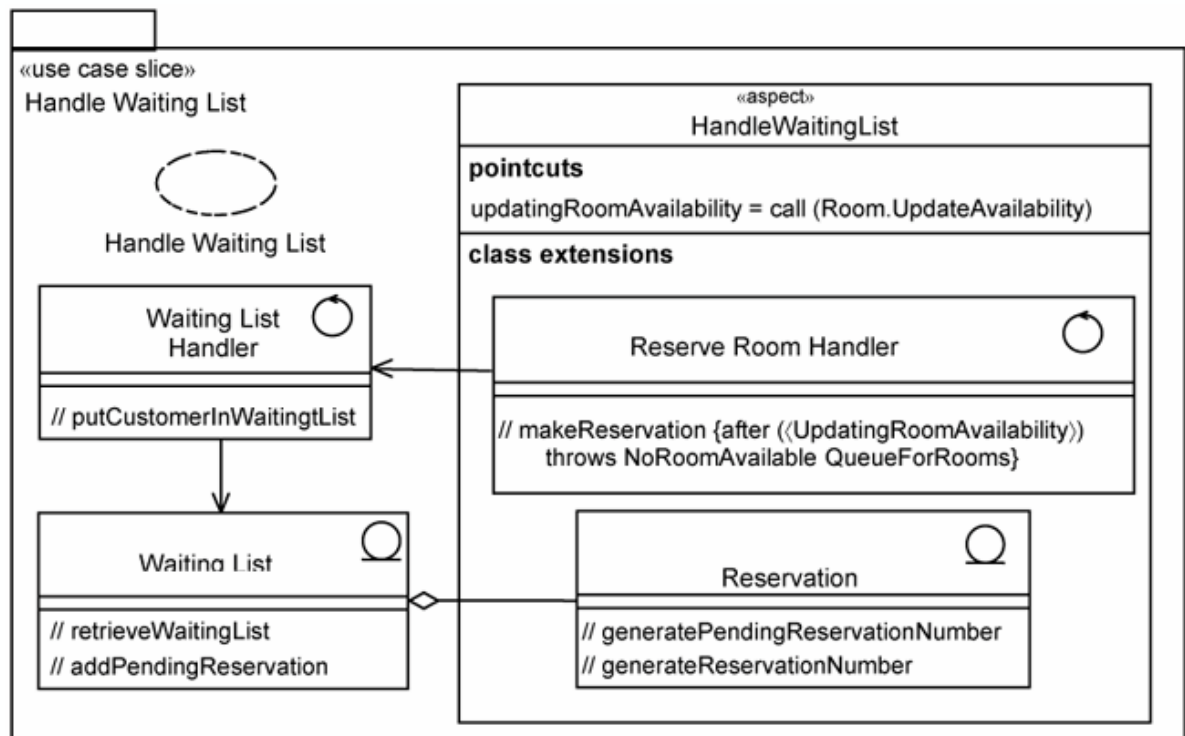


Figura 39 – Fatia do caso de uso de extensão *Handle Waiting List*

Os casos de uso de extensão (*Extension Use Cases*) estendem o comportamento de um caso de uso base. A figura 38 mostra o caso de uso *Handle Waiting List* que estende o caso de uso *Reserve Room*. Um caso de uso base define um conjunto de **pontos de extensão** representando os pontos que podem ser estendidos por outros casos de uso. Um caso de uso de extensão define **pontos de corte de extensão** para representar quais pontos de extensão do caso de uso base serão estendidos.

A fatia de caso de uso da figura 39 mostra a modelagem do caso de uso de extensão *Handle Waiting List*, que adiciona o cliente em uma lista de espera se não for possível reservar um quarto. Para tal, o caso de uso de extensão define o ponto de corte *updatingRoomAvailability* para capturar as chamadas ao método *UpdateAvailability()* da classe *Room*. Dentro do aspecto define-se uma extensão à classe *ReserveRoomHandler*, adicionando o método *makeReservation()*. Este método será executado depois do ponto de corte *updatingRoomAvailability* quando forem lançadas as exceções *NoRoomAvailable* ou *QueueForRooms*. Além disso, são introduzidos dois novos métodos à classe *Reservation* relativos a reserva de quartos. Esta fatia de caso de uso cria duas novas classes: *WaitingListHandler* e *WaitingList*.

A proposta de Jacobson propõe a definição de **modelos de caso de uso** para agrupar as fatias de caso de uso em diferentes níveis de abstração. Define-se o estereótipo *use-case module* no meta-modelo. São propostos quatro níveis de modelo: caso de uso, análise, projeto e implementação. A fatia de caso de uso será refinada de acordo com o nível de abstração. Esta proposta consegue obter o rastreamento

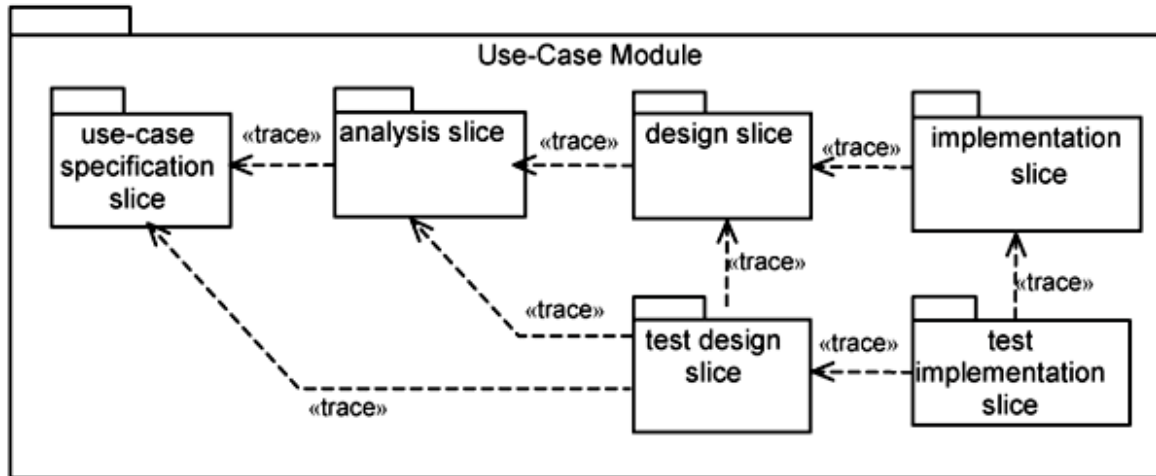


Figura 40 – Rastreamento completo de um requisito por todos modelos

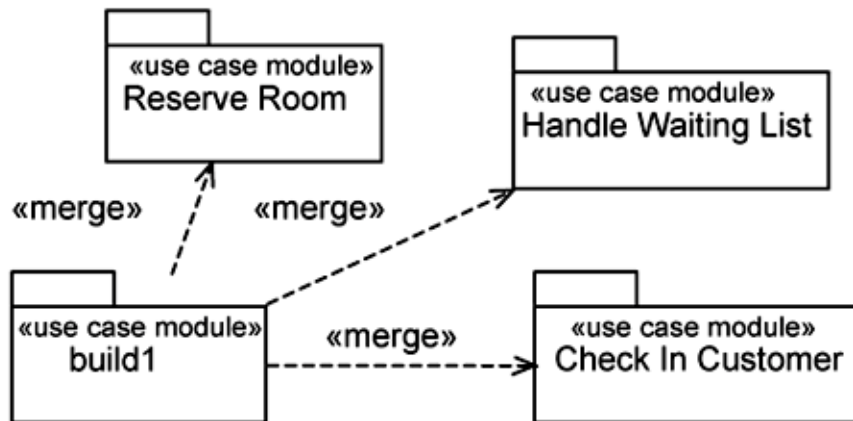


Figura 41 – Composição entre modelos de caso de uso

completo do requisito para o código que o implementa, passando pelos modelos de caso de uso, análise e projeto, como pode ser visualizado na figura 40.

Após a definição das fatias de caso de uso em diferentes níveis de abstração, deve-se compor os modelos de caso de uso para se obter um sistema completo com o comportamento de cada caso de uso inserido nas respectivas classes. A figura 41 mostra a composição de três modelos de casos de uso (cada modelo representado como um pacote UML) para gerar uma construção válida do sistema. Para tal utiliza-se o estereótipo *merge* que representa dependência entre pacotes.

A proposta de Jacobson permite representar *wildcards* na definição de pontos de corte dentro de uma fatia de caso de uso. Uma contribuição importante deste trabalho é a possibilidade de obter o rastreamento completo de um requisito até o código que o implementa. Segundo (WIMMER et al., 2011), o mapeamento de requisitos entre as diferentes fases do desenvolvimento é importante na modelagem de sistemas orientados a aspectos, como para sistemas desenvolvidos em outros paradigmas como programação orientada a objetos. Em relação as diferentes visões representadas por uma modelagem, os modelos propostos por este trabalho permitem representar a estrutura de um sistema com fatias de caso de uso e diagramas de classes. A dinâmica do sistema é representada através de colaborações que são associadas às fatias de caso de uso. Colaborações podem ser utilizadas para descrever a dinâmica de casos de uso e avisos. Outro ponto importante a ser destacado é a representatividade do exemplo utilizado para realizar uma modelagem com a proposta. O sistema de gerenciamento de hotel é complexo e contém interesses entrecortantes de diversos tipos, possibilitando a representação de boa parte das características inerentes



a programas orientados a aspectos.

Em relação as limitações do trabalho de Jacobson, a principal delas é a forma de extensão à UML, com a definição de um meta-modelo, que não pode ser utilizado em qualquer ferramenta CASE. Este meta-modelo tem construções específicas, como fatias de caso de uso, que não são suportadas por ferramentas CASE que obedecem os padrões da segunda versão da UML. Destaca-se também a falta de ferramenta para composição dos modelos, o que é importante para que seja possível visualizar o impacto dos interesses entrecortantes nos interesses núcleo do sistema. Não é possível realizar a composição de pontos de corte entre modelos e visualizar a conexão entre os pontos de corte e os avisos nos modelos. Assim, a abordagem proposta por Jacobson não permite visualizar completamente o efeito dos aspectos nos modelos núcleo do sistema. A geração automática de modelos também diminui o tempo necessário para realização de uma modelagem, diminuindo o tempo de entrega ao cliente. Nesta proposta, a composição entre interesses núcleos e interesses entrecortantes deve ser realizada manualmente, com o uso de diagramas de sequência, o que demanda um esforço adicional de modelagem.

### 3.5 MOTOROLA WEAVR PROPOSTO POR COTTENIER

Uma das unidades de negócio mais importantes da Motorola também está focada no desenvolvimento de soluções para modelagem de programas orientados a aspectos. O trabalho de Cottenier (COTTENIER, 2006) (COTTENIER; BERG; ELRAD, 2007) foi desenvolvido na unidade de negócios empresariais e de redes da Motorola. O projeto é denominado de **Motorola WEAVR** e é focado na especificação de sistemas de telecomunicações, que são sistemas reativos discretos e orientados a eventos. Um sistema reativo é um sistema que recebe uma entrada e deve emitir uma reação a este estímulo. Já um sistema discreto é um sistema cuja interação ocorre em eventos discretos no tempo. A motivação para este trabalho foi a percepção de que existem muitas mudanças nos requisitos de sistemas de telecomunicação ao longo do desenvolvimento. A modularização de interesses facilita a manutenabilidade e a inserção de novos requisitos ao longo do ciclo de vida desse tipo de sistema.

Motorola WEAVR permite a composição de aspectos que são modelados **com diagramas de máquina de estados focadas em transições**. Este tipo de máquina de estado é uma extensão à máquina de estados da UML focada em estados, com o objetivo de prover um maior nível de detalhe na dinâmica das transições. Segundo Bjorkander (BJÖRKANDER, 2000), o diagrama de máquina de estados focado em estados da UML não dá a atenção que as transições merecem. Estas máquinas de estado ignoram as ações que ocorrem durante uma transição. A linguagem Specification and Description Language (SDL) (ITU-T, 2000) foca nas ações que acontecem durante uma transição. Esta linguagem é amplamente utilizada para especificar sistemas orientados a eventos na área de telecomunicações. Assim, a extensão proposta foca nas ações que ocorrem durante uma transição e estende o diagrama de máquina de estados da UML com novas construções que permitem representar as ações de uma transição. O diagrama de máquina de estados focado em transições permite diminuir o nível de abstração de uma modelagem, aproximando-o ao código e permitindo a geração de código em uma linguagem alvo. A modelagem de ações que ocorrem durante transições já está disponível na especificação do diagrama de máquina de estados da segunda versão da UML através de um perfil UML (OMG, 2011).

Esta abordagem também utiliza diagramas de estrutura composta da segunda versão da UML para especificar as interfaces do sistema e os componentes em termos de sinais necessários e realizados. Este tipo de diagrama raramente é modificado durante o ciclo de vida de um sistema, por isso não são utilizados na modelagem de programas orientados a aspectos. O diagrama da figura 42 mostra um diagrama de estrutura composta para representar a estrutura de um servidor de recursos. Um servidor de recursos é composto por um despachante *Dispatcher* e por um ou mais tratadores de requisições *RequestHandler*. O despachante tem a responsabilidade de passar requisições externas para um dos tratadores de requisições. Um tratador de requisições é responsável por controlar o acesso a recursos, permitindo o acesso apenas se todos os recursos necessários estiverem disponíveis. Esse tipo de controle pode ser implementado com o protocolo *Two Phase Commit*.

Após modelar a estrutura do sistema, deve-se modelar a dinâmica de cada um dos componentes do servidor. Para tal, utilizam-se os diagramas de máquina de estado focados em transições. Estes diagramas são utilizados para representar o comportamento de um componente em detalhes (sem ambiguidades). Um diagrama deste tipo destaca o fluxo de controle e as ações executadas durante as transições entre os diferentes estados. A figura 43 representa a modelagem do comportamento de um tratador de requisições.

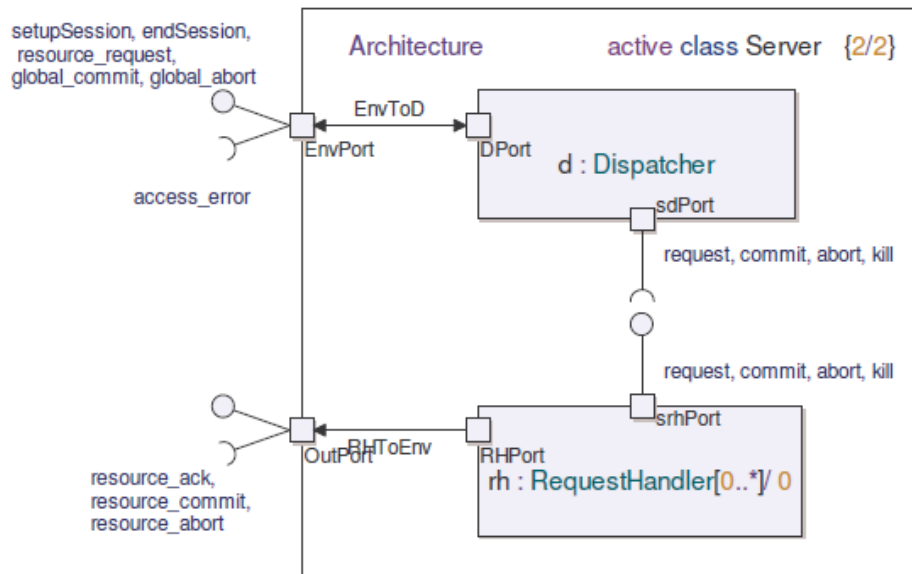


Figura 42 – Diagrama de Estrutura Composta representando um servidor de recursos

Observando o primeiro diagrama de máquina de estados, verifica-se a presença de um conjunto de ações entre os estados *Init* e *Ready*. A primeira ação *request(rid)* indica o recebimento de um sinal para iniciar uma requisição. A segunda ação dentro de um retângulo tenta adquirir o canal e armazena o resultado na variável *status*. Após estas ações está presente um nodo decisão para verificar a variável *status*. Se o resultado for um *OK*, significa que o canal foi adquirido com sucesso e executa-se uma nova ação para adquirir o recurso desejado, armazenando o resultado na variável *status*. Se o valor da variável *status* no nodo decisão for *OK*, executa-se a ação *resource\_commit(cid,rid)* que indica o envio de um sinal. Este sinal indica que o recurso foi adquirido. Finalmente, atinge-se o estado *Ready*. Se em algum momento a variável *status* retornar uma falha, o canal e o recurso serão liberados, abortando a aquisição do recurso. Todas estas ações ocorrem durante o disparo de uma transição.

No ambiente distribuído da Motorola existem vários sistemas que utilizam o protocolo 2PC no tratamento de requisições. Cada sistema implementa uma variação deste protocolo. A implementação do protocolo apenas com POO é possível, mas gera um código emaranhado e de difícil manutenção, pois o código do protocolo fica misturado com o código da aplicação. A POA permite implementar de maneira modular o protocolo 2PC. Esta foi uma das motivações para criação da ferramenta **Motorola WEAVR**.

Esta ferramenta define um perfil UML para modelagem de aspectos. A extensão proposta por Cottenier pode ser reutilizada em outras ferramentas de modelagem. O perfil adiciona o estereótipo *Aspect* que estende o elemento *Class* do meta-modelo da UML. Um aspecto pode conter conectores e pontos de corte. Um conector é o equivalente a um aviso na terminologia de aspectos. O estereótipo *Connector* foi criado para representar um conector. Para representar pontos de corte utiliza-se o estereótipo *Pointcut*. Estes estereótipos estendem o elemento do meta-modelo *Operation*. Conectores são associados a pontos de corte através do relacionamento de dependência *Binds*. A ordem de precedência de conectores é definida pelo relacionamento de dependência *Follows*. O estereótipo *Crosscuts* define o escopo de aplicação de um aspecto. Se nenhum escopo for definido, indica que o aspecto é aplicado a todo o sistema.

A figura 44 mostra a implementação de um aspecto de controle de tempo (*timeout*) para o protocolo 2PC. A motivação para implementação deste aspecto é que o tratador de requisições da figura 43 tem um problema: se uma instância entrar no estado *Ready*, mas não receber nenhum sinal do tipo *Commit* ou *Abort*, ela nunca terminará e não poderá receber novas requisições. Para solucionar este problema, adiciona-se um tempo máximo para que esta instância receba um sinal. Ao final deste tempo, a instância será destruída. Este comportamento é introduzido através do aspecto *2PCTimeoutAspect* que pode ser visualizado na figura 44.

Um dos elementos definidos neste aspecto é o ponto de corte *requestCommitTransition*. A ferramenta WEAVR permite definir pontos de corte com o uso do diagrama de máquina de estados. Existem duas categorias de pontos de junção que foram identificados nos diagramas de máquinas de estado:

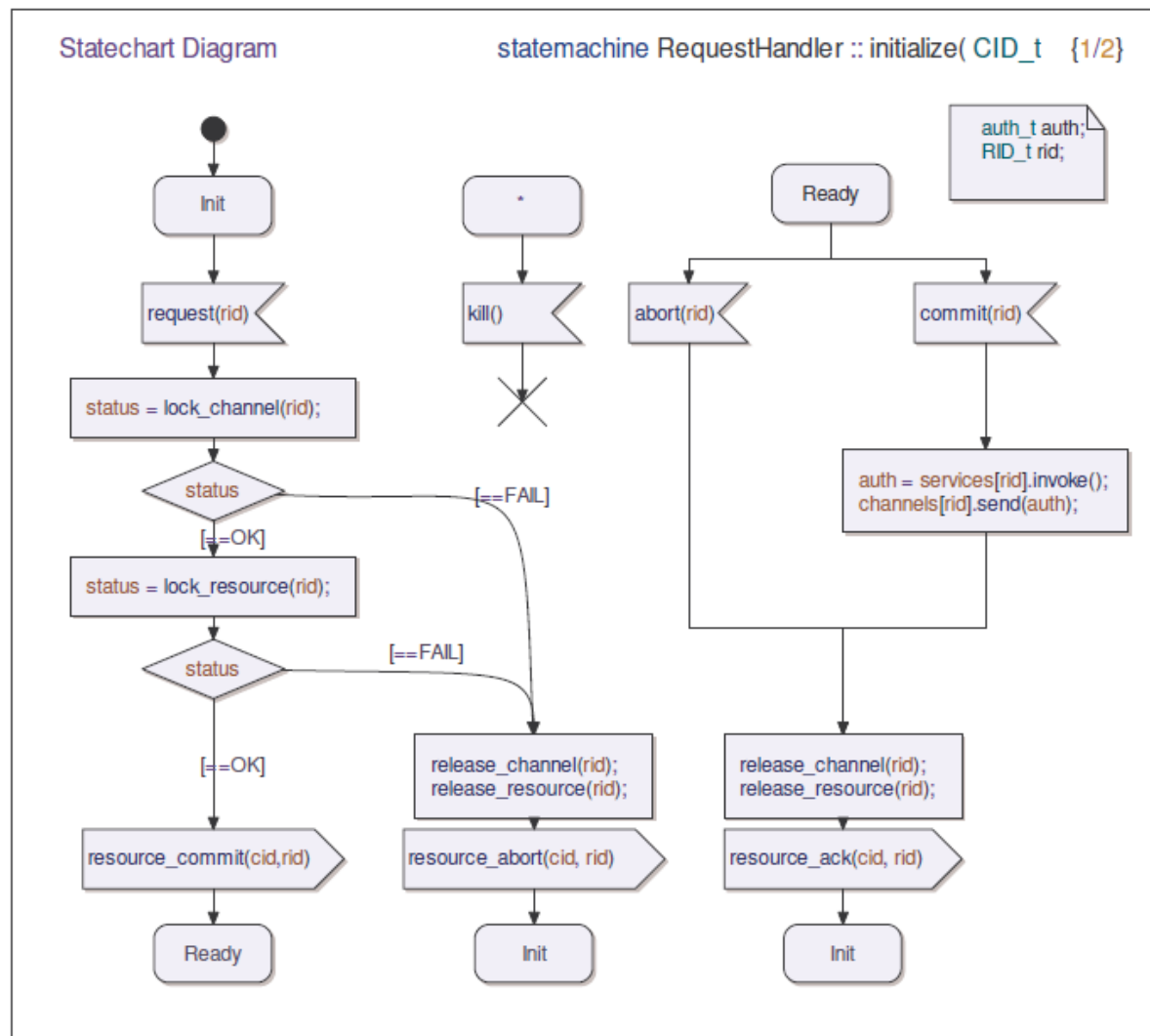


Figura 43 – Diagrama de máquina de estados focado em transições para um tratador de requisições

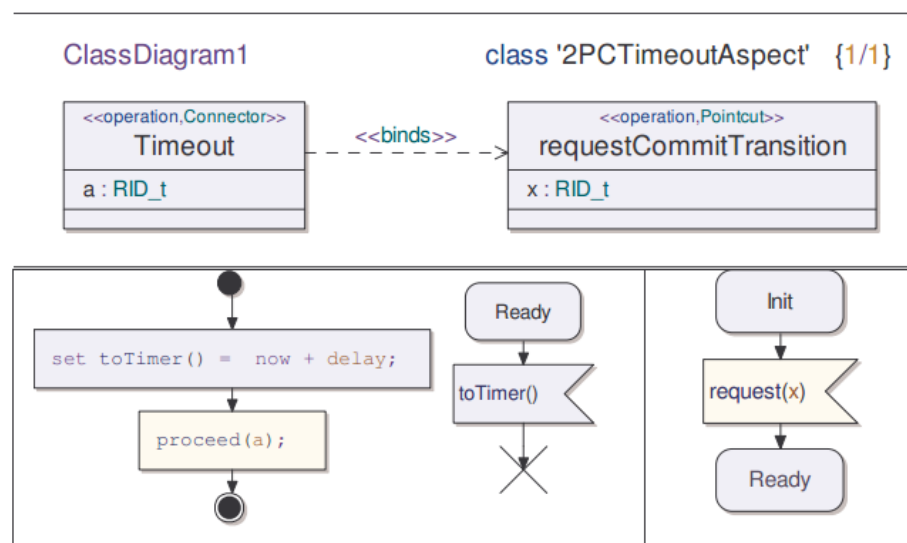


Figura 44 – Aspecto para controle de tempo ao protocolo 2PC

- **Pontos de junção de ação:** Englobam as chamadas de operações, ações temporais e chamadas de construtores.
- **Pontos de junção de transição:** Compreendem o conjunto de caminhos de execução dentro de uma máquina de estados.

