

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA ESTATÍSTICA**

Pedro Ghilardi

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

Florianópolis

2013



Pedro Ghilardi

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

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Pereira e Silva

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 pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação.

Florianópolis, 19 de março 2013.

---

Prof. Chefe, Dr. Ronaldo Santos Mello  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr Ricardo Pereira e Silva  
Presidente

---

Prof. Dr. Ricardo Pereira e Silva  
Orientador









## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Ricardo pela sua orientação e compreensão.







## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Separação de interesses do módulo para Reserva de Quarto .....	26
Figura 2	Fluxo de desenvolvimento de uma aplicação com aspectos .....	27
Figura 3	Identificação de pontos de junção.....	28
Figura 4	Diferença entre os pontos de junção de chamada (call) e execução (execution).....	28
Figura 5	Exemplo de código em Java. ....	29
Figura 6	Exemplo de ponto de corte. ....	30
Figura 7	Exemplo de ponto de corte utilizando wildcards.....	31
Figura 8	Exemplo de assinaturas em AspectJ. ....	32
Figura 9	Ponto de corte para captura do fluxo de execução inclusivo: cflow(). ....	33
Figura 10	Ponto de corte para captura do fluxo de execução exclusivo: cflowbelow(). ....	33
Figura 11	Exemplo de aviso com contexto de execução. ....	34
Figura 12	Introdução de métodos e atributos.....	34
Figura 13	Introdução de relacionamentos de herança. ....	34
Figura 14	Introduções de métodos e atributos para sujeito e observador. ....	36
Figura 15	Especificação do ponto de corte abstrato para capturar mudanças e implementação do aviso para atualizar observadores na ocorrência de uma mudança. ....	36
Figura 16	Aspecto abstrato para implementação do padrão de projeto Observador.....	37
Figura 17	Aspecto concreto implementando o padrão de projeto Observador em um sistema de interface gráfica. ....	38
Figura 18	Uso de estereótipos em um diagrama de classes. ....	39
Figura 19	Diagrama de Perfil para representar veículos.....	40
Figura 20	Meta-modelo da Object Management Group (OMG).....	42
Figura 21	Meta-modelo da UML. ....	43
Figura 22	Exemplo de estereótipo estendendo uma meta-classe em um diagrama de Perfil UML. ...	45
Figura 23	Perfil UML para modelagem de aspectos .....	46
Figura 24	Interesse núcleo para desenho de interface gráfica. ....	47
Figura 25	Interesse entrecortante para implementação do padrão de projeto Observador. ....	48
Figura 26	Composição do padrão observador no sistema de interface gráfica (em nível de código)... ..	48
Figura 27	Composição da parte estrutural de aspectos na ferramenta RAM .....	50
Figura 28	Aspecto para Recuperação (Garantia de Atomicidade).....	51
Figura 29	Modelo de Aspecto para Pontos de Verificação .....	52
Figura 30	modelo núcleo para Transações.....	53
Figura 31	Visão Estrutural do Modelo Final para Garantia de Atomicidade de Transações .....	54
Figura 32	Visão de Mensagens do Modelo Final para Garantia de Atomicidade de Transações .....	55
Figura 33	Visão de Estados do Modelo Final para Garantia de Atomicidade de Transações.....	56
Figura 34	modelo núcleo para realizar a transação de saque.....	58
Figura 35	Ponto de corte e aviso para capturar pontos de junção que necessitam de autorização antes de serem executados.....	58
Figura 36	Ponto de corte para capturar pontos de junção onde é necessário enviar um e-mail após a execução dos mesmos. ....	58
Figura 37	Modelo composto para transação bancária de saque com autorização e envio de e-mail. ...	59
Figura 38	Fatias de casos de uso em um sistema de gerenciamento de hotel.....	60
Figura 39	Fatia de caso de uso para o caso de uso <i>Reserve Room</i> . ....	61
Figura 40	Caso de uso de extensão <i>Handle Waiting List</i> . ....	61
Figura 41	Fatia do caso de uso de extensão <i>Handle Waiting List</i> . ....	62