O ponto de corte *requestCommitTransition* captura pontos de junção de transição, pois captura execuções ao método *request(x)* enquanto uma instância estiver entre os estados *Init* e *Ready*, capturando um conjunto de caminhos de execução. Quando o ponto de corte for disparado, executa-se o comportamento descrito no conector *Timeout*. A ferramenta WEAVR representa a dinâmica de conectores através de diagrama de máquina de estados. Este conector é refinado em duas máquinas de estado. A primeira máquina de estado representa a reinicialização do contador de tempo antes das transições capturadas pelo ponto de corte. A segunda representa a destruição da instância ao atingir o tempo máximo sem receber nenhum sinal.

Para visualizar o impacto de aspectos em um modelo núcleo, a ferramenta WEAVR disponibiliza um **visualizador do efeito de aspectos**. O visualizador é uma importante contribuição deste trabalho, pois permite visualizar em quais pontos do modelo núcleo serão inseridos novos comportamentos. Por exemplo, ao aplicar o aspecto *2PCTimeoutAspect* (figura 44) no tratador de requisições *RequestHandler* (figura 43), o visualizador de aspectos gera a máquina de estados que pode ser visualizada na figura 45. Esta máquina de estado mostra os locais da máquina de estado que são impactados pelo aspecto de controle de tempo. Os pontos de junção de ação são marcados com a cor roxo, enquanto os pontos de junção de transição são marcados com uma marca horizontal verde ao longo das transições. O usuário pode clicar em um determinado ponto de junção para visualizar a máquina de estado do conector (aviso) que será executada naquele ponto. Observa-se na máquina de estados 15.a que a transição capturada é a transição que ocorre após o a variável *status* retornar OK até o estado *Ready* (dois marcadores horizontais verdes). O conector que será disparado pode ser visualizado na máquina de estados 15.b e uma representação da transição capturada pode ser visualizada na máquina de estados 15.c.

Motorola WEAVR também disponibiliza uma ferramenta para executar modelos de aspectos. Ao encontrar um conector, a ferramenta executa a máquina de estado referente ao mesmo e retorna o controle a máquina de estado base. A possibilidade de executar um modelo de aspectos facilita a compreensão do fluxo de execução de um programa orientado a aspectos. O trabalho de Cottenier estende a segunda versão da UML através de um perfil UML para representar aspectos com diagramas de classes e diagramas de máquina de estados. Esta extensão pode ser importada em diferentes ferramentas CASE. Diagramas de classes permitem representar a parte estrutural de um sistema. Os diagramas de máquinas de estado são responsáveis por representar a dinâmica do sistema. Motorola WEAVR permite representar a maior parte das características de programas orientados a aspectos, como *wildcards*, pontos de corte, avisos, introduções e dependência entre aspectos. A ferramenta também disponibiliza ferramental para visualização, composição e execução de modelos de aspectos. Este ferramental é uma das principais contribuições do trabalho, pois automatiza parte do processo de modelagem e permite gerar código em um linguagem alvo.

Uma limitação desta proposta, em relação a linguagem, é que apenas avisos do tipo durante (*around*) são suportados. Outra desvantagem é o baixo nível de abstração dos modelos. Isto acontece, pois um dos focos do trabalho é a execução do sistema em nível de modelo, deixando os modelos próximos do nível de código. Os diagramas de máquinas de estado desta proposta contém trechos de código e código referente a POA, como chamadas ao método *proceed()*. O baixo nível de abstração dificulta a compreensão dos modelos, pois o desenvolvedor precisa compreender chamadas próximas do nível de código. A utilização de diagramas como os diagramas de caso de uso e de sequência permitiriam representar um sistema em um maior nível de abstração, facilitando a compreensão e manutenção do mesmo.

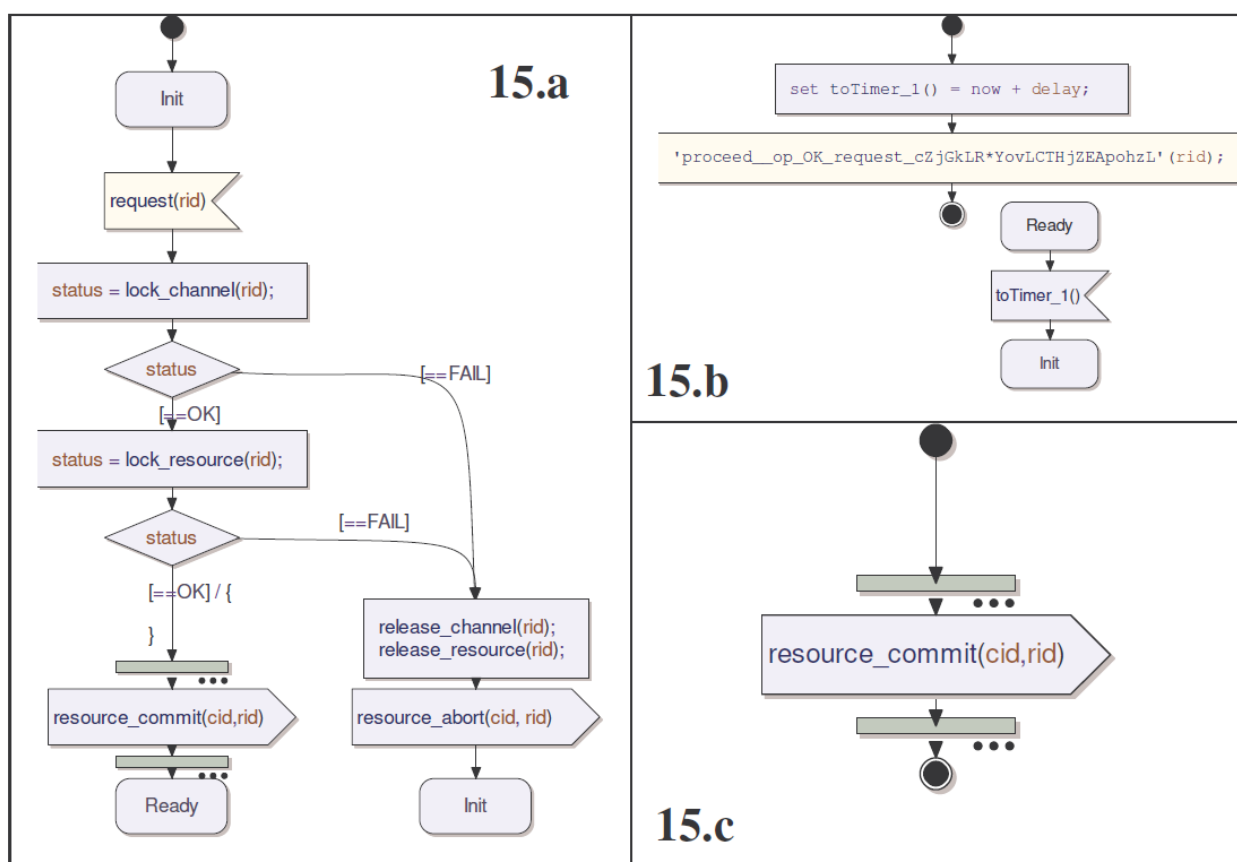


Figura 45 – Visualização da composição do aspecto para controle de tempo no tratador de requisições.

### 3.6 MODELAGEM DE ASPECTOS COM DIAGRAMAS DE SEQUÊNCIA PROPOSTO POR KLEIN

O trabalho de Klein (KLEIN; FLEUREY; JÉZÉQUEL, 2007) (KLEIN; HÉLOUËT; JÉZÉQUEL, 2006) propõe uma extensão aos diagramas de sequência da UML para permitir a modelagem de sistemas orientados a aspectos. Esta extensão é realizada no meta-modelo da UML, estendendo o mesmo com a adição de novas classes, restrições e relacionamentos. Separam-se os diagramas de sequência em dois tipos:

- **bSD**: Diagrama de sequência básico que descreve um número finito de interações entre um conjunto de objetos. É equivalente ao diagrama de sequência padrão da UML.
- **cSD**: Diagrama de sequência composto que permite compor diagramas de sequência básicos através de operadores como nodos decisão e iterações. Este tipo de diagrama permite representar comportamentos infinitos e é semelhante ao diagrama de visão geral de interação.

O meta-modelo para diagramas de sequência pode ser visualizado na figura 46. Observa-se a presença de duas classes que derivam da super classe **SD**(*SequenceDiagram*): **bSD**(*BasicSequenceDiagram*) e **cSD**(*ComposedSequenceDiagram*). Um diagrama de sequência composto contém um conjunto de nodos e um conjunto de transições que estão associadas a diagramas de sequência básicos.

No lado esquerdo da figura 47 estão dispostos quatro bSD's: *Propose*, *Accept*, *Retry* e *Rejected*. Estes bSD's representam etapas na interação com um servidor para realizar a autenticação de um usuário(*log in*). O cSD central e o cSD a direita são equivalentes e compõem os quatro bSD's a esquerda. Ambos cSD's especificam a autenticação de usuário(*log in*). O cSD central utiliza nodos decisão e o cSD a direita utiliza fragmentos do tipo *alt* para representar diferentes caminhos de execução.

Para modelagem de aspectos deve-se definir um **aspecto comportamental** que é composto por dois bSD's: um para representar o ponto de corte e outro para representar o novo comportamento (aviso). Um ponto de corte é representado como uma sequência de mensagens entre um conjunto de objetos. A ferramenta não suporta a utilização de *wildcards* na definição de pontos de corte, uma funcionalidade importante da POA, que permite a captura de múltiplos pontos de junção em uma única declaração. Um aviso também é representado com bSD's e pode ser executado antes, durante ou depois dos pontos de junção capturados por um ponto de corte. A figura 48 mostra três aspectos comportamentais: registro de mensagens, segurança e atualização de interface gráfica. O aspecto de segurança(*Aspect Security*) define um ponto de corte que captura a troca das mensagens *log in* e *try again* entre os objetos *customer* e *server*. O aviso que implementa o comportamento do aspecto de segurança adiciona a mensagem *save bad attempt* entre as mensagens *log in* e *try again*. Uma limitação nesta abordagem é que o diagrama de sequência dos avisos é redundante, pois repete as mensagens capturadas no ponto de corte. No exemplo do aspecto de segurança, as mensagens *log in* e *try again* são repetidas no aviso. Assim, se o ponto de corte for modificado, o aviso também deve ser modificado, gerando um re-trabalho desnecessário. Na linguagem AspectJ, a modificação de um ponto de corte não gera modificações aos avisos associados aquele ponto de corte.

Após definir os aspectos, deve-se realizar a composição dos aspectos em um modelo núcleo. O foco deste proposta é a composição de múltiplos aspectos em um mesmo ponto de junção. Na composição de aspectos, o primeiro aspecto que for composto pode modificar a sequência de mensagens entre objetos no modelo núcleo, fazendo com que o próximo aspecto não detecte o ponto de junção no qual o novo comportamento deveria ser inserido. Considerando a composição entre o diagrama de sequência (cSD) *log in* da figura 47 como modelo núcleo e os aspectos para registro de mensagens, segurança e atualização de interface. Se o aspecto de segurança for o primeiro a ser composto, ele mudará a sequência de mensagens entre os objetos *customer* e *server*, adicionando a mensagem *save bad attempt* entre as mensagens *log in* e *try again*. Se não existir um tratamento no algoritmo de detecção de pontos de junção, os aspectos de registro de mensagens e atualização de interface não capturarão os pontos de junção definidos por seus pontos de corte e a composição não será realizada corretamente. Assim, o algoritmo de detecção de pontos de junção deve ser capaz de capturar pontos de junção, mesmo que existam mensagens introduzidas por outros aspectos durante a composição de aspectos. A proposta de Klein resolve este problema detectando mensagens inseridas por outros aspectos durante a composição de aspectos e permitindo a composição de múltiplos aspectos em um mesmo ponto de junção. A composição entre os aspectos e o modelo núcleo pode ser visualizada na figura 49.

Uma das limitações da proposta de Klein é a não representação da estrutura do sistema. A abordagem de Klein utiliza apenas diagramas de sequência para modelagem da dinâmica do sistema.

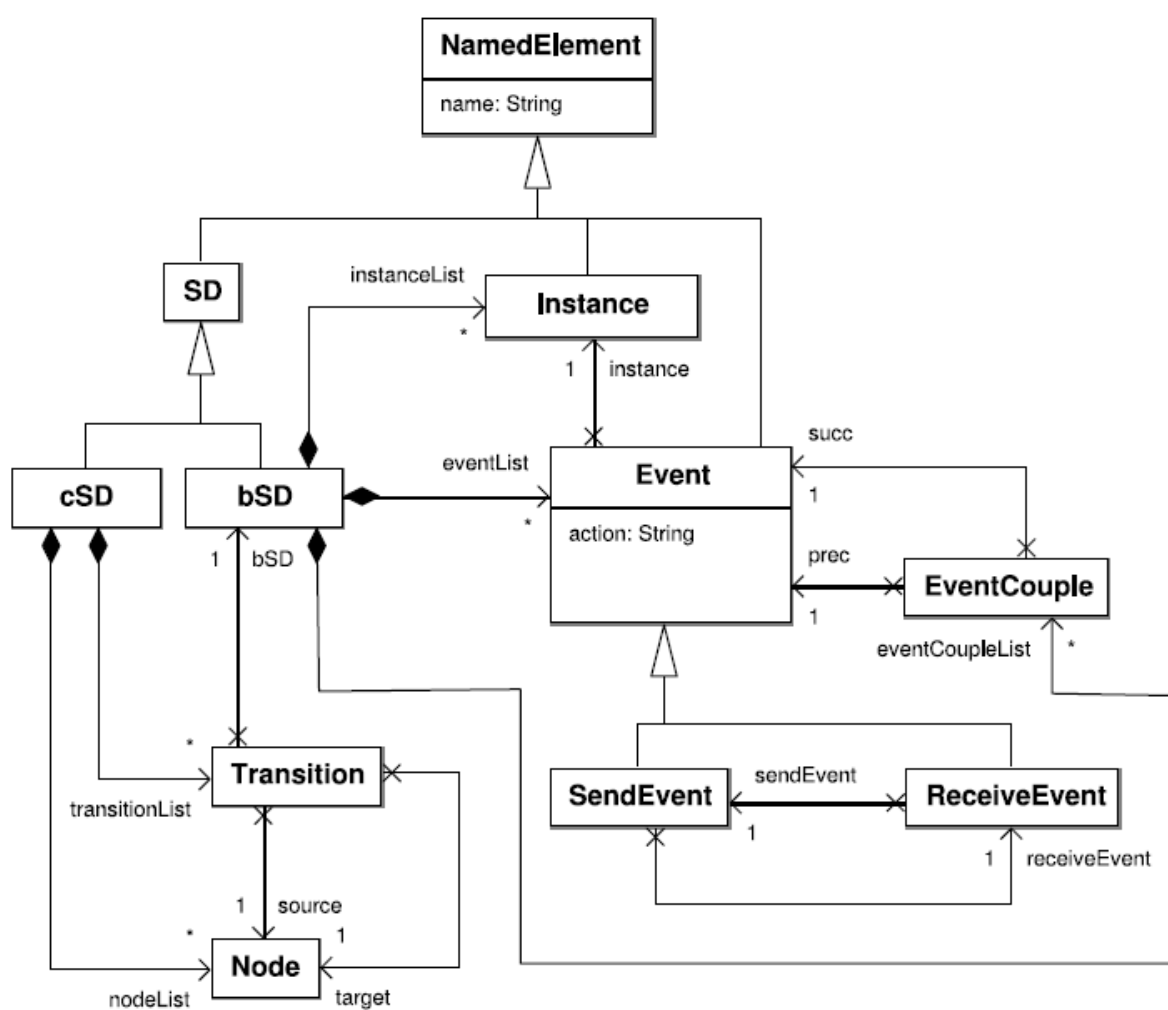


Figura 46 – Meta-modelo de extensão aos diagramas de sequência da UML

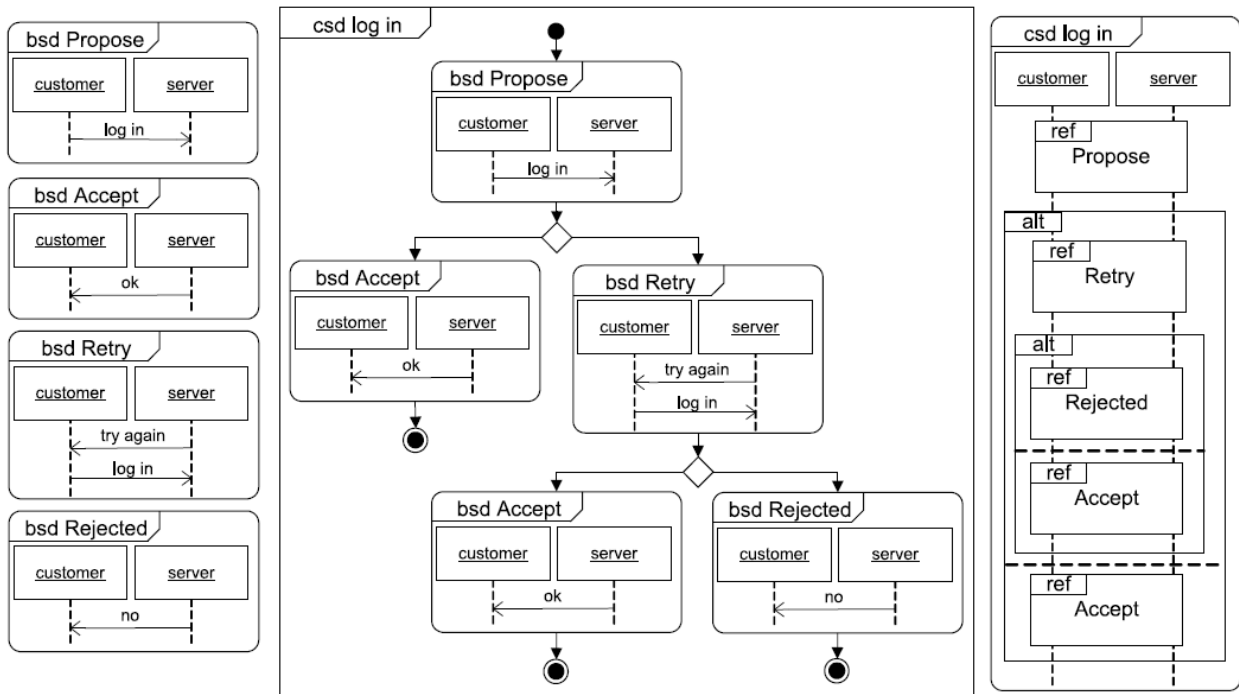


Figura 47 – Exemplos de diagramas de sequência estendidos: bSD's e cSD's

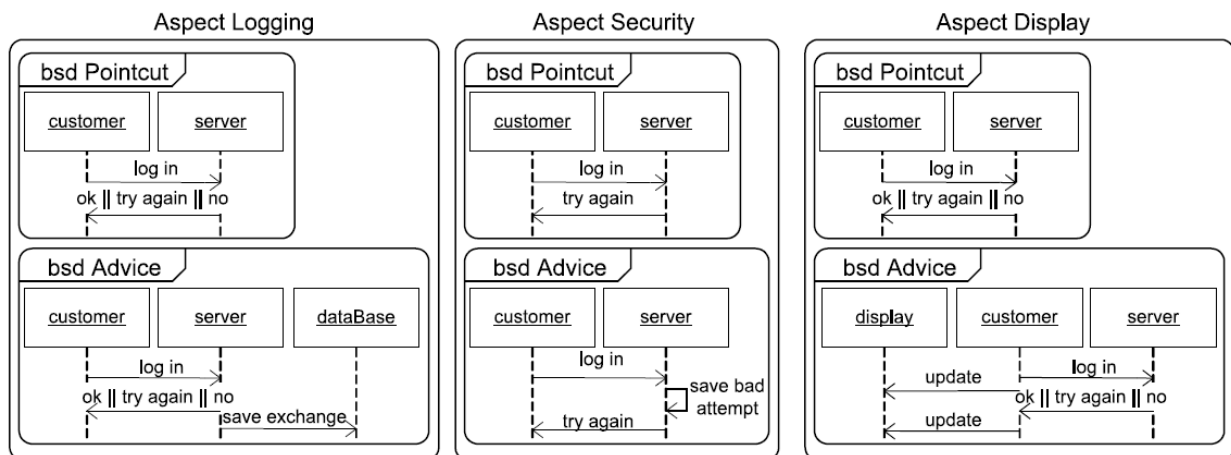


Figura 48 – Exemplos de aspectos comportamentais



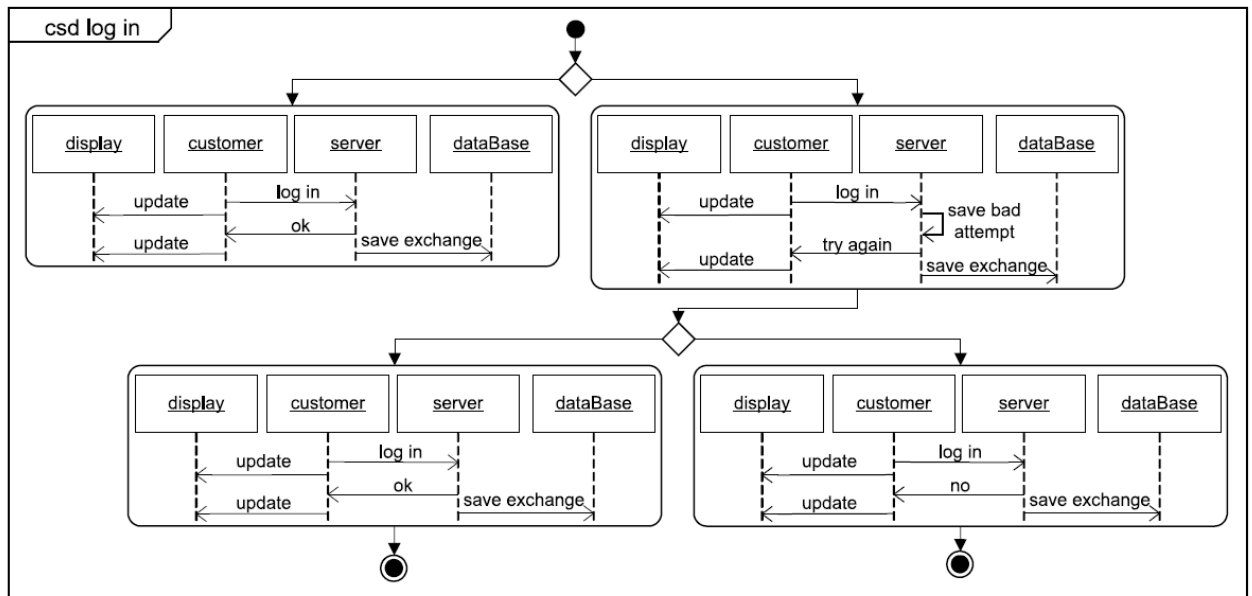


Figura 49 – Composição entre aspectos de registro de mensagens, segurança e atualização de interface gráfica com modelo base para autenticação de usuário

Em relação a POA, não é possível representar introduções de membros em classes, uma funcionalidade importante da linguagem. Não é possível utilizar *wildcards* na definição de pontos de corte, o que torna difícil a captura de múltiplos pontos de junção em um mesmo ponto de corte. Além disso, a especificação de avisos contém redundâncias, pois replicam-se as mensagens referentes ao ponto de corte capturado. A principal contribuição do trabalho é a possibilidade de realizar a composição de múltiplos aspectos em um mesmo ponto de junção, mantendo as mensagens disparadas em cada aviso e identificando corretamente os pontos de junção, mesmo com mensagens introduzidas após a introdução de um aviso. Em relação a forma de extensão à UML, as modificações da proposta não podem ser usadas diretamente em qualquer ferramenta CASE. Os modelos gerados por esta proposta devem ser convertidos para o meta-modelo padrão da UML (através de transformações). A conversão de modelos não é tratada neste trabalho, dificultando ainda mais o reuso da proposta em diferentes ferramentas CASE.

### 3.7 THEME/UML PROPOSTO POR CLARKE

A proposta de Clarke (BANIASSAD; CLARKE, 2004b) permite realizar a análise e projeto de sistemas orientados a aspectos, desde a eliciação de requisitos, passando pela modelagem e automatizando parte do processo com a composição automatizada de modelos núcleo com modelos de interesses entrecortantes (aspectos). Na proposta elaborada por Clarke cada funcionalidade do sistema é considerada um tema (*theme*). Os temas são identificados na fase de levantamento de requisitos pela ferramenta Theme/Doc, que guia a obtenção de requisitos de sistemas orientados a aspectos. Para modelagem estrutural utilizam-se os diagramas de pacote e de classes. Um pacote que representa um tema está associado ao estereótipo *theme*, que representa um interesse do sistema. Diagramas de sequência são utilizados para modelagem comportamental. A modelagem de interesses núcleo é realizada dentro dos padrões da UML, apenas marcando o pacote que define o tema com o estereótipo *theme*. No entanto, a modelagem dos interesses entrecortantes utiliza um mecanismo estendido de *templates* da UML, que permite definir elementos não instanciados em um tema. Estes parâmetros serão instanciados posteriormente indicando quais elementos do modelo núcleo serão estendidos pelos interesses entrecortantes.

A figura 50 apresenta um interesse núcleo para matrícula de um estudante em um curso. Observa-se a presença do estereótipo *theme* associado ao pacote que contém um diagrama de classes e um diagrama de sequência. A figura 51 representa um interesse entrecortante para registro de atividades do sistema, como o cadastro de um estudante em um determinado curso. Este tema contém um *template* UML

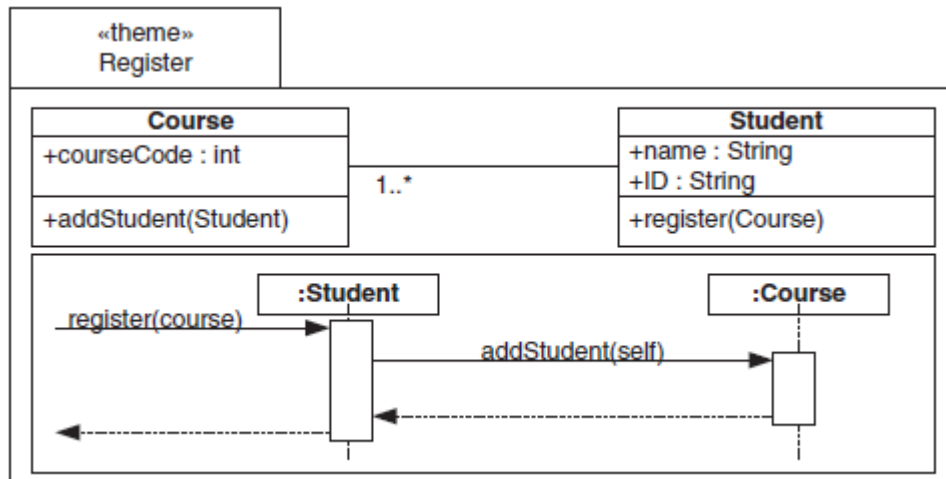


Figura 50 – Modelo núcleo: registro de estudante em curso

com dois parâmetros. O primeiro parâmetro é o objeto do modelo núcleo que está sendo registrado e o segundo representa o método que está sendo executado no modelo núcleo. Para realizar a composição de interesses, o desenvolvedor deve instanciar estes parâmetros com elementos do modelo núcleo.

A figura 52 apresenta uma configuração para composição de temas. Esta configuração define que objetos do tipo *Person*, *Student* e *Professor* são objetos que podem ser alvo do registro de atividades. Além disso, define que os métodos que terão a atividade registrada são: *Student.register()*, *Person.unregister()* e *Professor.giveMark()*. Em relação a composição de modelos, um plug-in para o ambiente de desenvolvimento Eclipse (ECLIPSE, 2013) permite realizar a composição de modelos. O algoritmo de composição recebe a modelagem em formato XMI como entrada e, baseado no meta-modelo proposto por Theme/UML, produz um modelo final independente de plataforma com os modelos núcleo compostos com os interesses entrecortantes (CARTON et al., 2009).

Uma importante contribuição da abordagem é a especificação de aspectos desde a eliciação de requisitos, passando pela modelagem até a composição de modelos. As ferramentas Theme/DOC e Theme/UML também permitem realizar a rastreabilidade de interesses (temas), desde a fase de requisitos, modelagem até o projeto do sistema. Outra vantagem da abordagem de Clarke é a independência de plataforma em relação a linguagem para programação orientada a aspectos. Theme/UML é projetado como uma abordagem independente de plataforma, com mapeamentos para AspectJ, AspectWerkz (ASPECTWERKZ, 2012) e Hyper/J (OSSHER; AL., 2001).

Uma das limitações da proposta de Clarke é a forma de extensão à UML, pois a mesma estende o meta-modelo da UML. Esta forma de extensão limita o uso da proposta de modelagem apenas em ferramentas próprias. O meta-modelo depende da versão 1.3 *beta* da UML e não pode ser utilizado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis. Com o objetivo de inserir a abordagem dentro dos padrões da segunda versão da UML, foi desenvolvido um perfil UML baseado na versão 2.1 da linguagem (CARTON et al., 2009). No entanto, este trabalho ainda depende do meta-modelo original, pois para realizar a composição deve-se transformar os estereótipos e valores rotulados para o meta-modelo original do Theme/UML.

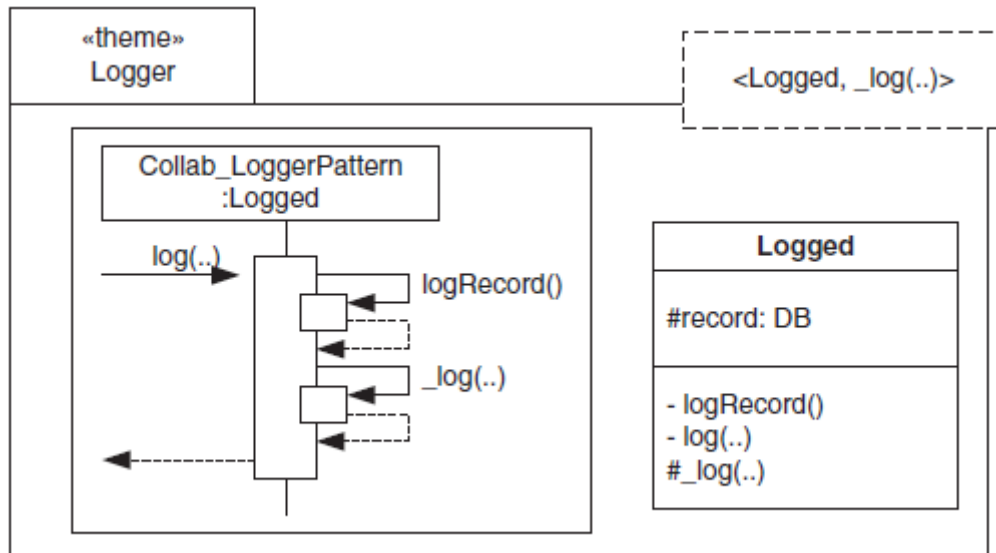


Figura 51 – Modelo entrecortante: registro de atividades do sistema

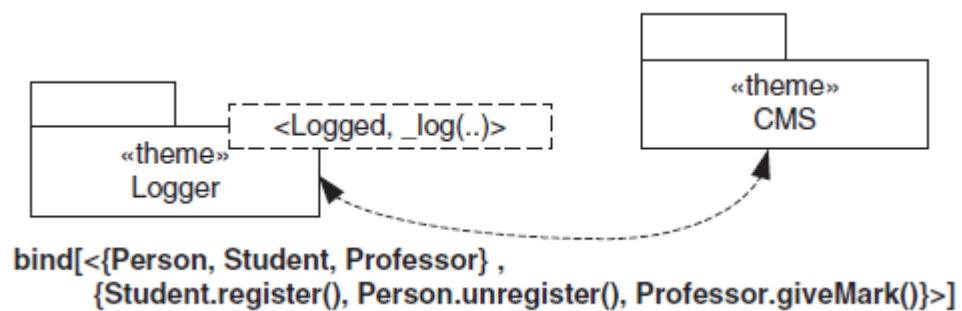


Figura 52 – Configuração de composição entre interesses

### 3.8 MODELAGEM DE ASPECTOS COM DIRETIVAS DE COMPOSIÇÃO PROPOSTO POR FRANCE

O trabalho de France (REDDY et al., 2006b) (FRANCE et al., 2007) apresenta uma proposta para especificação e composição de modelos de aspecto com modelos núcleo utilizando diretivas de composição. Os modelos de aspecto são descrições genéricas de interesses entrecortantes, que devem ser instanciadas antes de serem compostas com um modelo núcleo. A instanciização ocorre através de *templates* da UML, semelhante a abordagem proposta por Clarke (BANIASSAD; CLARKE, 2004b). Um modelo de aspecto pode ser instanciado mais de uma vez na mesma modelagem. A instanciização de um modelo de aspecto envolve atribuir valores a todos os parâmetros de um *template* com valores do domínio da aplicação. Um diferencial da proposta de Clarke é que a comparação entre elementos do modelo para realizar a composição de classes utiliza outras variáveis além do nome do elemento, como o tipo de retorno de um método, o número e o tipo dos parâmetros, etc. A comparação e seleção de elementos impactados é baseada em uma assinatura ao invés de uma simples comparação por nome.

Além da comparação de elementos pela sua assinatura, a proposta também disponibiliza as diretivas de composição, que permitem adicionar restrições e verificações para a composição de modelos. Existem dois tipos de diretivas: de modelo e de elemento. As diretivas de modelo definem a ordem de composição de modelos, isto é, a ordem que os aspectos são compostos. Já as diretivas de elemento determinam como um modelo de aspecto é composto em um modelo núcleo. Um exemplo de diretiva de elemento é a adição de novos elementos em um modelo. Estes elementos são definidos em um modelo de aspecto e devem ser inseridos no modelo composto. Já um exemplo de diretiva de modelo é a definição de precedência entre aspectos no momento da composição. Esta diretiva especifica que um modelo de aspecto deve ser composto antes de outro modelo.

A figura 53 exemplifica o uso de diretivas de composição. O modelo núcleo à esquerda apresenta duas classes: *Writer* e *FileStream*, que representam o comportamento de escrever linhas em um *stream*. O modelo de aspecto à direita contém as mesmas duas classes e adiciona uma outra classe para introduzir um *buffer* de escrita (*WriterBuffer*). Para realizar a composição entre estes dois modelos deve-se adicionar algumas diretivas de composição. A primeira diretiva é a remoção da associação entre as classes *Writer* e *FileStream*, pois agora a escrita passará por um *buffer*. Além disso, remove-se a especificação Object Constraint Language (OCL) ((OMG), 2012) do método *writeLine()* no modelo primário. A remoção da especificação OCL e da associação entre classes podem ser visualizadas na figura 54, que mostra os modelos após a aplicação das diretivas de composição. Após a aplicação das diretivas, a composição de modelos pode ser realizada sem disparar conflitos entre os elementos dos modelos.

As diretivas de composição são uma importante contribuição da proposta de France, pois elas permitem realizar a composição de diagramas de classe prevenindo e evitando a maior parte dos conflitos. O foco deste trabalho é a especificação e a composição da estrutura de aspectos. A parte comportamental é tratada pelo trabalho de Reddy e Solberg (REDDY et al., 2006a), que estende a proposta e trata da especificação e composição de diagramas de sequência. No entanto, a composição de diagramas de sequência e a adição de um suporte ferramental para a composição dos mesmos ainda estão sendo estudadas pelos autores. O trabalho de France e Reddy (FRANCE et al., 2007) estuda a implementação de uma ferramenta para composição dos modelos estruturais automaticamente, sem esforço do desenvolvedor. Este suporte ferramental é importante, pois automatiza parte do processo de modelagem, diminuindo a quantidade de esforço manual necessária.

Uma das limitações da proposta de (REDDY et al., 2006b) é a não representação de algumas características importantes da POA, como a captura de múltiplos pontos de junção em uma única construção. A abordagem utiliza *templates* da UML para instanciar os aspectos com elementos do domínio da aplicação, mas não permite instanciar múltiplos elementos ao mesmo tempo. Outra limitação da abordagem é a falta de suporte ferramental para realizar a composição de modelos comportamentais. Os modelos devem ser compostos manualmente pelo desenvolvedor. O suporte ferramental automatiza parte do processo de modelagem, diminuindo o esforço do desenvolvedor e o tempo necessário para realizar a modelagem. A composição de modelos comportamentais permite visualizar o efeito do comportamento dos modelos entrecortantes (aspectos) nos modelos núcleos, facilitando a compreensão de um sistema orientado a aspectos.

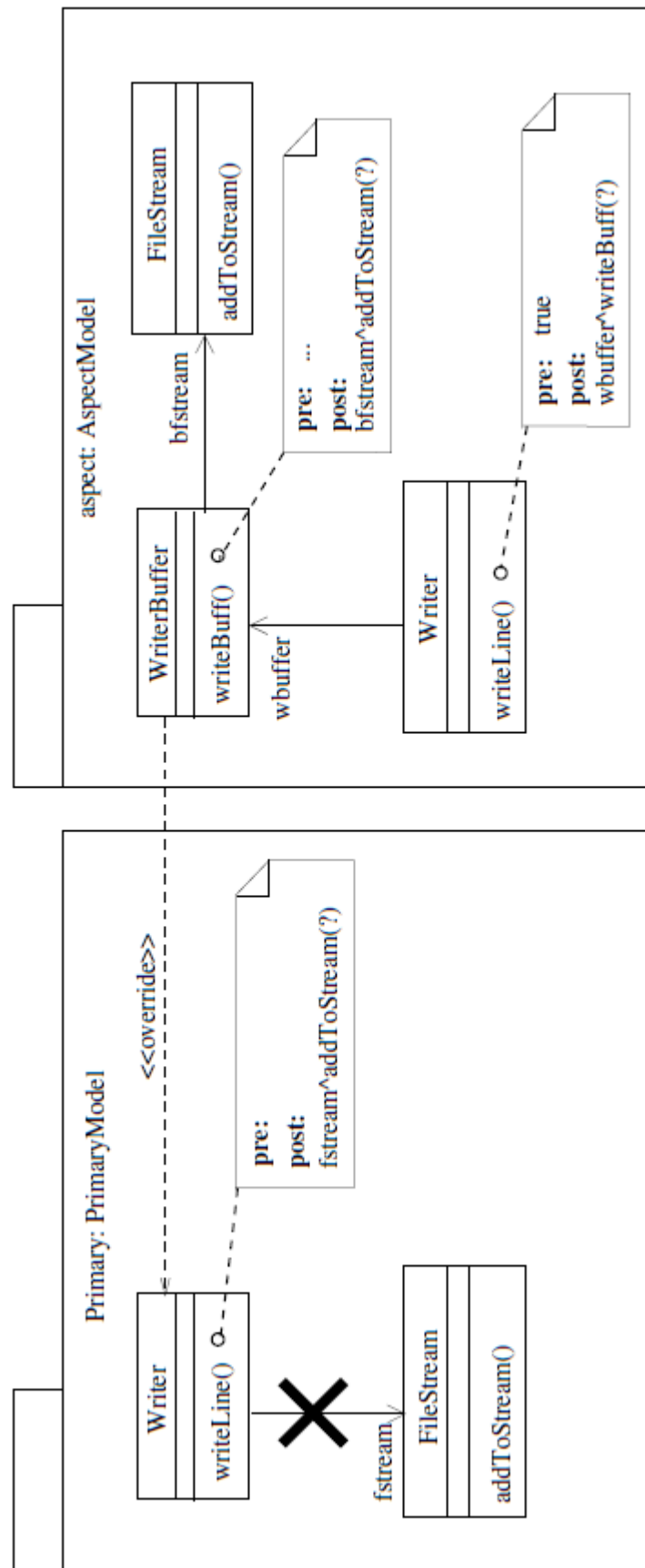


Figura 53 – Antes do uso de diretivas de composição para composição de aspectos

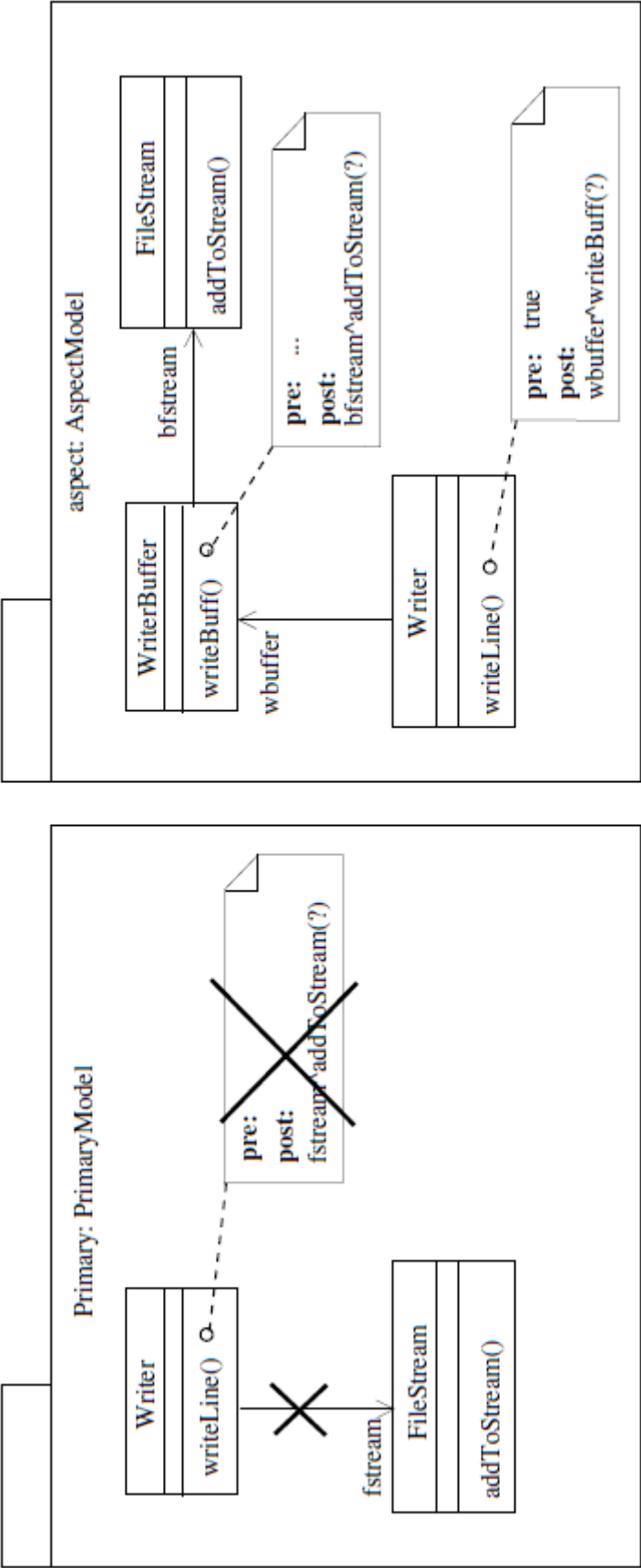


Figura 54 – Depois do uso de diretivas de composição para composição de aspectos

### 3.9 MODELO DE PROJETO DE ASPECTOS (AODM) PROPOSTO POR STEIN

A proposta de Stein (Aspect-Oriented Design Model (AODM)) (STEIN; HANENBERG; UNLAND, 2002a) (STEIN; HANENBERG; UNLAND, 2002c) (STEIN; HANENBERG; UNLAND, 2002b) permite a especificação de sistemas orientados a aspectos. A modelagem é baseada nas construções da linguagem AspectJ para implementação de aspectos utilizando Java. O trabalho de Stein estende o meta-modelo da UML através de um perfil UML, adicionando estereótipos e valores rotulados. No entanto, algumas construções estendem o meta-modelo da UML diretamente. Segundo os autores, propõe-se também uma composição em nível de modelo das construções propostas pela linguagem AspectJ. A modelagem de aspectos é implementada utilizando diagrama de classes, colaborações da UML 1.x e casos de uso. Os casos de uso são utilizados para definir a ordem de composição entre aspectos. A proposta permite a composição de aspectos e de introduções.

Para representar aspectos adiciona-se o estereótipo *aspect* ao elemento do meta-modelo (*Class*). Um aspecto contém alguns parâmetros de configuração, atributos, operações, pontos de corte e avisos. Pontos de corte são definidos com o estereótipo *pointcut*, que estende (*Operation*) e contém uma assinatura e uma declaração. A declaração define quais pontos de junção serão capturados nos modelos núcleo. O estereótipo *advice* também estende o elemento do meta-modelo *Operation* e permite especificar avisos. Introduções são especificadas utilizando *templates* da UML. O estereótipo *introduction* permite representar introduções de métodos, classes, atributos e também de relacionamentos entre elementos. Antes de utilizar um *template* que define uma introdução deve-se instanciar todos os parâmetros com argumentos do domínio de aplicação.

O exemplo da figura 55 apresenta um modelo de aspecto (AODM) segundo a proposta de Stein. O exemplo trata do padrão de projeto observador/observado que permite que um observador escute mudanças em alguns objetos observados. A modelagem contém um aspecto abstrato que deve ser estendido e um aspecto concreto que implementa o padrão de projeto. O aspecto abstrato (*SubjectObserverProtocol*) contém um aviso do tipo depois e um ponto de corte. O ponto de corte *stateChanges* captura mudanças no estado de um objeto e deve ser especificado pelo aspecto concreto. A semântica adicionada pelo aspecto abstrato é que os objetos observadores serão notificados quando ocorrer alguma mudança de estado nos objetos observados. No entanto, o exemplo não apresenta como é modelado o comportamento do aviso. O aspecto concreto (*SubjectObserverProtocolImpl*) instanciariza o padrão de projeto em uma aplicação, sobrescrevendo o ponto de corte *stateChanges* para capturar cliques em um botão. Além disso, adiciona duas introduções às classes *Button* e *ColorLabel*.

Uma das limitações da proposta de Klein é a necessidade de estender o meta-modelo da UML. Embora a proposta utilize um perfil UML para adicionar estereótipos e valores rotulados, o meta-modelo da UML é estendido. A extensão do meta-modelo não permite que a proposta seja utilizada em qualquer ferramenta CASE que suporte a importação de perfis. Outra limitação do trabalho é a dependência com a primeira versão da UML, com o uso de diagramas de colaboração, que dependem de construções presentes na primeira versão da linguagem. A falta de uma ferramenta para composição automática de modelos é outra limitação do trabalho, pois é necessário que o desenvolvedor especifique todos os modelos manualmente, inclusive os modelos compostos.