Figura 42 Rastreamento completo de um requisito por todos modelos. ....	62
Figura 43 Composição entre modelos de caso de uso. ....	63
Figura 44 Diagrama de Estrutura Composta representando um servidor de recursos. ....	64
Figura 45 Diagrama de máquina de estados focado em transições para um tratador de requisições. .	65
Figura 46 Aspecto para controle de tempo ao protocolo 2PC. ....	66
Figura 47 Visualização da composição do aspecto para controle de tempo no tratador de requisições.	67
Figura 48 Meta-modelo de extensão aos diagramas de sequência da UML. ....	69
Figura 49 Exemplos de diagramas de sequência estendidos: bSD's e cSD's. ....	70
Figura 50 Exemplos de aspectos comportamentais. ....	70
Figura 51 Composição entre aspectos de registro de mensagens, segurança e atualização de interface gráfica com modelo base para autenticação de usuário. ....	71
Figura 52 Modelo Núcleo: Registro de estudante em curso. ....	72
Figura 53 Modelo Entrecortante: Registro de atividades do sistema. ....	73
Figura 54 Configuração de composição entre interesses. ....	73
Figura 55 Antes do uso de diretivas de composição para composição de aspectos. ....	75
Figura 56 Depois do uso de diretivas de composição para composição de aspectos. ....	76
Figura 57 Um modelo de aspecto segundo Stein. ....	78
Figura 58 Perfil UML para Modelagem de Sistemas Orientados a Aspectos. ....	80
Figura 59 Exemplo de Modelagem Estrutural: Interesse Entrecortante <i>Copyable</i> . ....	81
Figura 60 Definição de Dois Pontos de Corte. ....	81
Figura 61 A composição de dois pontos de corte com o operador AND. ....	82
Figura 62 A composição de dois pontos de corte com o operador OR. ....	82
Figura 63 A conexão entre pontos de corte e avisos usando invariantes de estado. ....	83
Figura 64 Seleção de Modelos Para Composição. ....	84
Figura 65 SEA meta-model. ....	85
Figura 66 Modelo núcleo para reserva de quarto. ....	86
Figura 67 Composição do modelo núcleo com o modelo entrecortante para cópia de estado entre objetos. ....	87
Figura 68 Definição da aspecto para registro de mensagens. ....	89
Figura 69 Definição da aspecto para autenticação. ....	89
Figura 70 Diagrama de Sequência: Reserva de Quarto. ....	91
Figura 71 Ponto de Corte: Registro de Mensagens. ....	92
Figura 72 Aviso: Registro de Mensagens. ....	92
Figura 73 Ponto de Corte: Controle de uma Lista de Espera. ....	93
Figura 74 Aviso: Controle de uma Lista de Espera. ....	94
Figura 75 Estudo de Caso: Reserve de Quarto composta com Registro de Mensagens. ....	95
Figura 76 Estudo de Caso: Reserve de Quarto composta com Registro de Mensagens e Controle de Lista de Espera. ....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tipos de Pontos de Junção.....	31
Tabela 2	Comparação entre Abordagens AOM (1).....	99
Tabela 3	Comparação entre Abordagens AOM (2).....	100
Tabela 4	Comparação entre Abordagens AOM (3).....	100
Tabela 5	Comparação entre Abordagens AOM (4).....	100
Tabela 6	Comparação entre Abordagens AOM (5).....	100





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

POO	Programação Orientada a Objetos .....	21
POA	Programação Orientada a Aspectos .....	21
UML	Unified Modeling Language .....	22
XMI	XML Metadata Interchange .....	40
CASE	Computer Aided Software Engineering .....	40
BNF	Backus Naur Form .....	41
MOF	Meta-Object Facility .....	41
SDL	Specification and Description Language .....	63
2PC	Two Phase Commit .....	64