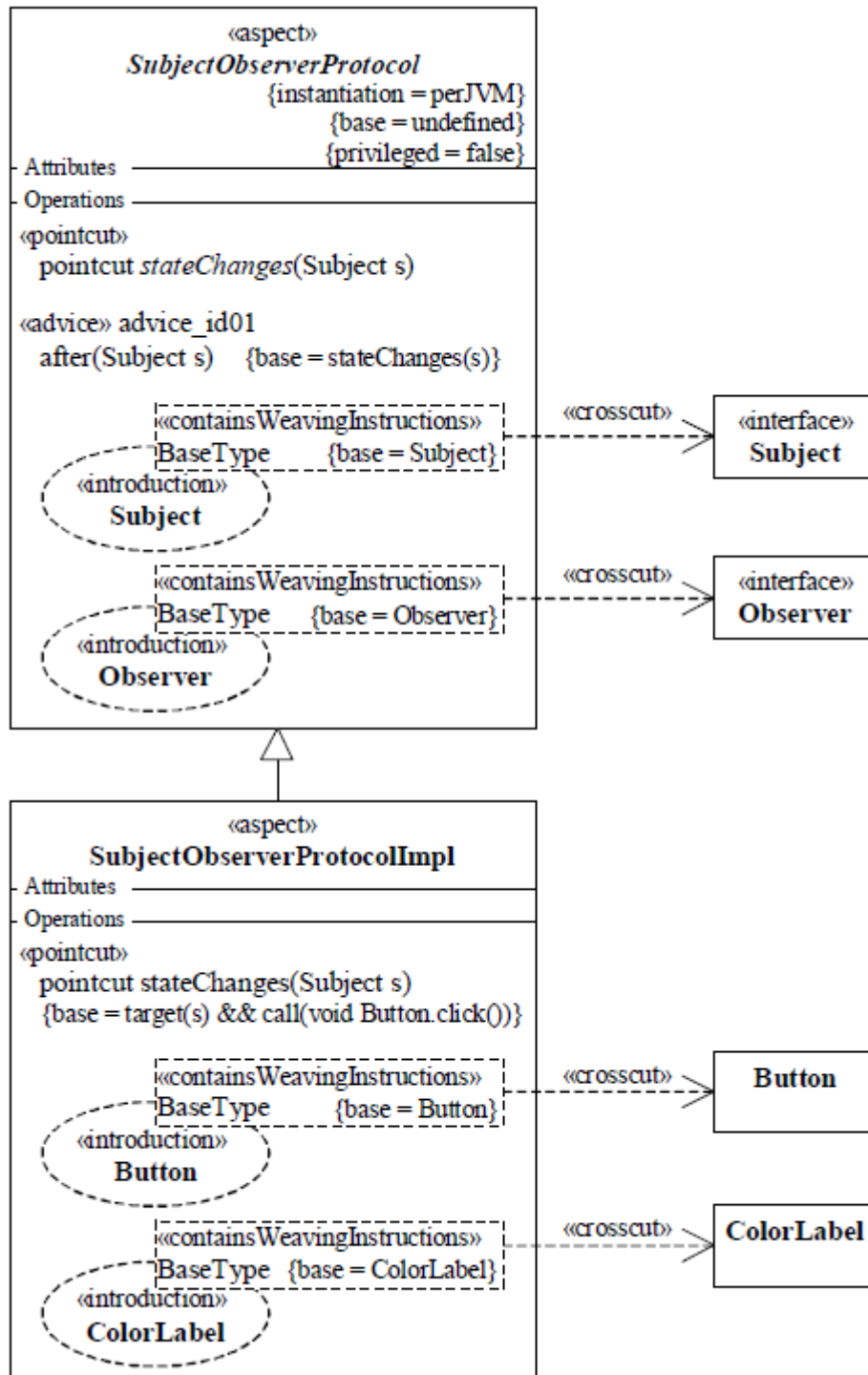


Figura 55 – Um modelo de aspecto segundo a abordagem AODM



### 3.10 COMPARAÇÃO DE ABORDAGENS

Existem algumas abordagens para modelagem de sistemas orientados a aspectos. Esta dissertação propõe uma comparação entre diferentes abordagens considerando alguns critérios de comparação. Os critérios apresentados na próxima sessão são baseados no trabalho proposto por Wimmer (WIMMER et al., 2011). A próxima seção apresenta os critérios propostos por este trabalho. Para permitir uma melhor visualização das tabelas de comparação, as abordagens são abreviadas com as três primeiras letras do autor principal. Para cada critério, apresenta-se a tabela de comparação entre as abordagens e uma pequena discussão sobre os resultados de cada tabela.

#### 3.10.1 Critérios Propostos por Wimmer

##### 3.10.1.1 Critérios de Linguagem

- **Linguagem para Modelagem (L.M):** Diz respeito a linguagem utilizada para modelagem. Neste trabalho apenas abordagens que utilizam UML são estudadas. Logo, abordagens podem utilizar a versão 1.x ou a segunda versão da UML.
- **Mecanismo de Extensão (M.E):** Abordagens para modelagem de sistemas orientados a aspectos podem estender a UML através de um perfil leve, que pode ser utilizado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis, ou adicionando novos elementos, restrições e relacionamentos ao meta-modelo da linguagem. A extensão através de perfis permite uma maior inter-operabilidade de abordagens para modelagem em diferentes ferramentas CASE (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 2005).
- **Diagramas Estruturais (D.E):** Quais diagramas estruturais são utilizados para descrever a estrutura de aspectos.
- **Diagramas Comportamentais (D.C):** Quais diagramas comportamentais são utilizados para descrever o comportamento de aspectos.

A tabela 1 apresenta a comparação entre diferentes abordagens utilizando os critérios de linguagem.

	KLE	EVE	KIE	JAC	CUI	STE	COT	CLA	GHI
L.M	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.x	2.0	2.0 (1.x)	2.0
L.E	MM	P	P	MM	P	MM	P	MM	P
D.E	-	DC	DC	DC, DComp	-	DC	DC, DEC, DI	DP, DC	DP, DC
D.C	DS	-	DS, DME	DS, DCom, DCU	DA	DCol	DME	DS	DS, DME

Abreviações Autores:

KLE (Klein), EVE (Evermann), KIE (Kienzle), JAC (Jacobson), CUI (Cui), STE (Stein), COT (Cottenier), CLA (Clarke), GHI (Ghilardi)

Legenda:

MM (Meta-Modelo), P (Perfil UML), DC (Diagrama de Classes), DComp (Diagrama de Componentes), DEC (Diagrama de Estrutura Composta), DI (Diagrama de Implantação), DP (Diagrama de Pacotes), DS (Diagrama de Sequência), DCol (Diagrama de Colaboração), DA (Diagrama de Atividades), DME (Diagrama de Máquina de Estados), DCU (Diagrama de Casos de Uso) e DCom (Diagrama de Comunicação)

Tabela 1 – Comparação entre abordagens: critérios de linguagem

Observa-se que a maior parte das abordagens especificam aspectos com a segunda versão da UML. As abordagens limitadas a primeira versão da UML não contemplam todas as construções da linguagem e, não são suportadas por qualquer ferramenta CASE, diminuindo a expressividade da abordagem e a qualidade da mesma. Em relação a forma de extensão, algumas abordagens estendem por um perfil UML, enquanto outras estendem diretamente o meta-modelo. A extensão por meta-modelo não permite utilizar a abordagem em outra ferramenta diferente da que foi implementada originalmente, diminuindo

o potencial de reuso. Já um perfil UML pode ser importado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis, possibilitando o reuso em ferramentas CASE comerciais. A maior parte das abordagens utiliza diagramas de classe para modelagem estrutural. Em relação ao comportamento, a maior parte das abordagens modela com diagramas de sequência. Na especificação comportamental, alguns abordagens utilizam o diagrama de máquina de estados, que permite representar em mais detalhes o comportamento de sistemas orientados a aspectos, como a modelagem de pontos de corte.

### 3.10.1.2 Critérios de Composição e Modelos

- **Composição Simétrica (C.S):** Este critério analisa quais modelos de interesses podem ser compostos com outros modelos. Na modelagem de sistemas orientados a aspectos, em algumas abordagens, o modelo do interesse entrecortante (aspecto) é modelado diferentemente do modelo núcleo. Nesses casos, a composição é assimétrica, pois apenas modelos de interesses entrecortantes podem ser compostos em modelos núcleo. A composição simétrica acontece quando não há diferenciação entre modelos entrecortantes e modelos núcleo, podendo realizar a composição entre qualquer modelo.
- **Nível de Abstração (N.A):** Distingue o nível de abstração dos elementos das abordagens. As abordagens podem representar construções de sistemas orientados a aspectos em alto ou baixo nível de abstração. É possível que uma abordagem represente conceitos nos dois níveis.
- **Composição Estrutural (C.E):** Avalia se a abordagem permite realizar a composição estrutural de modelos.
- **Composição Comportamental (C.C):** Avalia se a abordagem permite realizar a composição do comportamento de modelos.
- **Ferramenta para Modelagem (F.M):** Distingue abordagens que disponibilizam uma ferramenta para modelagem, de abordagens que não disponibilizam uma ferramenta que auxilie a modelagem. Abordagens que estendem a UML através de um perfil automaticamente disponibilizam este suporte, pois o perfil pode ser importado em outras ferramentas CASE.
- **Ferramenta para Composição (F.C):** Algumas abordagens disponibilizam uma ferramenta para composição automática da estrutura e comportamento de modelos, possibilitando visualizar o comportamento de aspectos inserido no sistema, sem esforço do desenvolvedor.

A tabela 2 apresenta a comparação entre diferentes abordagens utilizando os critérios de composição e modelos.

	KLE	EVE	KIE	JAC	CUI	STE	COT	CLA	GHI
C.S	sm	-	asm	asm	asm	asm	asm	sm	asm
N.A	alto	baixo	alto	alto	alto	baixo	baixo	alto	alto
C.E	não	sim	sim	não	não	sim	sim	sim	sim
C.C	sim	não	sim	não	sim	não	sim	sim	sim
F.M	não	sim	sim	não	não	não	sim	sim	sim
F.C	não	não	não	não	não	não	sim	não	sim

Abreviações Autores:

KLE (Klein), EVE (Evermann), KIE (Kienzle), JAC (Jacobson), CUI (Cui), STE (Stein), COT (Cottenier), CLA (Clarke), GHI (Ghilardi)
---

Legenda:

sm (Modelos Simétricos), asm (Modelos Assimétricos)
---

Tabela 2 – Comparação entre abordagens: critérios de composição e modelos

Em relação à modelagem simétrica ou assimétrica, a maior parte das abordagens especifica os interesses entrecortantes com construções diferentes dos interesses núcleo. A maior parte das abordagens representa aspectos em alto nível de abstração. A modelagem em alto nível de abstração facilita

a compreensão e manutenção do sistema. Boa parte das abordagens permite a modelagem de sistemas orientados a aspectos. Abordagens que estendem a linguagem através de um perfil podem ser utilizadas em outras ferramentas CASE, possibilitando a modelagem sem a necessidade de implementar uma ferramenta específica. Algumas abordagens suportam a composição estrutural e comportamental, que podem ser realizadas através de um procedimento algorítmico. No entanto, apenas a proposta de Cottenier e a abordagem proposta por esta dissertação disponibilizam ferramentas para realizar a composição de modelos automaticamente. O uso de ferramentas que automatizam parte do processo de modelagem é uma importante contribuição, pois diminuem o tempo de modelagem de um sistema.

### 3.10.1.3 Critérios de Pontos de Junção e Aviso

- **Modelo de Ponto de Junção (M.PJ):** Este critério distingue entre duas formas possíveis de especificar pontos de junção: de maneira explícita, identificando quais elementos da linguagem podem representar pontos de junção; de maneira implícita, utilizando o próprio modelo de pontos de junção da linguagem para programação orientada a aspectos (POA).
- **Representação de Ponto de Corte (R.PC):** Distingue a forma de representação de pontos de corte, a qual pode ser textual ou gráfica, com algum diagrama da linguagem.
- **Composição de Ponto de Corte (C.PC):** Avalia se a abordagem permite realizar a composição de pontos de corte, com os operadores lógicos AND e OR.
- **Representação de Aviso (R.A):** Avalia se a representação de avisos (antes, durante ou depois) é realizada.

A tabela 3 apresenta a comparação entre diferentes abordagens utilizando os critérios de pontos de junção e avisos.

	KLE	EVE	KIE	JAC	CUI	STE	COT	CLA	GHI
M.PJ	exp	imp	exp	imp	exp	imp	exp	imp	exp
R.PC	gra	tex	gra	tex	gra	tex	gra	tex	gra
C.PC	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
R.A	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

Abreviações Autores:

KLE (Klein), EVE (Evermann), KIE (Kienzle), JAC (Jacobson), CUI (Cui), STE (Stein), COT (Cottenier), CLA (Clarke), GHI (Ghilardi)
---

Legenda:

exp (Explícita), imp (Implícita), tex (Textual), gra (Gráfica)
--

Tabela 3 – Comparação entre abordagens: critérios de ponto de junção e avisos

Algumas abordagens representam explicitamente o modelo de pontos de junção, selecionando elementos da própria linguagem para representar os pontos de junção da POA. Um exemplo é o uso do diagrama de sequência para representar pontos de junção, onde uma mensagem representa a chamada de um método, por exemplo (utilizado na abordagem de Klein). Já a representação implícita, na maior parte das vezes, é uma representação textual de alguma linguagem para programação de aspectos, como AspectJ. Esta dissertação representa pontos de corte com o diagrama de máquina de estados, utilizando elementos do diagrama para representação dos pontos de junção. Algumas abordagens representam pontos de corte diagramaticamente, enquanto outras representam apenas textualmente. A representação diagramática facilita a compreensão dos modelos, opção desta dissertação. Todas as abordagens permitem a composição de pontos de corte e a representação de avisos.

### 3.10.2 Critérios Propostos por Ghilardi

Os seguintes critérios são propostos por esta dissertação para comparação de modelagens para sistemas orientados a aspectos:

#### 3.10.2.1 Critérios de Especificação de Aspectos e de Visualização

- **Representação de Introduções (R.I):** Avalia se a abordagem permite especificar introduções de elementos em um modelo núcleo, adicionando um novo método, atributo ou modificando a hierarquia de herança de classes que especificam um interesse núcleo.
- **Captura de Múltiplos Pontos de Junção (C.M.PJ):** Distingue quais abordagens permitem a captura de múltiplos pontos de junção de maneira praticável, com o uso de expressões regulares (*wildcards*).
- **Alternância de Visões (A.V):** Avalia se a abordagem permite realizar a alternância de visões, visualizando ora o comportamento dos interesses entrecortantes (aspectos), dos interesses núcleo, ou, a composição dos interesses entrecortantes com os interesses núcleos. Esta alternância de visões deve ser realizada sem o esforço do desenvolvedor.
- **Efeito de Aspectos (E.A):** Este critério distingue abordagens que permitem visualizar o efeito dos aspectos nos modelos finais, diferenciando os diferentes interesses no modelo composto.
- **Composição Automática de Pontos de Corte (C.A.PC):** Avalia se a abordagem permite realizar a composição automática de pontos de corte, sem esforço do desenvolvedor.

A tabela 4 apresenta a comparação entre diferentes abordagens utilizando os critérios de aspectos e visualização.

	KLE	EVE	KIE	JAC	CUI	STE	COT	CLA	GHI
R.I	não	não	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim
C.M.PJ	não	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim
A.V	não	não	não	não	não	não	não	não	sim
E.A	não	não	não	não	não	não	não	não	sim
C.A.PC	não	não	não	não	não	não	não	não	sim

Abreviações Autores:

KLE (Klein), EVE (Evermann), KIE (Kienzle), JAC (Jacobson), CUI (Cui), STE (Stein), COT (Cottenier), CLA (Clarke), GHI (Ghilardi)
---

Tabela 4 – Comparação entre abordagens: critérios de aspectos e visualização

O principal diferencial da abordagem proposta nesta dissertação é a possibilidade de realizar a alternância de visões dinamicamente, visualizando os interesses entrecortantes, os interesses núcleo ou configurações de composição de interesses entrecortantes com interesses núcleo. O visualizador de aspectos é disponibilizado através de uma ferramenta disponível no ambiente SEA. Este visualizador também permite visualizar o efeito dos aspectos no sistema, através da diferenciação por cores no modelo composto. Apenas esta dissertação permite realizar a alternância de visões automaticamente, visualizando o efeito dos aspectos no sistema.

Outros critérios importantes não tratados pela pesquisa de Wimmer (WIMMER et al., 2011) são: a modelagem de introduções, a captura de múltiplos pontos de junção em uma mesma construção e a composição automática de pontos de corte. A abordagem proposta permite especificar introduções utilizando os diagramas de classe da UML. A captura de múltiplos pontos de junção de maneira é realizada utilizando a linguagem AspectJ na definição dos pontos de corte (especificados no diagrama de máquina de estados). Outra contribuição importante desta dissertação é a composição automática de pontos de corte, através da composição de máquinas de estado. A composição automática de pontos de corte é outra contribuição deste trabalho, pois não é tratada por nenhum outro trabalho na área de modelagem de sistemas orientados a aspectos.

### 3.11 DISCUSSÃO

A maior parte das abordagens permite representar a estrutura e o comportamento de sistemas orientados a aspectos. No entanto, algumas construções importantes da POA não são representadas por essas abordagens, como a representação de todos os tipos de avisos. Em algumas abordagens, as construções são representáveis, mas demandam um esforço adicional do desenvolvedor. Um exemplo, é o esforço necessário para realizar a captura de múltiplos pontos de junção, pois a maior parte das abordagens necessitam que cada elemento a ser capturado por um ponto de corte seja selecionado manualmente. Outra limitação da maior parte das abordagens é a falta de ferramental para composição automática de modelos. Este suporte ferramental é importante na etapa de modelagem, pois diminui o tempo de desenvolvimento e facilita a compreensão e manutenção dos modelos. A geração automática de modelos compostos gera subsídios para realização da alternância de visões, visualizando o efeito dos aspectos no sistema.

Assim, não existe uma abordagem que represente todas as características de POA, automatizando parte do processo de modelagem, permitindo visualizar o efeito dos aspectos no sistema. A abordagem proposta por esta dissertação tem como objetivo representar todas as características de sistemas orientados a aspectos, estruturais e comportamentais, de maneira praticável, automatizando parte do processo de modelagem. Como produtos deste trabalho, destacam-se o suporte para modelagem de aspectos no ambiente SEA, que também pode ser utilizado em outras ferramentas CASE que suportem a importação de perfis; uma ferramenta que realiza a composição automática de modelos de interesses entrecortantes (aspectos) com modelos de interesses núcleos, possibilitando a visualização do efeito dos aspectos no sistema.

O próximo capítulo apresenta a proposta para especificação de sistemas orientados a aspectos, com as características apresentadas neste capítulo, e também apresenta o suporte ferramental para modelagem, composição e visualização dinâmica de aspectos.



## 4 ESPECIFICAÇÃO E MODELAGEM DE SISTEMAS ORIENTADOS A ASPECTOS

Este capítulo apresenta um Perfil UML para especificação de sistemas orientados a aspectos e uma ferramenta para realizar a composição de interesses núcleo com interesses entrecortantes (aspectos). O perfil UML fornece subsídios para realizar a modelagem e a composição automática de modelos núcleo com modelos entrecortantes. A ferramenta que realiza a composição de modelos, o algoritmo e o visualizador de aspectos são apresentados na parte final deste capítulo.

### 4.1 ESPECIFICAÇÃO DE SISTEMAS ORIENTADOS A ASPECTOS

O meta-modelo padrão da UML não permite a especificação de todas as características de sistemas orientados a aspectos. Este trabalho define um perfil UML que estende a linguagem com novas construções, permitindo a modelagem de sistemas que utilizam aspectos. Esta seção descreve os estereótipos, valores rotulados e restrições propostas por este perfil e também apresenta uma abordagem para representação das características estruturais e comportamentais de aspectos, fornecendo subsídios para composição automática de modelos de aspectos com modelos núcleo do sistema. A figura 56 apresenta o perfil UML proposto para representar a estrutura e o comportamento de aplicações orientadas a aspectos. Este perfil pode ser utilizado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis através do padrão XML Metadata Interchange (XMI) ((OMG), 2011b) para troca de meta-dados via Extensible Markup Language (XML).

#### 4.1.1 Especificação Estrutural

Para modelagem estrutural, este trabalho utiliza algumas definições do trabalho proposto por Evermann (EVERMANN, 2007), o qual permite a representação das características estruturais de aspectos. As definições usadas do perfil de Evermann são os estereótipos *CrosscuttingConcern* e *Aspect*, que estão com o fundo bege no diagrama de perfil da figura 56. Um estereótipo estende um elemento do meta-modelo da UML, adicionando uma nova semântica a um elemento do modelo. Neste trabalho, um elemento do meta-modelo a ser estendido é representado dentro de parênteses. O estereótipo *CrosscuttingConcern* estende (*Package*) e contém um conjunto de classes e aspectos, representando um interesse que impacta uma ou mais partes de um sistema. O estereótipo *Aspect* estende (*Class*), contém declarações inter-tipos (introduções) e algumas propriedades de configuração, que são valores rotulados. O primeiro valor rotulado é *isPrivileged* que determina se um aspecto é privilegiado, isto é, se ele tem acesso a membros privados de outras classes do sistema. Outra propriedade que pode ser configurada é o tipo de instancialização de um aspecto. O tipo de instancialização é definido pelos valores rotulados *perType* e *perPointcut*. O valor rotulado *perType* é um enumerável com quatro opções: *perthis*, *pertarget*, *percfow*, *percfowbelow* e define o tipo de instancialização. O valor rotulado *perPointcut* define qual é o ponto de corte que está associado. Um exemplo de uso desta variável seria a instancialização do aspecto para cada fluxo de execução após a captura de um ponto de corte. Esta instancialização poderia incluir o próprio ponto de corte (*percfow*), ou não (*percfowbelow*).

As declarações inter-tipos permitem a injeção de membros (métodos, atributos) em classes, mudanças de hierarquia de herança entre classes e de implementação de interfaces. Estas declarações também permitem a mudança de hierarquia de aspectos. Para representar declarações inter-tipos, foi proposto o estereótipo *ClassExtension*. Este estereótipo estende (*Class*) e está associado a outro estereótipo denominado *Introduction*. O estereótipo *Introduction* é usado para marcar quais membros estão sendo inseridos em uma classe, ou qual relacionamento de herança está sendo adicionado ou removido, ou qual interface está sendo implementada. O estereótipo *Introduction* estende os elementos do meta-modelo (*Attribute*), (*Operation*), (*Generalization*) e (*Realization*).

Com os estereótipos propostos e o diagrama de classes da UML, é possível representar a estrutura de aplicações orientadas a aspectos usando pacotes, classes e aspectos. O exemplo da figura 57 mostra como modelar um interesse entrecortante usando o perfil UML proposto por esta dissertação. Alguns dos exemplos apresentados são baseados no sistema de gerenciamento de hotéis proposto por Jacobson para apresentar sua proposta de modelagem (JACOBSON; NG, 2004).

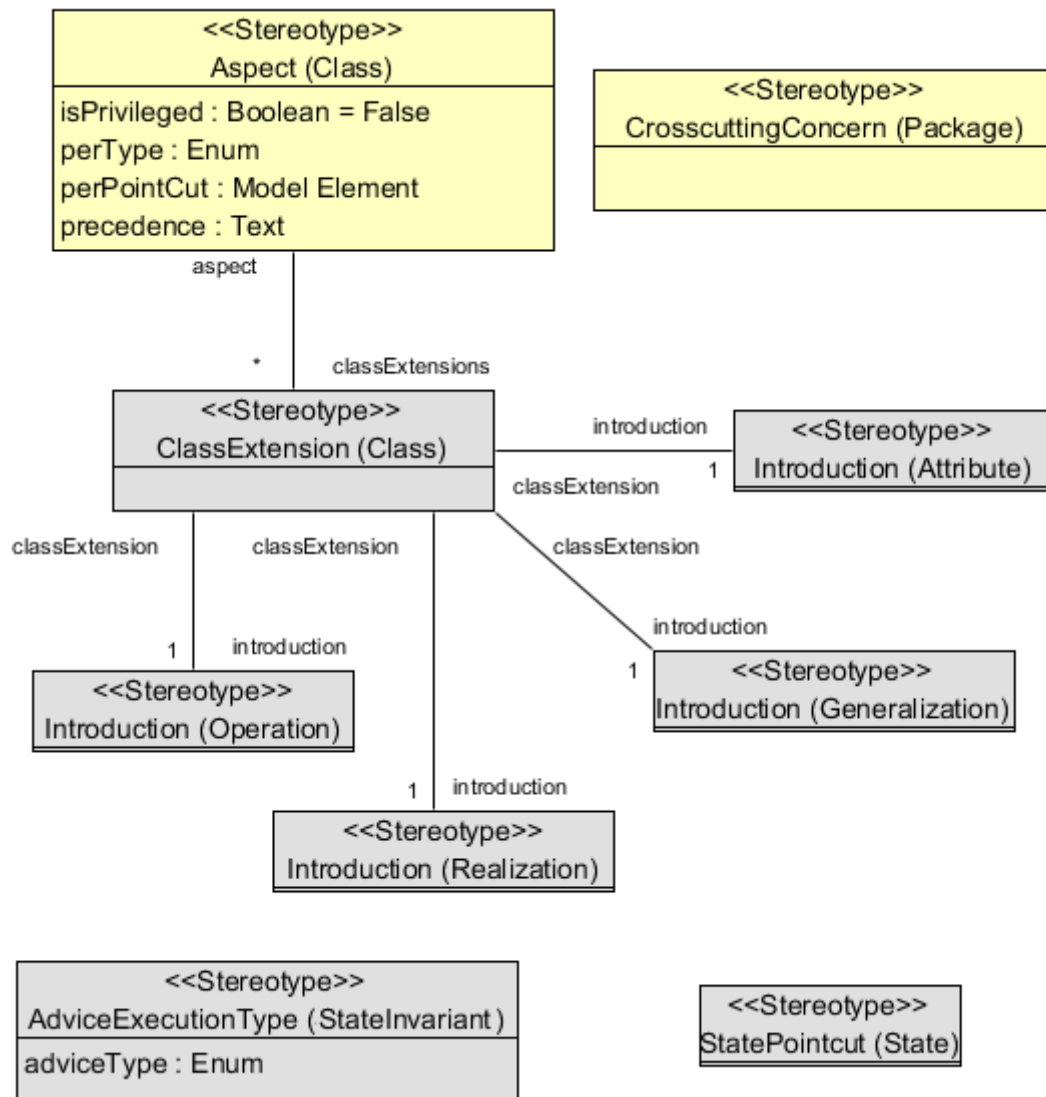


Figura 56 – Perfil UML para modelagem de sistemas orientados a aspectos



O interesse representado na figura 57 é a capacidade de um objeto ter seu estado copiado para outro objeto. A funcionalidade *Copyable* é especificada como um interesse entrecortante que contém o aspecto *CopyableAspect*, duas extensões de classes e a definição da interface *ICopyable*. As classes *Room* e *Reservation* são marcadas com o estereótipo *ClassExtension*, para sinalizar que estão sendo estendidas pelo aspecto. A primeira extensão adicionada às classes é a implementação da interface *ICopyable*, que define dois métodos para um objeto ter a capacidade de ser copiável. Como a interface *ICopyable* exige a implementação de dois métodos, o aspecto introduz os métodos *copy()* e *deepCopy()* nas classes *Room* e *Reservation*. A realização da interface *ICopyable* em ambas as classes e os métodos introduzidos são marcados com o estereótipo *Introduction*.

#### 4.1.2 Especificação Comportamental

Além da especificação estrutural, com declarações inter=tipos e configurações de instancialização, deve-se especificar o comportamento de um aspecto. Um aspecto é composto por pontos de corte e avisos, os quais definem em quais pontos e qual comportamento estenderá um sistema. O perfil de Evermann (EVERMANN, 2007) representa pontos de corte dentro da própria especificação de um aspecto, isto é, na representação estrutural de um aspecto com classes. Esta forma de especificação não permite a captura de múltiplos pontos de junção em um mesmo ponto de corte, pois apenas elementos da modelagem UML podem ser selecionados. A abordagem proposta nesta dissertação representa pontos de corte com o diagrama de máquina de estados da UML. Cada transição representa a captura de um ou mais pontos de junção, com a possibilidade de uso de expressões regulares (*wildcards*) para captura de múltiplos pontos de execução em uma mesma construção. Se a captura de todos os pontos de junção for satisfeita, isto é, se as condições para disparar uma transição forem satisfeitas, considera-se que o sistema satisfaz um ponto de corte. A expressão regular (*wildcard*) definida nas transições entre estados segue o padrão proposto pela linguagem AspectJ. A composição de pontos de corte é realizada através da composição de diferentes máquinas de estado, onde cada máquina de estado representa um ponto de corte. No perfil proposto, o estereótipo *StatePointcut* estende (*State*) e representa um ponto de corte. A definição deste estereótipo pode ser visualizada na figura 56.

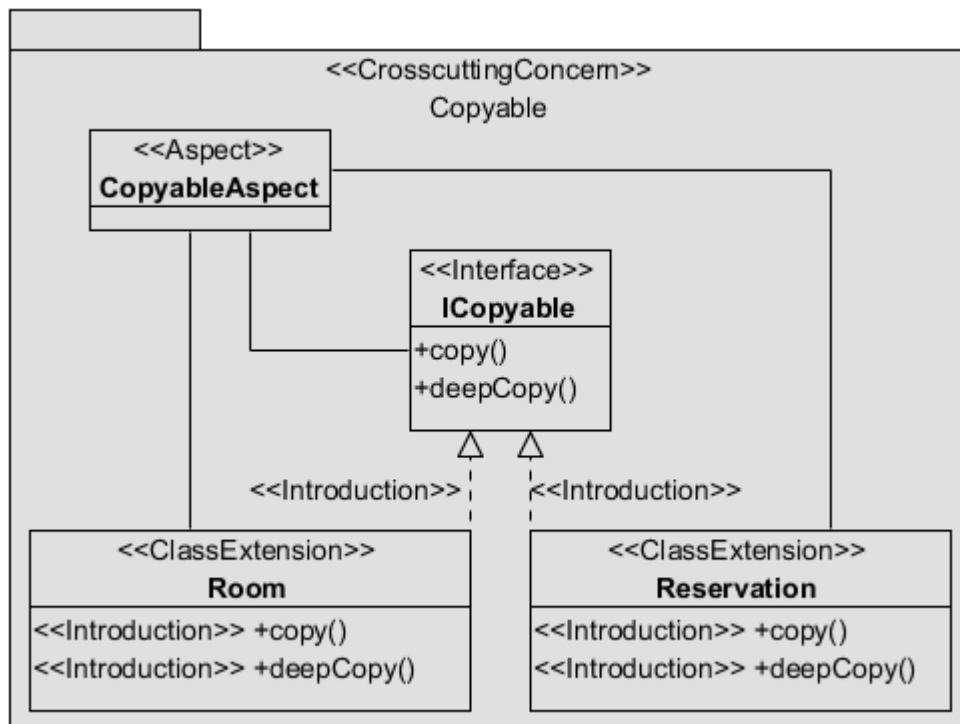


Figura 57 – Exemplo de modelagem estrutural: interesse entrecortante *Copyable*

A figura 58 mostra um exemplo de definição de um ponto de corte. O ponto de corte *AnyCall* captura chamadas (ponto de corte do tipo *call*) a qualquer método, de qualquer classe, usando uma expressão regular (*wildcard*) para capturar qualquer tipo de retorno, qualquer classe e qualquer nome de método com qualquer número de parâmetros. O ponto de corte *RoomTarget* captura a ocorrência de uma chamada quando o objeto alvo (ponto de corte do tipo *target*) é do tipo *Room*. Cada ponto de corte é representado como um estado no diagrama de máquina de estados. A assinatura de um ponto de corte é especificada na transição que leva ao estado do ponto de corte, a qual permite o uso de *wildcards* para capturar múltiplos pontos de junção. Quando um ponto de corte é satisfeito, significa que o sistema capturou os pontos de execução especificados pela assinatura do ponto de corte.

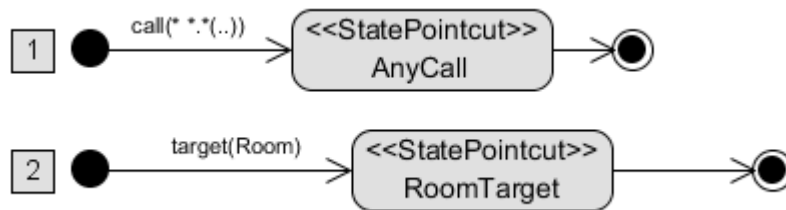


Figura 58 – Definição de dois pontos de corte

A linguagem AspectJ permite a composição de pontos de corte com os operadores lógicos *and* e *or*. A abordagem proposta nesta dissertação realiza a composição automática de pontos de corte usando o diagrama de máquina de estados. Os próximos exemplos apresentam a composição de pontos de corte proposta por esta dissertação. A figura 59 apresenta a composição dos pontos de corte *AnyCall* e *RoomTarget* usando o operador *and*. A máquina de estado composta contém um estado com uma região concurrent, contendo sub-estados que executam concorrentemente: *AnyCall* e *RoomTarget*. A sincronização ocorre com os nodos *fork* e *join*, os quais garantem que o estado final (*AnyCall AND RoomTarget*) somente será satisfeito se ambos os estados (*AnyCall* e *RoomTarget*) forem satisfeitos. Esta é a semântica do operador *and* na linguagem AspectJ. A figura 60 apresenta a composição de pontos de corte usando o operador *or*. Neste caso a semântica é um pouco diferente, porque o sistema alcançara o estado final (*AnyCall OR RoomTarget*) quando qualquer um dos pontos de corte for satisfeito. Este comportamento é representado na máquina de estados composto, que contém transições diretas de ambos estados para o estado final.

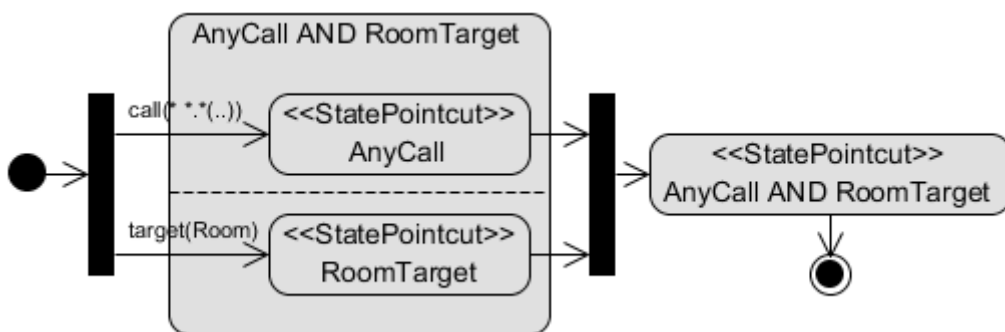


Figura 59 – A composição de dois pontos de corte com o operador AND

Um ponto de corte captura somente os pontos de execução de um sistema. O comportamento que deve ser injetado nestes pontos é representado pelo aviso, o qual está diretamente associado a um ponto de corte. Diagramas de sequência são utilizados para representar o comportamento dos interesses núcleo (modelo núcleo) e dos interesses entrecortantes (modelos entrecortantes). Um aspecto pode conter um ou mais avisos e cada um é representado por um modelo entrecortante. O comportamento de um aviso executa quando os pontos de corte associados ao mesmo são satisfeitos, isto é, todos os pontos de junção são capturados. Como nesta dissertação pontos de corte são modelados com o diagrama de máquina de estados e avisos com o diagrama de sequência, a conexão entre avisos com pontos de corte deve ser

realizada utilizando elementos sintáticos destes diagramas. A conexão entre estes elementos é realizada através do uso de invariantes de estado. Uma invariante de estado é um fragmento de interação associado com a linha de vida de um diagrama de sequência, representado uma restrição em tempo de execução nos participantes da interação. A alcançabilidade de um estado é usado como restrição para disparar a execução de um aviso.

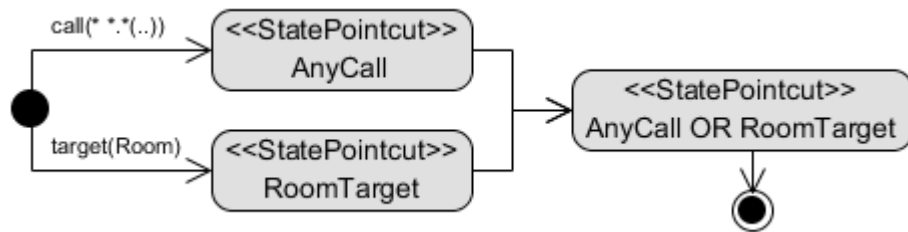


Figura 60 – A composição de dois pontos de corte com o operador OR

A definição de um modelo entrecortante (como um diagrama de sequência) inicia adicionando o aspecto como o elemento associado a primeira linha de vida do diagrama. Uma invariante de estado, a qual representa a satisfação do ponto de corte, é associada a linha de vida do aspecto. Isto significa que a sequência de mensagens ocorrerá somente quando o sistema atingir o estado representado pela invariante de estado. As mensagens podem ser executados antes, durante ou depois do disparo do ponto de corte. O tempo de execução das mensagens adicionadas pelo aspecto é configurado usando o estereótipo *AdviceExecutionType*. Este estereótipo estende (*StateInvariant*) e é apresentado na parte inferior da figura 56. O estereótipo *AdviceExecutionType* tem um valor rotulado do tipo enumeração denominado de *adviceType*. Os tipos válidos para este enumerável são: antes, durante ou depois.

A conexão entre pontos de corte e avisos pode ser melhor compreendida no exemplo da figura 61. A figura 61 apresenta o ponto de corte previamente especificado para captura de chamadas (ponto de corte *call*) de qualquer método em qualquer classe com qualquer número de parâmetros (*AnyCall*). O aspecto de registro de mensagens (*log*) define um modelo entrecortante que registra uma mensagem usando uma classe do tipo *Logger*. O modelo entrecortante é descrito como uma sequência de mensagens em uma diagrama de sequência. Este diagrama contém uma invariante de estado que referencia o ponto de corte *AnyCall*. Uma invariante de estado deve ter o estereótipo *AdviceExecutionType* e o valor rotulado *adviceType* para especificar quando o comportamento do aviso será executado. No exemplo, o comportamento do aspecto será executado depois (*after*) dos pontos de junção capturados pelo ponto de corte *AnyCall*. A mensagem *log()* será executada somente quando o estado *AnyCall* for satisfeito.

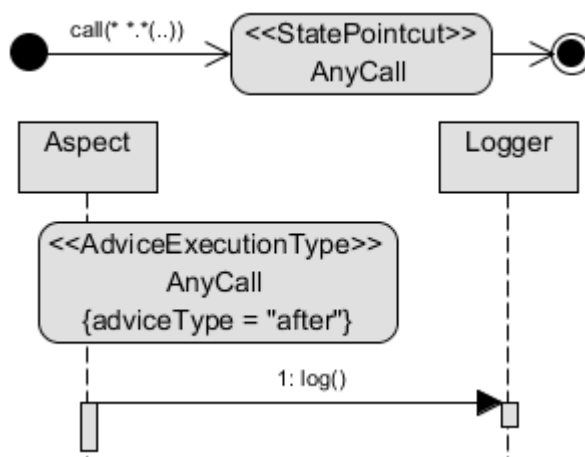


Figura 61 – A conexão entre pontos de corte e avisos usando invariantes de estado

## 4.2 VISUALIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO AUTOMATIZADA DE ASPECTOS

Esta seção apresenta a ferramenta *SEA/Aspect* que é um dos produtos do esforço de pesquisa relatado nesta dissertação, a qual permite a visualização de modelos entrecortantes compostos com modelos núcleo utilizando diagramas de classe e de sequência. O algoritmo para composição de modelos é descrito em passos para realizar a composição de classes e de mensagens. Finalmente, o visualizador de aspectos é apresentado.

### 4.2.1 A Ferramenta SEA/Aspect

O perfil UML proposto fornece subsídios para composição e visualização dinâmica de aspectos. O perfil foi adicionado no ambiente de desenvolvimento SEA (SILVA, 2000), o qual suporta a diagramação e modelagem UML. A ferramenta SEA/Aspect permite a seleção de quais modelos entrecortantes serão compostos com os modelos núcleo do sistema. Um desenvolvedor pode automaticamente visualizar somente os modelos núcleo, os modelos entrecortantes, ou os modelos núcleo compostos com os entrecortantes. Aspectos podem ser habilitados ou desabilitados dinamicamente, atualizando o modelo composto. Esta atualização automática permite a mudança de visões, visualizando diferentes composições de modelos.

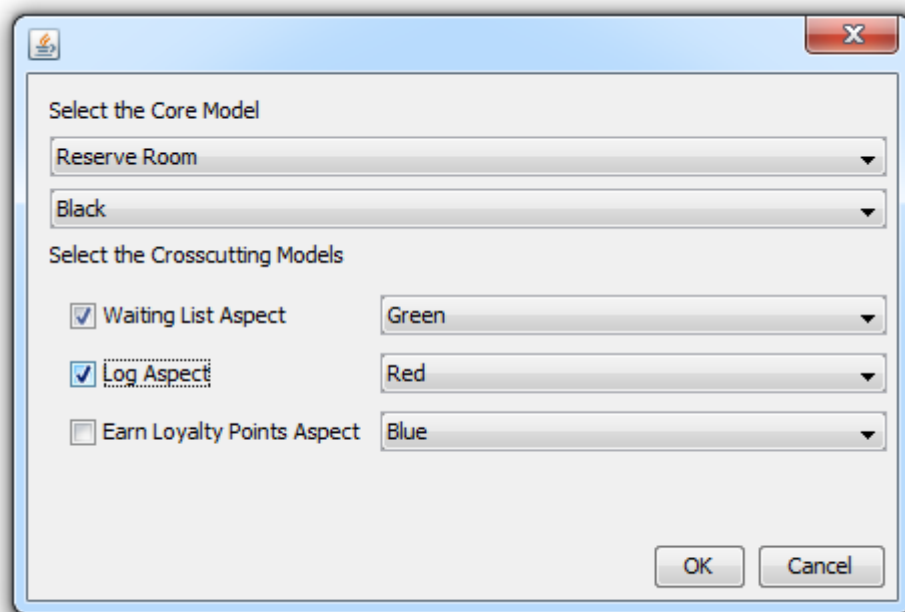


Figura 62 – Seleção de modelos para composição

A composição de modelos da ferramenta SEA/Aspect tem dois passos para produzir um modelo composto: **seleção** e **composição**, as quais são descritas nas próximas duas seções. A fase de seleção deve ser executada manualmente pelo desenvolvedor, enquanto a fase de composição é executada automaticamente pelo algoritmo de composição do ambiente SEA.

#### 4.2.1.1 Seleção

Nesta etapa o desenvolvedor seleciona manualmente quais modelos núcleo e entrecortantes deseja compor atribuindo uma cor diferente para cada modelo. Estas cores diferenciam os elementos de cada modelo no modelo composto. As mensagens enviadas pelos objetos de cada modelo serão preenchidas com a cor associada ao modelo em questão. A figura 62 apresenta a janela para seleção de aspectos na

ferramenta SEA/Aspect. Neste exemplo é possível visualizar três modelos entrecortantes: lista de espera (*Waiting List*), registro de mensagens (*Log*) e programa de fidelidade (*Earn Loyalty Points*) e um modelo núcleo: reserva de quarto (*ReserveRoom*). Nesta seleção, o desenvolvedor deseja visualizar a composição entre os modelos *ReserveRoom*, *Waiting List* e *Log*.

Os modelos núcleo e entrecortantes selecionados pelo desenvolvedor são utilizados como entrada da etapa de composição, que, baseado nos pontos de corte e nas introduções dos modelos entrecortantes selecionará quais elementos devem ser modificados no modelo composto.

#### 4.2.1.2 Composição

A composição é realizada entre um modelo núcleo e um ou mais modelos entrecortantes, provendo como resultado um modelo composto com a estrutura ou o comportamento dos modelos entrecortantes injetados no modelo núcleo. No modelo composto, o comportamento entrecortante diferencia-se do comportamento núcleo pelas cores diferentes, como pode ser visualizado na figura 77, que mostra a composição de diagrama de sequência entre os interesses de lista de espera, reserva de quarto e registro de mensagens de um sistema.

O meta-modelo do ambiente de desenvolvimento SEA (SILVA, 2000) é utilizado para composição de modelos. Os principais elementos do meta-modelo podem ser visualizados no diagrama da figura 63. No meta-modelo do SEA, uma especificação (*Specification*) agrega um conjunto de elementos de especificação (*SpecificationElement*), os quais podem ser modelos (*ConceptualModel*) ou conceitos (*Concept*). Estes modelos de especificação podem ser associados com dois tipos de relacionamento: sustentabilidade (**sustainment**) e referência (**reference**). O relacionamento de sustentabilidade estabelece uma relação semântica entre dois elementos, quando um assume o papel de sustentado e o outro de sustentador. A semântica desse relacionamento é que o elemento sustentado existirá em uma especificação enquanto o elemento sustentador existir. Um exemplo de relacionamento de sustentabilidade é o relacionamento entre classes, atributos e métodos, no qual uma classe é o sustentador e seus campos são sustentados pela classe. O relacionamento de referência estabelece que elementos referenciadores dependem de um elemento referenciado. Um exemplo deste tipo de relacionamento é uma mensagem em um diagrama de sequência, que depende de um método de uma determinada classe. Se o método for removido da especificação, a mensagem ainda existirá, mas sua semântica estará incompleta.

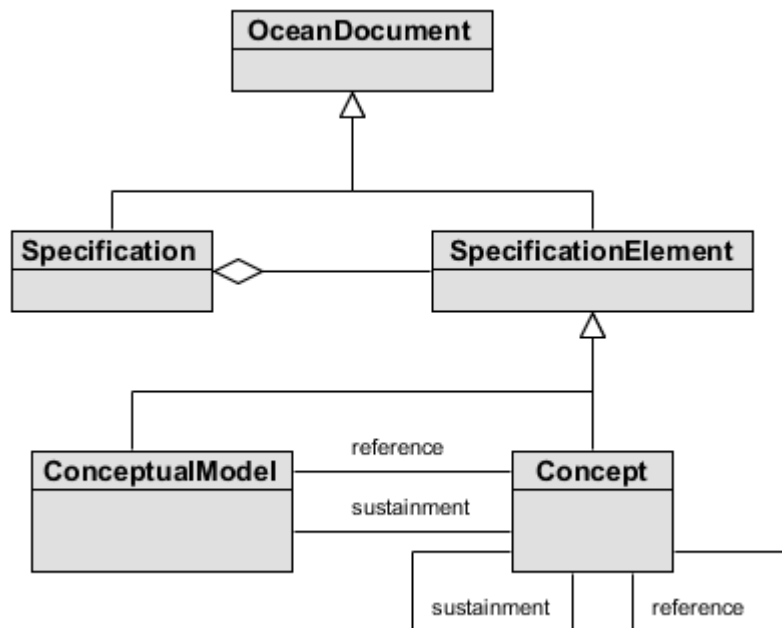


Figura 63 – Meta-modelo do ambiente SEA (SILVA, 2000)

É possível realizar um mapeamento do meta-modelo do ambiente SEA para o meta-modelo da UML. Cada elemento do meta-modelo da UML é representado por um conceito e os diagramas da UML são os modelos. Um diagrama da UML contém um conjunto de elementos, os quais podem estar associados. Na linguagem do SEA, um modelo contém um conjunto de conceitos com relacionamentos de referência ou sustentabilidade. Por exemplo, o diagrama de classe é um modelo que contém conceitos como classe, atributo e método. O diagrama de sequência também é um modelo e contém conceitos como linha de vida, mensagem, invariante de estado, etc.

Com a definição do mapeamento entre os elementos do meta-modelo SEA para o meta-modelo da UML, é necessário uma classe que implemente o algoritmo de composição: a classe *AspectComposer*. O algoritmo de composição tem duas atividades: **match** e **merge**. A primeira atividade localiza os conceitos selecionados no modelo núcleo pelos pontos de corte ou introduções definidas nos modelos entrecortantes. A atividade de *merge* injeta a estrutura ou o comportamento dos modelos entrecortantes no modelo núcleo, fornecendo como resultado um modelo composto. A ferramenta SEA/Aspect permite a composição automática de diagramas de classe e de sequência.

A composição de diagramas de classe faz uma comparação por nome para selecionar os elementos impactados e tem os seguintes passos:

- **Comparação e Seleção:** Utiliza uma estratégia que compara diretamente o nome entre aspectos, classes, atributos e métodos. O algoritmo procura por elementos que estejam associados com o estereótipo *ClassExtension* nos modelos entrecortantes. Um conceito marcado com este estereótipo contém introduções (com o estereótipo *Introduction*) para serem adicionadas em outros conceitos. Essas introduções podem ser a adição de campos (métodos ou atributos), mudança na hierarquia de herança ou a implementação de uma interface.
- **Composição:** Quando os conceitos impactados são localizados, o compositor executa uma operação de composição entre os modelos entrecortantes e o modelo núcleo. Esta composição produz um modelo composto com os campos, relacionamentos de generalização e realização adicionados aos conceitos impactados no modelo núcleo. Esta operação de composição é realizada utilizando o meta-modelo do ambiente SEA, o qual permite a adição, remoção e modificação de relacionamentos entre conceitos dinamicamente.

A figura 65 apresenta um modelo composto originado pela composição de dois modelos estruturais (diagramas de classe). O primeiro diagrama é modelado na figura 57 e apresenta o interesse entrecortante que adiciona a funcionalidade de um objeto ter seu estado copiado para outro objeto utilizando a interface *ICopyable*. O interesse núcleo é modelado pelo diagrama na figura 64 e modela a estrutura de classes necessária para realizar a reserva de um quarto de hotel. Este modelo contém a classe *Room* com o método *updateAvailability()* e a classe *ReserveRoomHandler* com o método *makeReservation()*. O algoritmo de composição de diagrama de classes começa selecionando elementos do modelo núcleo que são impactados pelos modelos entrecortantes (comparação direta por nome). Neste primeiro filtro, verifica-se que somente a classe *Room* está presente em ambos os modelos, logo, esta classe pode ter alguma mudança na sua estrutura. Verifica-se que a classe *Room* está marcada com o estereótipo *ClassExtension*, o que significa que a mesma sofrerá a introdução de algum membro presente no modelo entrecortante. O próximo passo do algoritmo é buscar por estereótipos do tipo *Introduction*. Ao executar este passo, seis estereótipos são encontrados, sendo dois que adicionam um relacionamento de realização de interface entre as classes *Room* e *Reservation* com a nova interface *ICopyable*, e quatro estereótipos que adicionam os métodos *copy()* e *deepCopy()* nas classes *Room* e *Reservation*. Neste exemplo de composição, apenas a classe *Room* será modificada pelas introduções do modelo entrecortante. Ao final, o modelo composto contém a classe *Room* com dois novos métodos: *copy()* e *deepCopy()* e implementando a interface *ICopyable*. A classe *ReserveRoomHandler* não foi modificada com a composição, pois o modelo entrecortante não introduz nenhuma modificação para esta classe.

A composição de diagramas de sequência realiza a comparação entre conceitos utilizando expressões regulares (*wildcard matching*) e tem os seguintes passos:

- **Comparação e Seleção:** Com os modelos núcleo e entrecortantes selecionados pelo desenvolvedor, o algoritmo de composição busca pelos pontos de junção do modelo núcleo que são impactados pelos pontos de corte definidos nos modelos entrecortantes. A busca pode ser separada em três passos:

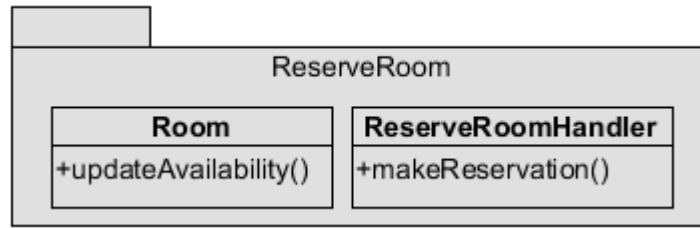


Figura 64 – Modelo núcleo para reserva de quarto

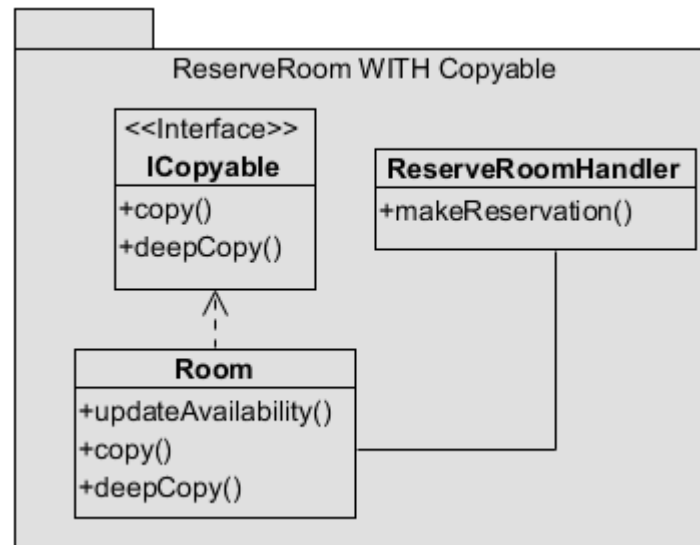


Figura 65 – Composição do modelo núcleo com o modelo entrecortante para cópia de estado entre objetos

1. **Obtenção do Ponto de Corte:** Para obter o ponto de corte do diagrama de sequência do interesse entrecortante (modelo entrecortante), o algoritmo busca por invariantes de estado com o estereótipo *AdviceExecutionType*. Este tipo de invariante de estado está associada a um estado que define um ponto de corte.
2. **Separação do Ponto de Corte:** O algoritmo de composição de aspectos utiliza uma expressão regular para separar o ponto de corte em quatro partes: **tipo de ponte de corte**, **padrão de tipo de retorno**, **padrão de identificação** e *padrão de exceção*. O tipo de ponto de corte é mandatório e pode ser um dos tipos suportados pela linguagem AspectJ, os quais incluem *execution*, *this*, *target*, *call*, entre outros. O padrão de tipo de retorno é opcional e especifica o tipo de retorno de um ponto de corte. Um método pode retornar um objeto de um determinado tipo, pode não ter nenhum retorno ou pode aceitar qualquer tipo de retorno. O padrão de identificação também é mandatório e contém a assinatura do conceito que deve ser comparada e encontrada no modelo núcleo. Um exemplo de padrão de identificação é a captura de todos os métodos que começam com a palavra *update*. Finalmente, o padrão de exceção é opcional e é utilizado para capturar os pontos de execução os quais lançam exceção de algum tipo especificado pelo padrão.
3. **Comparação e Seleção de Pontos de Junção:** A estratégia de composição utiliza expressões regulares para comparar e selecionar quais pontos de junção são impactados pelos pontos de corte definidos nos modelos entrecortantes. Esta comparação suporta pontos de corte especificados através de *wildcards*, que é uma importante funcionalidade das linguagens para programação orientada a aspectos. O algoritmo começa utilizando o padrão de identificação para encontrar o contexto no qual os conceitos impactados estão envolvidos, como o pacote e a classe de um dado método, por exemplo. Quando todos os conceitos dentro de um dado

contexto são capturados, o algoritmo utiliza outra expressão regular para selecionar os nomes dos conceitos capturados. Por exemplo, ao comparar e selecionar um método, o algoritmo verifica o tipo de retorno, os parâmetros (nome, tipo e número de parâmetros) e a assinatura do método. Finalmente, o algoritmo verifica se alguma exceção é lançada. Como saída, os conceitos (classes e métodos) impactados pelos modelos entrecortantes são armazenados para serem usados posteriormente na atividade de composição.

- **Composição:** Esta etapa compõe os conceitos dos modelos entrecortantes com os conceitos dos modelos núcleo selecionados. O algoritmo recebe como entrada os conceitos impactados do modelo núcleo que devem ser compostos com conceitos dos modelos entrecortantes. O objetivo desta atividade é a injeção de um conjunto de mensagens, linhas de vida, fragmentos combinados e outros elementos do diagrama de sequência no diagrama de sequência núcleo (modelo núcleo), adicionando comportamento definido nos diagramas de sequência dos interesses entrecortantes (modelos entrecortantes). O ambiente SEA facilita a composição de conceitos, como a adição ou remoção de mensagens entre objetos, adição de novos objetos em um diagrama de sequência, etc. O algoritmo de injeção de mensagens entre modelos pode ser separado em dois passos:

1. **Obtenção do Tipo de Execução do Aviso:** Obtém-se o tipo de execução do aviso a partir do valor rotulado da invariante de estado selecionada. Os tipos de aviso suportados são: antes, durante e depois e os mesmos são definidos pelo valor rotulado *adviceType*. O tipo de aviso fornece informações de quando as mensagens serão executadas no diagrama de sequência núcleo.
2. **Injeção de Mensagens:** Neste momento, o algoritmo já sabe quais são os conceitos impactados, as mensagens a serem injetadas do modelo entrecortante no modelo núcleo e em qual ponto do tempo as mensagens devem ser injetadas. O próximo passo é a injeção de mensagens e o reordenamento do diagrama de sequência, pois a injeção de uma mensagem dispara um evento de reordenamento. Com todas as mensagens injetadas e ordenadas, o algoritmo modifica a cor de fundo de cada mensagem com a cor associada ao respectivo interesse entrecortante, para diferenciar quais mensagens são provenientes de qual aspecto. A composição produz como saída um diagrama de sequência composto com os conceitos entrecortantes compostos no diagrama de sequência núcleo.

#### 4.2.1.3 Ordem de Precedência

A composição de modelos entrecortantes em um modelo núcleo pode gerar diferentes resultados dependendo da ordem de precedência dos interesses. É possível definir a ordem de precedência entre aspectos utilizando a linguagem AspectJ, com o objetivo de determinar qual aspecto tem precedência perante outro aspecto ou perante todos os outros aspectos do sistema. Logo, uma abordagem para especificação e modelagem de sistemas orientados a aspectos deve fornecer uma maneira de tornar determinística a composição de modelos. O problema de precedência ocorre quando em aspectos diferentes, pontos de corte impactam o mesmo ponto de junção. A linguagem não consegue determinar as mensagens de qual aspecto terão preferência e serão compostas primeiro. A ordem de precedência envolve os três tipos de aviso: antes, durante ou depois e tem as seguintes regras:

1. **Antes:** Um aspecto com maior precedência executa seus avisos do tipo antes em um ponto de junção antes de outros aspectos com menor precedência.
2. **Depois:** Um aspecto com maior precedência executa seus avisos do tipo depois em um ponto de junção depois de outros aspectos com menor precedência.
3. **Durante:** Um aspecto com maior precedência executa seus avisos do tipo durante antes de outros aspectos com menor precedência. Além disso, este aspecto tem o controle de permitir a execução de outros avisos ou não.



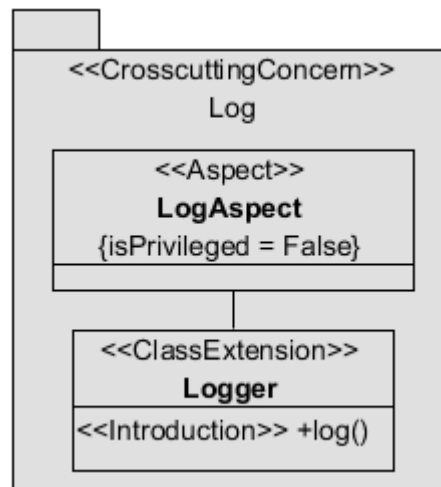


Figura 66 – Definição da aspecto para registro de mensagens

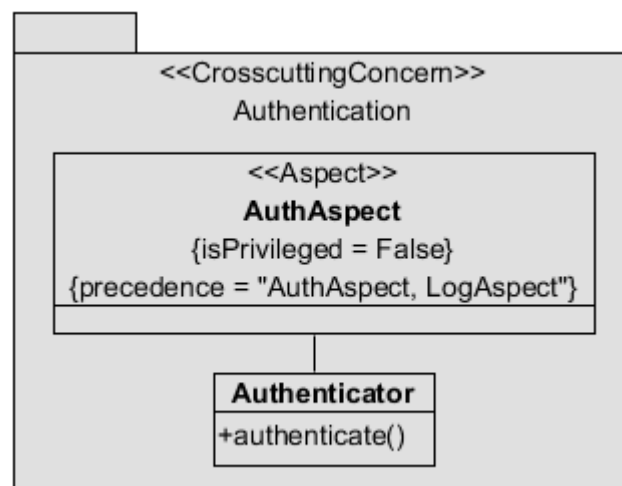


Figura 67 – Definição da aspecto para autenticação

O Perfil UML proposto por esta dissertação adiciona o valor rotulado *precedence* ao estereótipo *Aspect*. Este valor rotulado define a ordem de precedência entre aspectos. O tipo deste valor rotulado é um texto, que contém o nome dos aspectos os quais terão a precedência definida. É possível utilizar expressões regulares na declaração de precedência de aspectos para especificar que um determinado aspecto deve preceder qualquer outro aspecto do sistema, ou, que um determinado aspecto deve ter menor prioridade do que qualquer outro aspecto. A ordem de precedência é maior da esquerda para a direita na definição de aspectos. Aspectos com a mesma ordem de precedência, ou sem ordem de precedência definida, serão compostos seguindo a ordem de especificação dos modelos na modelagem.

A seguir apresenta-se um exemplo de definição de precedência entre dois aspectos: um aspecto para registro de mensagens (que pode ser visualizado na figura 66) e outro aspecto para autenticação de usuário, apresentado na figura 67. O aspecto de autenticação de usuário tem maior precedência ao aspecto de registro de mensagens. Para definir essa restrição na modelagem, o aspecto de autenticação atribui o valor *'AuthAspect, LogAspect'* ao valor rotulado *precedence*. Esta definição representa que as modificações estruturais e comportamentais propostas pelo aspecto *AuthAspect* terão precedência perante as modificações do aspecto de registro de mensagens *LogAspect*.

#### 4.2.1.4 Visualizador de Aspectos

O perfil UML e o algoritmo de composição implementado na ferramenta SEA/Aspect permitem o intercâmbio de visões de diferentes interesses em uma modelagem. A visualização do comportamento dos aspectos (interesses entrecortantes) nas funcionalidades núcleo de um sistema facilita a compreensão e a manutenção de sistemas orientados a aspecto nas primeiras fases de desenvolvimento, permitindo que o desenvolvedor compreenda a ordem de execução do sistema observando modelos. Um dos obstáculos das abordagens orientadas a aspectos é a dificuldade de compreensão do sistema, já que é difícil entender o fluxo de execução sem ferramentas adicionais. O visualizador pode ser utilizado na etapa de modelagem, permitindo compreender o sistema em um mais alto nível de abstração.

O visualizador de aspectos permite selecionar um interesse núcleo e um conjunto de interesses entrecortantes para serem visualizados em um mesmo modelo. O objetivo principal deste visualizador é verificar como fica o comportamento do sistema após a adição de um ou mais aspectos. Sem o auxílio do visualizador, o efeito dos aspectos só pode ser visualizado ao executar o sistema, ou, utilizando ferramentas adicionais para visualização em nível de código.

A figura 68 apresenta um modelo composto, que permite a visualização do efeito de um aspecto para registro de mensagens (*log*) em um interesse para reserva de quartos de um sistema de gerenciamento de hotel. Esta configuração de visões é uma composição entre o interesse para reserva de quarto e o interesse de registro de mensagens. Observa-se nesta composição que as mensagens do interesse para reserva de quartos (*makeReservation()* e *updateAvailability()*) não estão com nenhuma cor de fundo. Já a mensagem do interesse de registro de mensagens (*log()*) está com o fundo vermelho, pois foi a cor associada a este interesse. Esta diferenciação é importante para diferenciar quais mensagens vem de qual interesse no modelo composto. As mensagens que estão com a cor vermelha são provenientes do aspecto para registro de mensagens, logo, estas mensagens representam o efeito do aspecto no sistema principal. Observa-se um seletor de modelos na parte inferior esquerda do diagrama de sequência composto. Este seletor permite selecionar quais interesses são visualizados em uma mesma composição. Assim, é possível visualizar o efeito de um ou mais aspectos ao mesmo tempo.

O próximo capítulo apresenta dois estudos de caso que detalham a composição e visualização de um ou mais interesses entrecortantes (aspectos) em um mesmo interesse núcleo.

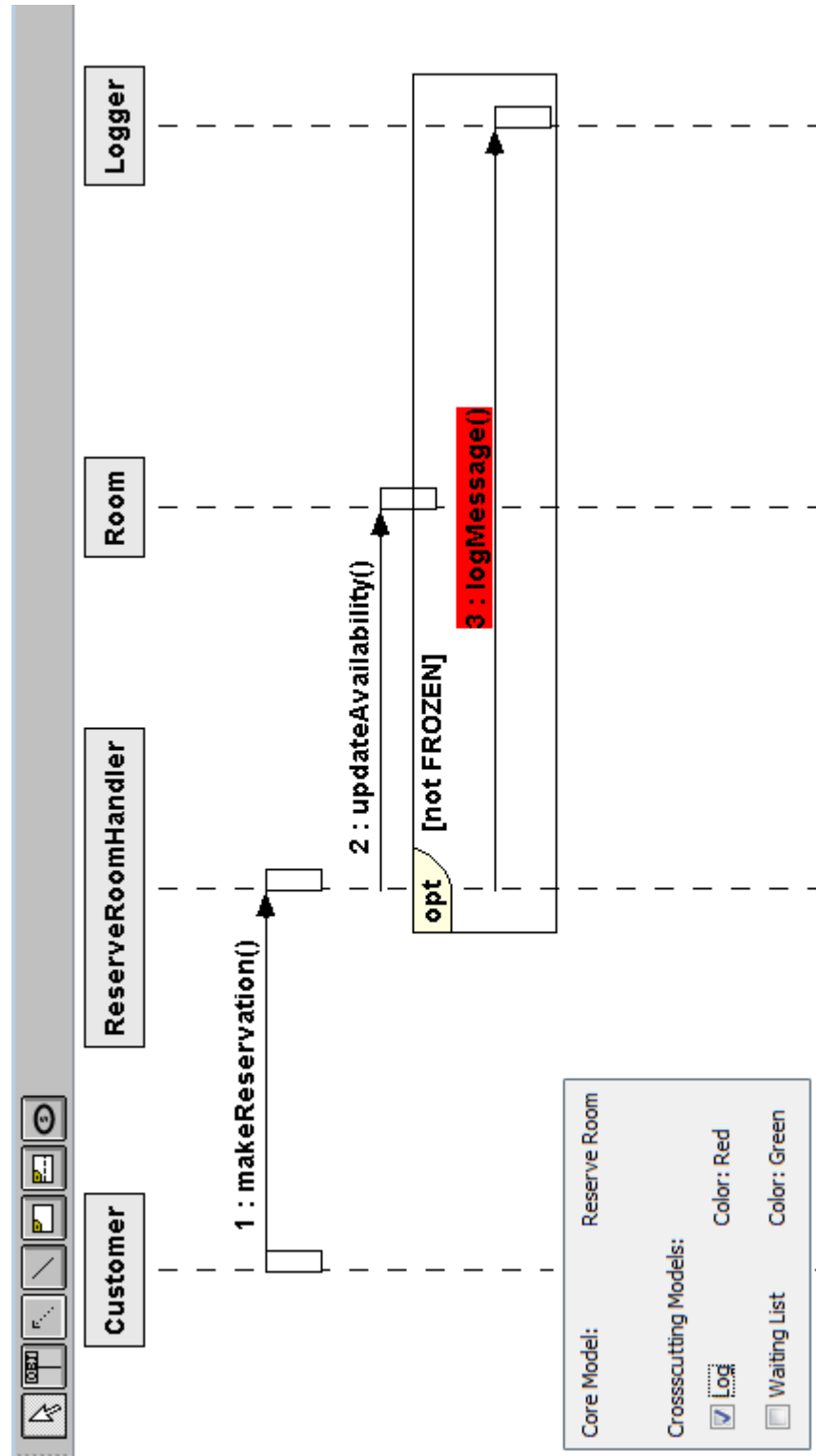


Figura 68 – Reserva de quarto composto com registro de mensagens



## 5 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta dois estudos de caso para verificar a aplicabilidade da abordagem proposta na modelagem de interesses de uma aplicação. Os estudos de caso são baseados no sistema para gerenciamento de hotel proposto por Jacobson (JACOBSON; NG, 2004). Este exemplo possibilita a modelagem de importantes funcionalidades de aspectos e foi utilizado para validar a abordagem de Jacobson. Os casos de uso tratados pelos estudos de caso são: reserva de quartos, tratamento de uma lista de espera para clientes, registro de mensagens, *check-out* de clientes e o acúmulo de pontos em um programa de fidelidade.

Os estudos de caso tratam da composição automática de modelos comportamentais, isto é, da composição de diagramas de sequência. O algoritmo de composição para diagramas de sequência utiliza estereótipos e valores rotulados dos diagramas de classe. Por este motivo, modela-se também a estrutura dos interesses de cada estudo de caso. Diagramas de sequência são utilizados para representar o comportamento dos interesses núcleo e entrecortantes, usando o perfil UML e o processo proposto por esta abordagem. A modelagem de interesses usando diagramas comportamentais da UML fornece subsídios para realizar a troca de visões, a qual permite uma melhor compreensão de aplicações orientadas a aspectos, visualizando o efeito dos aspectos no sistema. O diagrama de classes é utilizado para modelar a estrutura dos interesses núcleo e entrecortantes.

A próxima seção apresenta o primeiro estudo de caso, que trata da composição de dois interesses entrecortantes (registro de mensagens e adição de clientes em uma lista de espera) com um interesse núcleo para reserva de quartos. O segundo estudo de caso especifica a composição de um interesse para acúmulo de pontos em um programa de fidelidade e o interesse de registro de mensagens com um interesse núcleo para realizar o *check-out* de clientes.

### 5.1 ESTUDO DE CASO: RESERVA DE QUARTO, REGISTRO DE MENSAGENS E LISTA DE ESPERA

O primeiro estudo de caso envolve três interesses do sistema:

- **Reserva de Quartos:** Um cliente pode reservar um quarto, se o mesmo estiver disponível.
- **Registro de Mensagens:** O sistema registra as mensagens executadas em determinados componentes.
- **Lista de Espera:** Um cliente pode ser colocado em uma lista de espera quando um quarto não estiver disponível para reserva imediata.

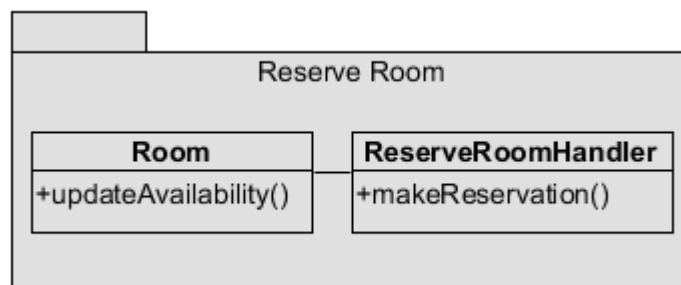


Figura 69 – Modelagem estrutural: reserva de quarto

A modelagem de um interesse começa com a criação de um diagrama de classes que representa a sua estrutura. As classes e os aspectos que representam o interesse ficam agrupadas dentro de um pacote da UML. Se o interesse for do tipo entrecortante, este pacote é marcado com o estereótipo *Crosscutting-Concern*. No caso do interesse ser do tipo núcleo, o pacote não é estereotipado. O diagrama de classes

da figura 69 representa a estrutura do interesse para reserva de quartos. A modelagem estrutural do interesse para reserva de quarto contém a classe *Room* com o método *updateAvailability()* para atualizar a disponibilidade de um quarto. Este interesse também tem a classe *ReserveRoomHandler* com o método *makeReservation()*, responsável por realizar a reserva de um quarto.

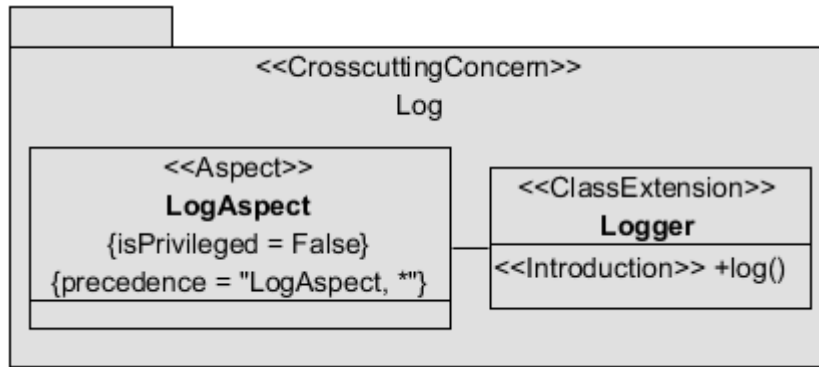


Figura 70 – Modelagem estrutural: registro de mensagens

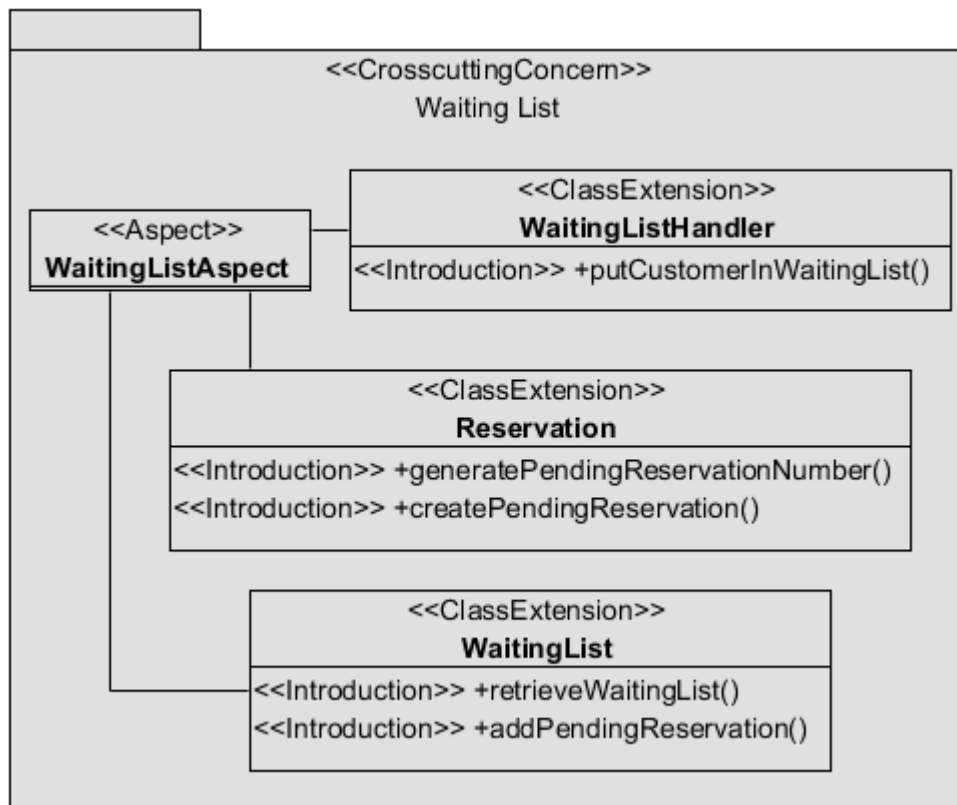


Figura 71 – Modelagem estrutural: lista de espera

O segundo interesse modelado é o interesse entrecortante para registro de mensagens. Este interesse impacta vários componentes do sistema e é marcado com o estereótipo *CrosscuttingConcern*, para representar que o mesmo é entrecortante. A figura 70 apresenta a modelagem deste interesse. O interesse contém a classe *Logger*, responsável por registrar as mensagens através do método *log()*. A classe *Logger* é marcada com o estereótipo *ClassExtension*, pois é uma nova classe no sistema. O método *log()* é estereotipado com *Introduction*, pois é um método que está sendo inserido pelo interesse entrecortante para registro de mensagens. O aspecto *LogAspect* é o aspecto que define os pontos de corte e avisos

modelados nos diagramas de máquina de estados e nos diagramas de sequência. Existe uma associação entre o aspecto *LogAspect* e a classe *Logger*, pois o aspecto é o componente responsável por introduzir esta nova classe no sistema. Observa-se a presença do valor rotulado *precedence* com o texto *LogAspect*, \*. Esta especificação define que o aspecto para registro de mensagens tem precedência perante todos os outros aspectos do sistema (símbolo \*), isto é, as mensagens deste aspecto serão inseridas antes de outros aspectos no caso de um aviso conflitante do tipo antes. O mesmo vale para os outros tipos de aviso.

O interesse para controle de uma lista de espera de clientes é representado na modelagem da figura 71. O pacote com as classes que representam o interesse também é marcado com o estereótipo *CrosscuttingConcern*. O aspecto *WaitingListAspect* está associado com as classes *WaitingListHandler*, *Reservation* e *WaitingList*. Essas três classes são extensões a classes do sistema e estão estereotipadas com *ClassExtension*. A classe *WaitingListHandler* é a responsável pelo controle da lista de espera, com o método *putCustomerInWaitingList()*, que adiciona um cliente na lista de espera. A classe *Reservation* contém um método para criar uma reserva (*createPendingReservation()*) e outro método para gerar um número para esta reserva (*generatePendingReservationNumber()*). Finalmente, a classe *WaitingList* contém os métodos *retrieveWaitingList()*, para obter a lista de espera, e o método *addPendingReservation()* para adicionar uma reserva de um cliente. Todos os métodos pertencentes a estas classes estão estereotipados com *Introduction*, pois são introduções estruturais ao sistema de gerenciamento de hotel.

Após a modelagem da estrutura dos interesses, deve-se modelar o comportamento dos mesmos. A especificação do comportamento de um interesse núcleo envolve apenas o diagrama de sequência. Já os interesses entrecortantes devem ser modelados com um diagrama de máquina de estados para representar seus pontos de corte e um diagrama de sequência para representar a execução do comportamento do aspecto. Os pontos de corte definem quais pontos do sistema serão estendidos. O comportamento de um aspecto é representado pelos avisos associados ao mesmo. O diagrama de sequência que representa o comportamento de um aspecto, também representa a conexão entre a satisfação de um ponto de corte com a execução das mensagens do aviso de um aspecto.

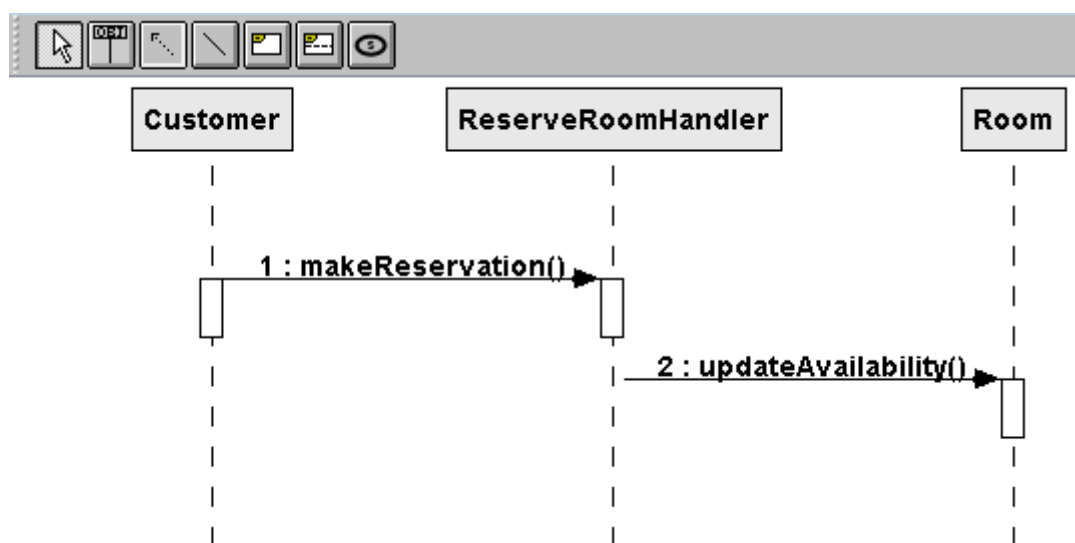


Figura 72 – Diagrama de sequência: reserva de quarto

O primeiro diagrama de sequência é o que representa a troca de mensagens do interesse núcleo para reserva de quartos. O diagrama pode ser visualizado na figura 72. Para realizar uma reserva de quarto, primeiramente realiza-se uma chamada ao método *makeReservation()* da classe *ReserveRoomHandler* que é responsável por iniciar a reserva. Após esta chamada, executa-se o método para verificar se o quarto está disponível. Se o quarto não estiver disponível, uma exceção é lançada no método *updateAvailability()*, caso contrário, a reserva é realizada e o cliente recebe um código de confirmação.

O interesse entrecortante para registro de mensagem contabiliza o número de requisições a um quarto. Para realizar este objetivo, define-se um ponto de corte que captura qualquer chamada a classes do tipo *Room*. Este ponto de corte é modelado usando o diagrama de máquina de estados da UML e pode ser visualizado na figura 73.

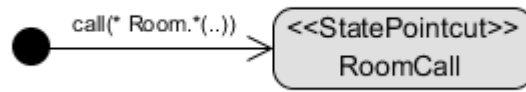


Figura 73 – Ponto de corte: registro de mensagens

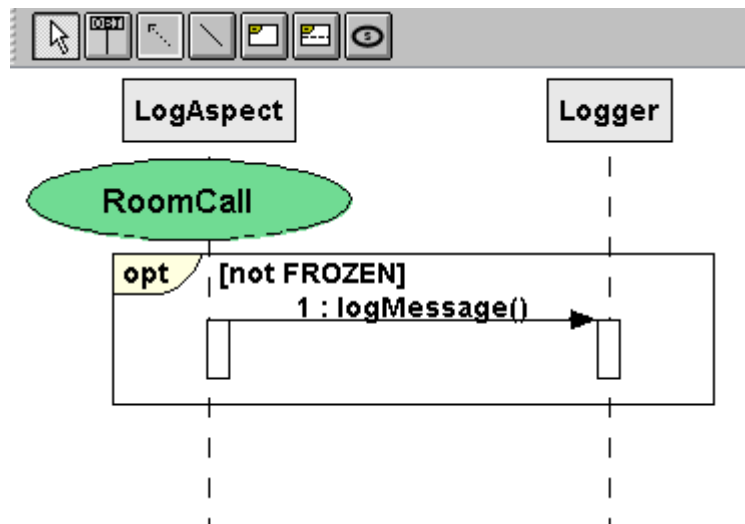


Figura 74 – Aviso: registro de mensagens

Com o ponto de corte especificado, cria-se o diagrama de sequência para representar a troca de mensagens entre objetos para realização do registro de chamadas. O diagrama pode ser visualizado na figura 74 e contém o aspecto *LogAspect* associado a primeira linha de vida do diagrama. De acordo com a abordagem proposta, um aspecto no diagrama de sequência deve ter uma invariante de estado associada, a qual é o gatilho para começar a executar a sequência de mensagens do diagrama. No exemplo em questão, a invariante de estado *RoomCall* está associada ao aspecto *LogAspect* e referencia o ponto de corte definido previamente no diagrama de máquina de estados. A semântica é que a sequência de mensagens só será executada quando o ponto de corte for satisfeito. A mensagem a ser executada é uma chamada ao método *log()* da classe *Logger*. É importante observar o tipo de aviso, que é definido como um valor rotulado na invariante de estado. O valor rotulado não está sendo mostrado no diagrama de sequência por configuração de visualização, já que por padrão os valores rotulados não são exibidos. A abordagem proposta suporta três tipos de aviso: antes, durante ou depois. Neste caso, o tipo de aviso é depois, o que significa que o comportamento de registro de mensagens somente executará após a chamada a qualquer método da classe *Room*. O diagrama de sequência contém um fragmento combinado do tipo opcional, o qual define que o registro de mensagens executará se a aplicação não estiver congelada. Uma aplicação está congelada quando está executando diretamente para o usuário e é considerada congelada no ambiente de desenvolvimento.

O requisito para criação de uma lista de espera para clientes também é um interesse entrecortante. Este interesse adiciona um cliente a uma lista de espera quando um quarto não está disponível. É necessário definir um ponto de corte que captura a tentativa de um cliente reservar um quarto, mas o quarto está indisponível. A figura 75 representa um ponto de corte para capturar as chamadas ao método *updateAvailability()* da classe *Room*, lançando a exceção *NoRoomsAvailable*. Além da definição de um ponto de corte, é necessário definir o comportamento de como um cliente é adicionado a lista de espera. O comportamento é modelado no diagrama de sequência da figura 76. O diagrama tem o aspecto *WaitingListAspect* associado a primeira linha de vida e uma sequência de mensagens para serem executadas quando o sistema lança uma exceção de quarto indisponível. Estas mensagens são executadas depois do tratamento de exceção, pois o valor rotulado que define o tipo do aviso na invariante de estado é do tipo depois.



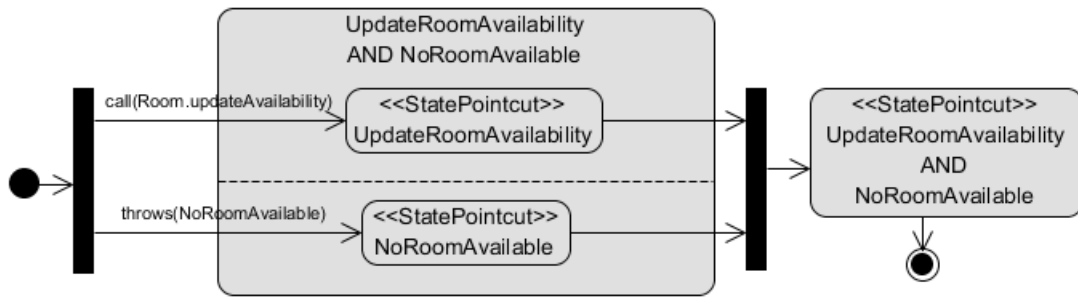


Figura 75 – Ponto de corte: controle de uma lista de espera

Depois da especificação estrutural e comportamental dos interesses núcleo e entrecortantes, o desenvolvedor pode intercambiar as visões do sistema, selecionando quais interesses deseja visualizar em um mesmo diagrama. A ferramenta SEA/Aspect permite a seleção de um ou mais modelos para serem compostos ao mesmo tempo. Uma configuração de composição é apresentada na figura 77, com os interesses para reserva de quarto, registro de mensagens e tratamento da lista de espera. O diagrama composto exibe um seletor de modelos na parte de baixo da imagem, o qual permite a troca dos modelos que estão sendo compostos. As mensagens de diferentes interesses são exibidas com cores diferentes, já que cada interesse tem uma cor associada. A mensagem do interesse de registro de mensagens (*log()*) está com o fundo vermelho. Já as mensagens do interesse para controle de uma lista de espera (*putCustomerInWaitingList()*, *retrieveWaitingList()*, *generatePendingReservationNumber()*, *createPendingReservation()* e *addPendingReservation()*) estão com o fundo verde. É importante observar que o interesse para registro de mensagens tem precedência perante o interesse para controle de uma lista de espera, por isso a mensagem *log()* foi introduzida antes das mensagens do interesse de lista de espera no diagrama de sequência composto. A ordem de precedência é definida pelo valor rotulado *precedence*, configurado ao definir a estrutura do interesse de registro de mensagens na figura 70.

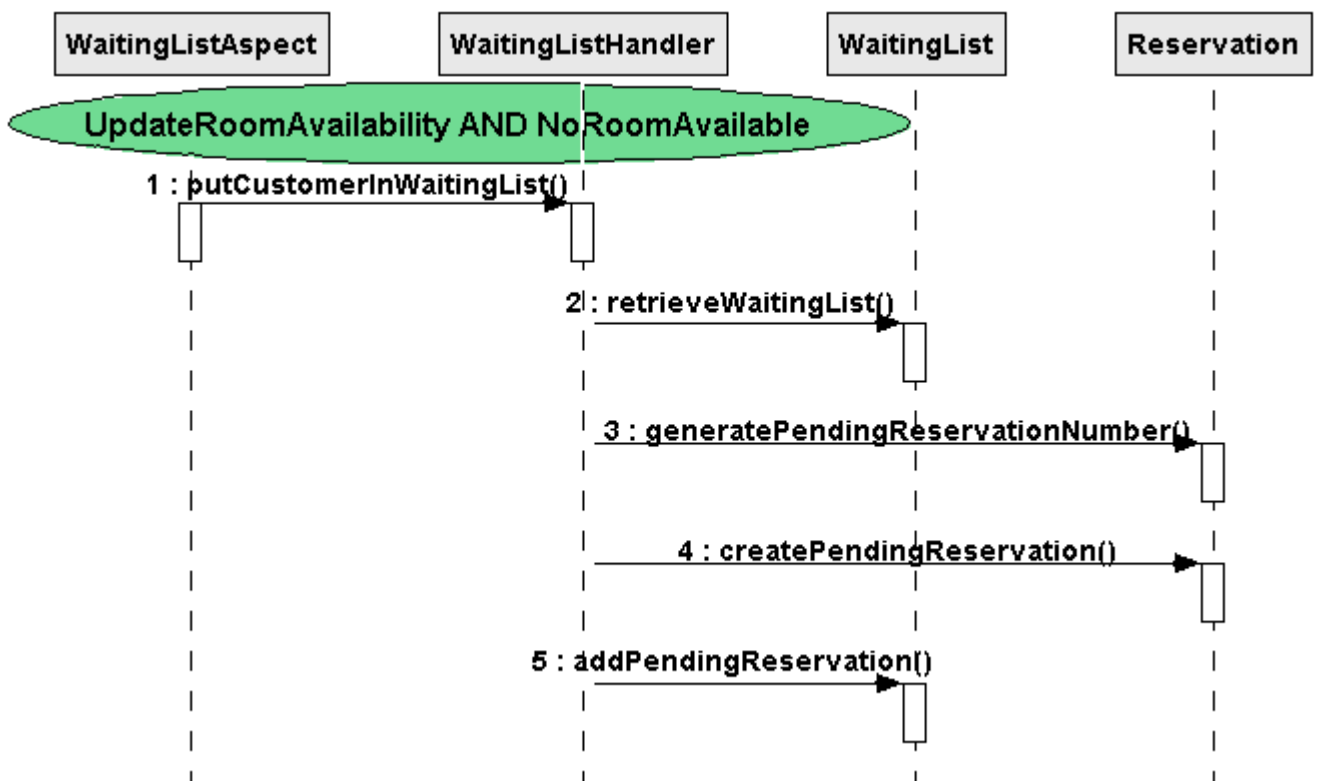


Figura 76 – Aviso: controle de uma lista de espera

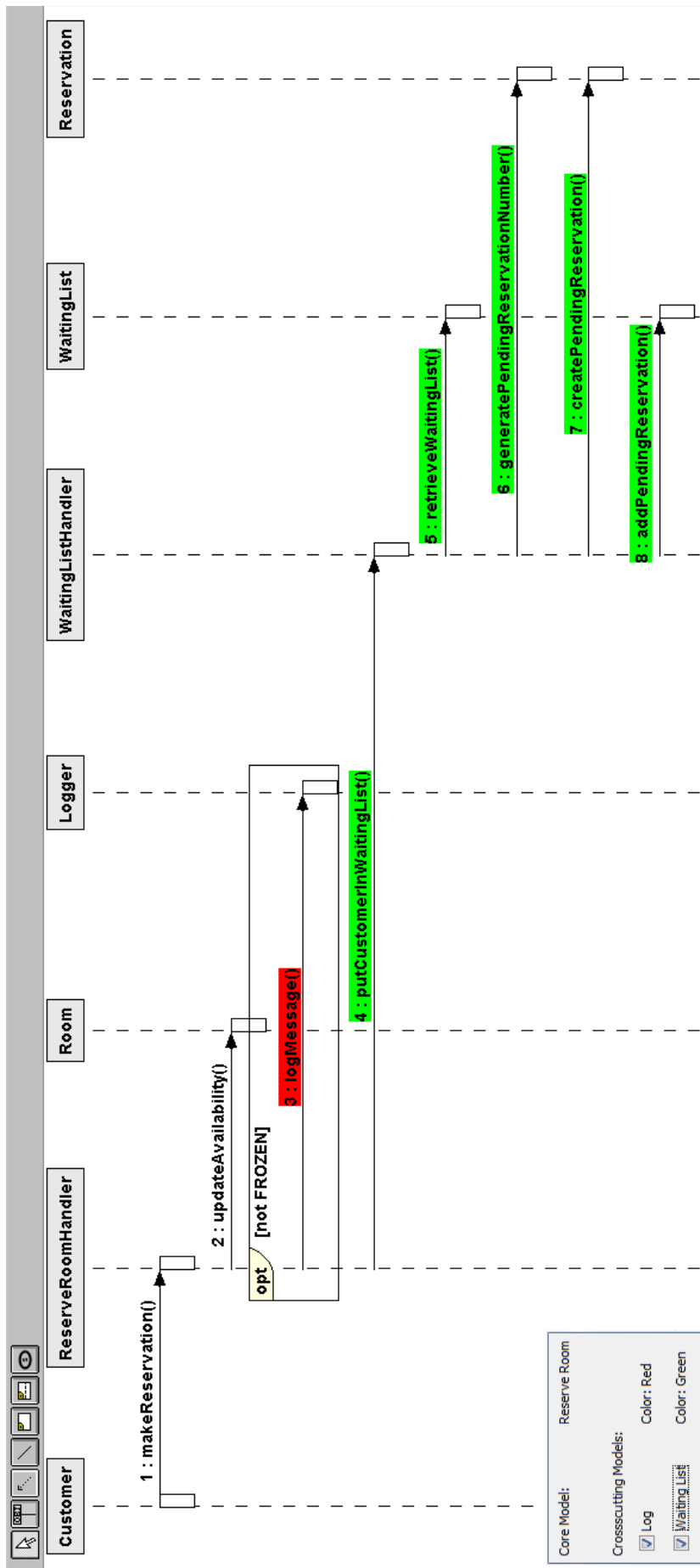


Figura 77 – Estudo de caso: reserva de quarto composto com registro de mensagens e controle de lista de espera

## 5.2 ESTUDO DE CASO: CHECK-OUT DE CLIENTES, REGISTRO DE MENSAGENS E PROGRAMA DE FIDELIDADE

O segundo estudo de caso realiza a composição de três interesses. Um dos interesses envolvido é o de registro de mensagens, apresentado no estudo de caso da seção anterior, e que não será representado nesta seção. Os outros dois interesses são:

- **Check-out de Clientes:** Um cliente do hotel pode realizar o check-out, após realizar o pagamento do quarto.
- **Programa de Fidelidade:** Após realizar o pagamento de um quarto, um cliente pode acumular pontos em um programa de fidelidade.

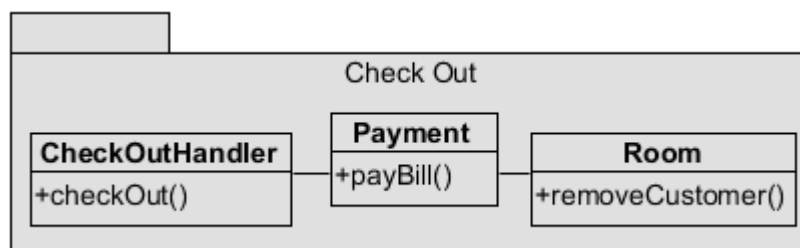


Figura 78 – Modelagem estrutural: check-out de clientes

A especificação estrutural do interesse núcleo para *check-out* de clientes pode ser visualizada na figura 78. Este interesse contém a classe *CheckOutHandler* que inicia a operação de *check-out* através do método *checkOut()*. A classe *Payment* possui o método *payBill()*, o qual permite realizar o pagamento de um quarto. A classe *Room* contém o método *removeCustomer()*, para remover um cliente da lista de hóspedes do hotel. As classes do modelo estrutural não estão estereotipadas, pois representam um interesse núcleo do sistema.

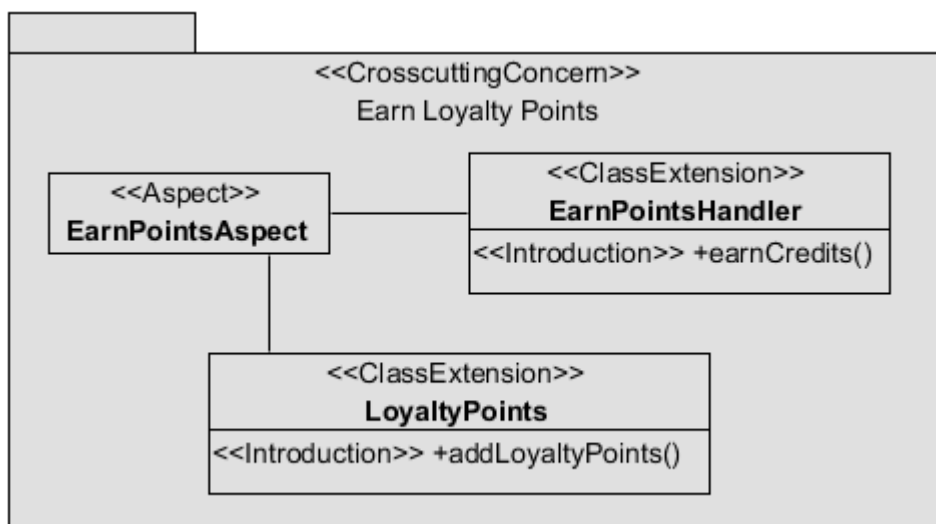


Figura 79 – Modelagem estrutural: acúmulo de pontos em programa de fidelidade

O interesse para acúmulo de pontos em um programa de fidelidade tem sua modelagem estrutural apresentada na figura 79. Este interesse é do tipo entrecortante, pois estende o sistema adicionando um novo requisito que permite o acúmulo de pontos após o pagamento de um quarto. O pacote que representa o interesse é estereotipado com o estereótipo *CrosscuttingConcern*. A modelagem estrutural contém duas

classes: *LoyaltyPoints* e *EarnPointsHandler*, marcadas com o estereótipo *ClassExtension*. A primeira classe contém o método *addLoyaltyPoints()*, que adiciona pontos ao saldo do programa de fidelidade de um determinado cliente. A classe *EarnPointsHandler* contém o método *earnCredits()*, o qual controla a operação de obtenção de pontos após o pagamento. Finalmente, o aspecto *EarnPointsAspect* contém o estereótipo *Aspect*, e introduz as mudanças estruturais propostas pelas classes deste interesse.

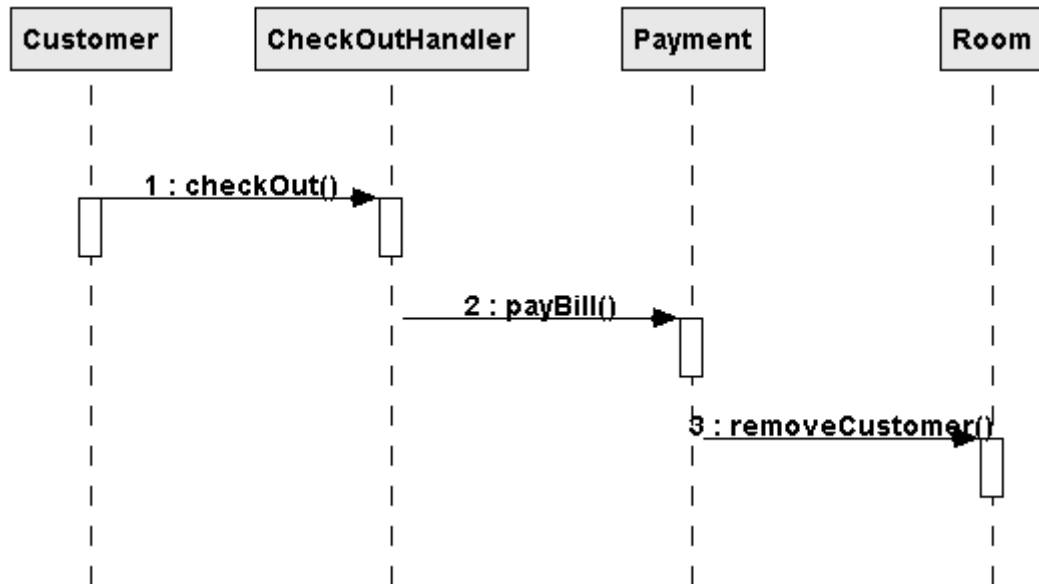


Figura 80 – Diagrama de sequência: check-out de clientes

O diagrama de sequência que representa o comportamento do interesse para *check-out* de clientes pode ser visualizado na figura 80. A troca de mensagens do diagrama de sequência inicia quando o objeto *CheckOutHandler* executa a mensagem *checkOut()*. Esta mensagem dispara a mensagem *payBill()* para realizar o pagamento da conta do cliente. Após o pagamento da conta, o cliente é removido da lista de clientes ativos através do método *removeCustomer()* da classe *Room*.



Figura 81 – Ponto de corte: programa de fidelidade

A modelagem comportamental do interesse para acúmulo de pontos em um programa de fidelidade envolve a especificação de um ponto de corte e de um aviso. O ponto de corte é especificado na figura 81. Este ponto de corte captura chamadas ao método *payBill()* da classe *Payment*. O diagrama de sequência pode ser visualizado na figura 82. Este diagrama de sequência contém a invariante de estado *BillPaid*, que está associada ao aspecto *EarnPointsAspect*. Esta invariante de estado contém o valor rotulado *adviceType* com o valor *after*. Isto significa que as mensagens só serão executadas após a satisfação do estado *BillPaid*. Após o disparo da invariante de estado, a classe *EarnPointsHandler* executa o método *earnCredits()*. Este método dispara o método *addLoyaltyPoints()* na classe *LoyaltyPoints*, que adiciona pontos ao saldo de pontos do cliente no programa de fidelidade.

A figura 83 apresenta a composição dos interesses para *check-out* de clientes, registro de mensagens e acúmulo de pontos em um programa de fidelidade. As mensagens do interesse para registro de mensagens estão com o fundo azul. Já as mensagens do programa de fidelidade estão com o fundo amarelo. O interesse núcleo não teve suas mensagens modificadas.

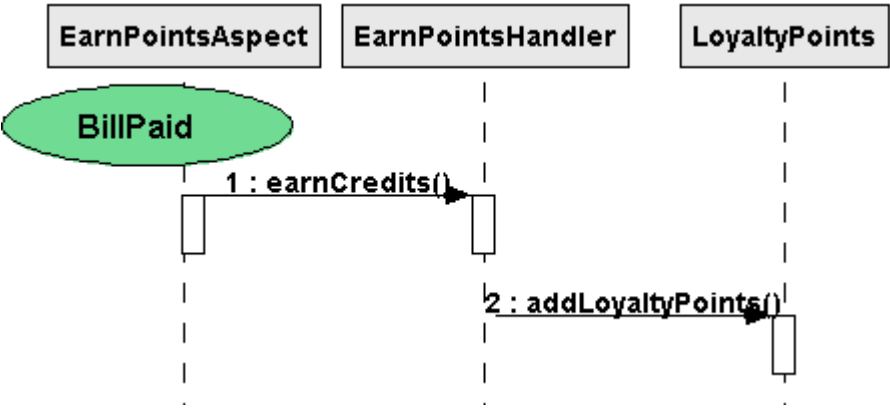


Figura 82 – Aviso: programa de fidelidade

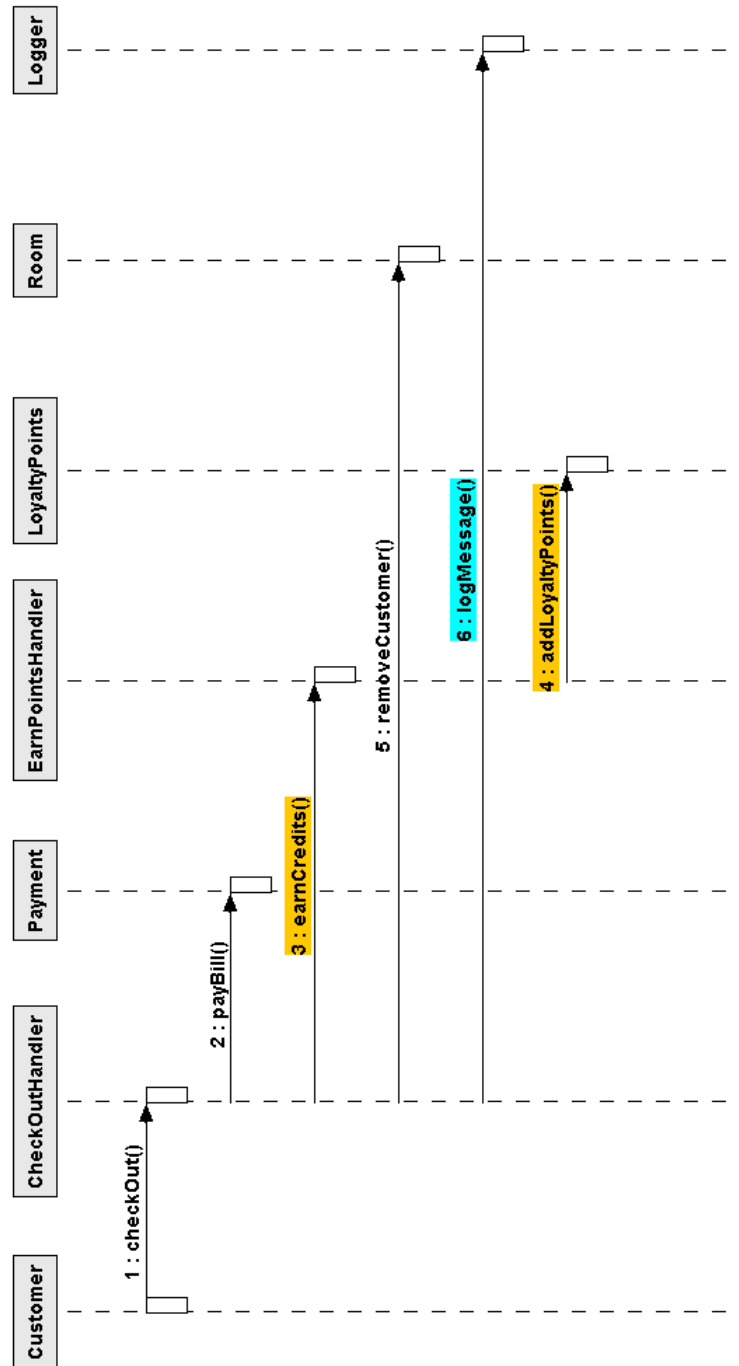


Figura 83 – Estudo de caso: check-out de clientes composto com registro de mensagens e programa de fidelidade

### 5.3 DISCUSSÃO

A aplicação da abordagem em um estudo de caso mostra como a proposta para especificação e composição de aspectos facilita a compreensão de sistemas orientados a aspectos, permitindo a alternância de visões, visualizando somente os interesses núcleo ou uma composição entre interesses núcleo e entrecortantes, sem esforço do desenvolvedor. Os modelos compostos mostram o efeito dos aspectos em um sistema, com cada aspecto diferenciado por uma única cor que o representa. A ferramenta SEA/Aspect permite a separação de interesses nas primeiras fases de desenvolvimento, o que é um dos objetivos das abordagens para modelagem de sistemas orientados a aspectos.



## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho propõe uma abordagem para modelagem de sistemas orientados a aspectos usando UML, através de um perfil UML que permite especificar a estrutura e o comportamento de sistemas orientados a aspectos. Um importante produto deste trabalho é o visualizador de aspectos no ambiente SEA: SEA/Aspect. A ferramenta SEA/Aspect realiza a composição entre modelos núcleo e entrecortantes automaticamente, permitindo a visualização da dinâmica de aspectos em um sistema.

### 6.1 PRINCIPAIS RESULTADOS

As principais vantagens da abordagem proposta em relação as outras são:

- Representação das características importantes da POA, como a captura de múltiplos pontos de junção e a representação da dinâmica de aspectos com os diagramas de máquina de estado para representar pontos de corte e os diagramas de sequência para representar avisos. Este é o primeiro trabalho que utiliza invariantes de estado para conectar a satisfação de pontos de corte com o disparo de avisos;
- Possibilidade de composição automática de pontos de corte utilizando o diagrama de máquina de estados;
- Definição de um perfil dentro dos padrões da UML, o qual pode ser adicionado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis;
- Possibilidade de composição automática e visualização dinâmica do efeito dos modelos entrecortantes (aspectos) nos modelos núcleo, que facilita a compreensão e manutenção de sistemas orientados a aspectos. A ferramenta que permite a composição e a alternância de visões pode ser adicionada a ferramentas CASE que suportem extensão funcional, que é o caso do ambiente SEA.

### 6.2 PRODUTOS DE TRABALHO

Os produtos resultantes deste trabalho de pesquisa são:

- Um perfil UML que representa as características de sistemas orientados a aspectos. Este perfil pode ser importado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis.
- Uma ferramenta (SEA/Aspect) que permite modelar um sistema orientado a aspectos, representando as características inerentes à POA, permitindo realizar a composição de aspectos e visualizar o efeito dos mesmos em modelos núcleo;
- Artigo submetido e aceito: International Conference on Computers and Their Applications (CATA) (GHILARDI; SILVA, 2013a);
- Artigo submetido e aceito: Congreso Iberoamericano en Ingeniería de Software (CibSE) (GHILARDI; SILVA, 2013b);

### 6.3 LIMITAÇÕES

O presente trabalho tem as seguintes limitações:

- A especificação de aspectos é baseada nas construções disponíveis na linguagem AspectJ. Logo, a modelagem proposta por este trabalho é dependente de plataforma.
- O perfil UML para especificação de aspectos pode ser utilizado por outras ferramentas CASE. No entanto, a ferramenta para composição de modelos só pode ser utilizada em ferramentas que suportem a extensão funcional, através de um plug-in, por exemplo.

- A aplicabilidade da abordagem proposta é verificada em dois estudos de caso propostos por Jacobson (JACOBSON; NG, 2004). Nenhum caso real foi modelado com o perfil proposto.

#### 6.4 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro sugere-se realizar um novo estudo de caso com um caso real de alguma aplicação, contendo pontos de corte mais complexos, como os que tratam do fluxo de execução (*cflow*, *cflowbelow*). Este estudo de caso pode fornecer resultados mais concretos, com o objetivo de verificar que o visualizador de aspectos facilita a compreensão e manutenção de sistemas orientados a aspectos. Também pode-se investigar a possibilidade de geração de código em AspectJ, a partir dos modelos núcleo e entrecortantes.

## REFERÊNCIAS

- ASPECTJ. *The AspectJ Project*. june 2012. <<http://eclipse.org/aspectj/>>.
- ASPECTWERKZ. *AspectWerkz 2*. october 2012. <<http://aspectwerkz.codehaus.org/>>.
- BANIASSAD, E.; CLARKE, S. Theme: An approach for aspect-oriented analysis and design. In: *Proc. Int'l Conf. Software Engineering (ICSE)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society Press, 2004. p. 158–167. ISBN 0-7695-2163-0.
- BANIASSAD, E.; CLARKE, S. Theme: An approach for aspect-oriented analysis and design. In: *Proceedings of the 26th International Conference on Software Engineering*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004. (ICSE '04), p. 158–167. ISBN 0-7695-2163-0.
- BJÖRKANDER, M. Graphical programming using uml and sdl. *Computer*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, v. 33, p. 30–35, December 2000. ISSN 0018-9162.
- BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. *Unified Modeling Language User Guide, The (2nd Edition) (Addison-Wesley Object Technology Series)*. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2005. ISBN 0321267974.
- CARTON, A. et al. Transactions on aspect-oriented software development vi. In: KATZ, S. et al. (Ed.). *AOSD*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. cap. Model-Driven Theme/UML, p. 238–266. ISBN 978-3-642-03763-4.
- COTTENIER, T. The motorola weavr: Model weaving in a large industrial context. In: *in Proceedings of the International Conference on AspectOriented Software Development, Industry Track*. [S.l.: s.n.], 2006.
- COTTENIER, T.; BERG, A. van den; ELRAD, T. Stateful aspects: the case for aspect-oriented modeling. In: *Proceedings of the 10th international workshop on Aspect-oriented modeling*. New York, NY, USA: ACM, 2007. (AOM '07), p. 7–14. ISBN 978-1-59593-658-5. <<http://doi.acm.org/10.1145/1229375.1229377>>.
- CUI, Z. et al. Modeling and integrating aspects with uml activity diagrams. In: *Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2009. (SAC '09), p. 430–437. ISBN 978-1-60558-166-8.
- ECLIPSE. *The Eclipse Project*. jan 2013. <<http://eclipse.org/>>.
- EVERMANN, J. A meta-level specification and profile for aspectj in uml. In: *Proceedings of the 10th international workshop on Aspect-oriented modeling*. New York, NY, USA: ACM, 2007. (AOM '07), p. 21–27. ISBN 978-1-59593-658-5.
- FARRINGTON, J. Seven plus or minus two. *Performance Improvement Quarterly*, John Wiley Sons, Inc., v. 23, n. 4, p. 113–116, 2011. ISSN 1937-8327.
- FLEUREY, F. et al. A generic approach for automatic model composition. In: *In Proc. AOM at MoDELS*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 2007.
- FRANCE, R. et al. Providing support for model composition in metamodels. In: *Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2007. EDOC 2007. 11th IEEE International*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 253. ISSN 1541-7719.
- GAMMA, E. et al. *Design patterns: elements of reusable object-oriented software*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995. ISBN 0-201-63361-2.
- GHILARDI, P.; SILVA, R. P. e. Automatic composition and visualization of core and crosscutting concerns in aspect modeling. In: *In: 28th International Conference on Computers and Their Applications (CATA)*. [S.l.: s.n.], 2013.

GHILARDI, P.; SILVA, R. P. e. Sea/aspect: Dynamic visualization and composition of concerns in aspect-oriented modeling (aom). In: *In: XVI Congresso Iberoamericano en Ingeniere Software (CibSE)*. [S.l.: s.n.], 2013.

ITU-T. *ITU Recommendation Z.100: The Specification and Description Language (SDL)*. [S.l.], 2000.

JACOBSON, I.; NG, P.-W. *Aspect-Oriented Software Development with Use Cases (Addison-Wesley Object Technology Series)*. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2004. ISBN 0321268881.

KICZALES, G. et al. Aspect-oriented programming. In: . [S.l.]: Springer-Verlag, 1997. p. 220–242.

KIENZLE, J. et al. Aspect-oriented design with reusable aspect models. In: KATZ, S.; MEZINI, M.; KIENZLE, J. (Ed.). *Transactions on Aspect-Oriented Software Development VII*. Springer Berlin Heidelberg, 2010, (Lecture Notes in Computer Science, v. 6210). p. 272–320. ISBN 978-3-642-16085-1. <[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16086-8\\_8](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16086-8_8)>.

KIENZLE, J.; ABED, W. A.; KLEIN, J. Aspect-oriented multi-view modeling. In: *Proceedings of the 8th ACM international conference on Aspect-oriented software development*. New York, NY, USA: ACM, 2009. (AOSD '09), p. 87–98. ISBN 978-1-60558-442-3.

KLEIN, J.; FLEUREY, F.; JÉZÉQUEL, J.-M. Transactions on aspect-oriented software development iii. In: RASHID, A.; AKSIT, M. (Ed.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. cap. Weaving multiple aspects in sequence diagrams, p. 167–199. ISBN 3-540-75161-0 , 978-3-540-75161-8.

KLEIN, J.; HÉLOUËT, L.; JÉZÉQUEL, J.-M. Semantic-based weaving of scenarios. In: *Proceedings of the 5th international conference on Aspect-oriented software development*. New York, NY, USA: ACM, 2006. (AOSD '06), p. 27–38. ISBN 1-59593-300-X. <<http://doi.acm.org/10.1145/1119655.1119662>>.

KLEPPE, A. G.; WARMER, J.; BAST, W. *MDA Explained: The Model Driven Architecture: Practice and Promise*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2003. ISBN 032119442X.

LADDAD, R. *AspectJ in Action: Practical Aspect-Oriented Programming*. Greenwich, CT, USA: Manning Publications Co., 2003. ISBN 1930110936.

MORIN, B.; KLEIN, J.; BARAIS, O. J.m.: A generic weaver for supporting product lines. In: *In: Early Aspects Workshop at ICSE*. [S.l.: s.n.], 2008.

OMG. *Unified Modeling Language (UML) Superstructure 2.4.1*. [S.l.], aug 2011.

(OMG), O. M. G. *Meta-Object Facility (MOF)*. [S.l.], aug 2011.

(OMG), O. M. G. *XML Metadata Interchange (XMI) Specification*. [S.l.], aug 2011.

(OMG), O. M. G. *Object Constraint Language (OCL) Specification*. [S.l.], jan 2012.

ORACLE. *Enterprise JavaBeans Technology*. dec 2012.

<<http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/ejb/index.html>>.

ORACLE. *Java EE*. dec 2012. <<http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/index.html>>.

OSSHER, H.; AL. et. *Hyper/J: Multi-Dimensional Separation of Concerns for Java*. 2001.

PARADIGM, V. *UML Profile Management*. dez. 2011. <<http://www.visual-paradigm.com/product/vpuml/tutorials/umlprofile.jsp>>.

PRESSMAN, R. S. *Software Engineering: A practitioner's approach*. [S.l.]: McGraw-Hill, 2001.

PROCESS, J. C. *JSR 26: UML/EJB Mapping Specification*. dec 2012.

<<http://jcp.org/en/jsr/detail?id=26>>.

REDDY, R. et al. Composing sequence models using tags. In: *9th International Workshop on Aspect-Oriented Modeling*. [S.l.: s.n.], 2006.

- REDDY, Y. R. et al. Directives for Composing Aspect-Oriented Design Class Models. *Transactions on Aspect-Oriented Software Development I*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, v. 3880, p. 75–105, 2006.
- SILVA, E. M. M. E. L. D. *Metodologia da pesquisa e elabora de disserta*. [S.l.]: UFSC, 2001.
- SILVA, R. P. e. *Suporte ao Desenvolvimento e Uso de Frameworks e Componentes*. Tese (Doutorado) — UFRGS/PPGC, march 2000.
- SILVA, R. P. E. *UML 2 em Modelagem Orientada a Objetos*. [S.l.]: Visual Books, 2007.
- SILVA, R. P. e. *UML2 em Modelagem Orientada a Objetos*. [S.l.]: Visual Books, 2007.
- STEIN, D.; HANENBERG, S.; UNLAND, R. A UML-based aspect-oriented design notation for AspectJ. In: *AOSD '02: Proceedings of the 1st international conference on Aspect-oriented software development*. New York, NY, USA: ACM, 2002. p. 106–112. ISBN 1-58113-469-X.
- STEIN, D.; HANENBERG, S.; UNLAND, R. Designing aspect-oriented crosscutting in UML. In: ALDAWUD, O. et al. (Ed.). *Workshop on Aspect-Oriented Modeling with UML (AOSD-2002)*. [s.n.], 2002. <<http://lglwww.epfl.ch/workshops/aosd-uml/Allsubs/Dominik.pdf>>.
- STEIN, D.; HANENBERG, S.; UNLAND, R. On representing join points in the uml. In: *WORKSHOP ON ASPECT-ORIENTED MODELING WITH UML*. [S.l.: s.n.], 2002.
- SYSTEMS, S. *UML Tutorial*. oct 2012. <<http://www.sparxsystems.com/uml-tutorial.html>>.
- TEAM, A. *The AspectJ Programming Guide*. dec 2012. <<http://eclipse.org/aspectj/doc/next/progguide/index.html>>.
- WIMMER, M. et al. A survey on uml-based aspect-oriented design modeling. *ACM Comput. Surv.*, ACM, New York, NY, USA, v. 43, p. 28:1–28:33, out. 2011. ISSN 0360-0300.