## LISTA DE SÍMBOLOS



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	21
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	21
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	21
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo Geral	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA	22
1.5 JUSTIFICATIVA	22
1.6 MÉTODO DE PESQUISA	23
1.7 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	23
1.8 RESULTADOS ESPERADOS	23
1.9 LIMITAÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO	24
1.10 ORGANIZAÇÃO DESTA DISSERTAÇÃO	24
<b>2 CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	25
2.1 PROGRAMAÇÃO POR ASPECTOS	25
2.1.1 Abstração de Interesses	25
2.1.2 A necessidade de aspectos	26
2.1.3 Metodologia de desenvolvimento	26
2.1.4 A linguagem AspectJ	27
2.1.4.1 Construções Dinâmicas	27
2.1.4.2 Construções Estáticas	34
2.1.4.3 Aspecto	35
2.1.4.4 Exemplo de Aspecto	35
2.2 ANÁLISE E PROJETO COM UML	38
2.2.1 Múltiplos pontos de vista de um sistema	38
2.3 UML: SEGUNDA VERSÃO	39
2.3.1 Diagramas Estruturais	39
2.3.1.1 Diagrama de Classes	39
2.3.1.2 Diagrama de Perfil	39
2.3.2 Diagramas Comportamentais	40
2.3.2.1 Diagrama de Casos de Uso	40
2.3.2.2 Diagrama de Sequência	41
2.4 META-MODELAGEM	41
2.4.1 Extensões a UML	41
2.4.1.1 Extensão pela definição de um Perfil UML	41
2.4.1.2 Extensão pela definição de um meta-modelo	44
<b>3 TRABALHOS RELACIONADOS</b>	45
<b>4 ESPECIFICAÇÃO E MODELAGEM DE SISTEMAS ORIENTADOS A ASPECTOS</b>	79
4.1 ESPECIFICAÇÃO DE SISTEMAS ORIENTADOS A ASPECTOS	79
4.1.1 Especificação Estrutural	79
4.1.2 Especificação Comportamental	80
4.2 VISUALIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO AUTOMATIZADA DE ASPECTOS	83
4.2.1 A Ferramenta SEA/Aspect	83
4.2.1.1 Seleção	84
4.2.1.2 Composição	84
4.2.1.3 Ordem de Precedência	88
4.2.1.4 Visualizador de Aspectos	88
<b>5 ESTUDO DE CASO</b>	91
5.1 ESTUDO DE CASO: RESERVA DE QUARTO, REGISTRO DE MENSAGENS E LISTA DE ESPERA	91
5.2 ESTUDO DE CASO: CHECK-OUT DE CLIENTES, REGISTRO DE MENSAGENS E PROGRAMA DE FIDELIDADE	97

5.3 DISCUSSÃO .....	97
<b>6 COMPARAÇÃO DE ABORDAGENS.....</b>	<b>99</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>103</b>
7.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES .....	103
7.2 PRODUTOS DE TRABALHO .....	103
7.3 LIMITAÇÕES.....	103
7.4 TRABALHOS FUTUROS .....	104
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>105</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 metodologia da pesquisa e a justificativa para realização do estudo. Ao final, apresentam-se os resultados esperados, 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 maior nível 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: as classes em um programa orientado a objetos. 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 afim 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 para permitir 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, 2007).

Em relação a modelagem de sistemas orientados a aspectos, deve-se modelar a estrutura e a dinâmica do sistema. Algumas abordagens já foram propostas para modelagem de sistemas orientados a aspectos com UML. 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 metodologia para modelar 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, automatizar parte do processo de modelagem, permitindo 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 Unified Modeling Language (UML) (UNIFIED..., ) .
- 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 programas orientados a aspectos, 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 RESULTADOS ESPERADOS

Com a conclusão desse trabalho tem-se como resultados esperados:

- Um perfil UML que permita representar as características de sistemas orientados a aspectos. Este perfil pode ser importado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis.
- Uma ferramenta que possibilite 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.

- Comparação entre este trabalho e outros propostos na literatura, de acordo com alguns parâmetros de comparação.

## 1.9 LIMITAÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO

Este trabalho é focado na linguagem AspectJ, linguagem padrão para o desenvolvimento de programas orientados a aspectos em Java. Optou-se por utilizar AspectJ, pois é uma das linguagens mais maduras do paradigma de orientação a aspectos. Além disso, esta linguagem foi a primeira linguagem que trata de aspectos, originada a partir do trabalho pioneiro sobre aspectos de Kickzales (KICZALES et al., 1997).

A ferramenta proposta neste trabalho não permitirá a geração de código na linguagem AspectJ, apenas a composição em nível de modelo, pois o foco deste trabalho é na modelagem de sistemas em alto nível de abstração, para facilitar a compreensão e manutenção de um sistema.

## 1.10 ORGANIZAÇÃO DESTA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira: 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 apresenta uma análise acerca dos trabalhos correlatos. O Capítulo 4 apresenta a metodologia de modelagem para a especificação de sistemas orientados a aspectos, incluindo o algoritmo para composição de aspectos. O Capítulo 5 apresenta 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 apresenta 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 por 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 POR 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 é possível identificá-los como: reserva de quartos, *check-in*, *check-out*, plano de fidelização, controle de acesso, garantia de *performance*, etc (??). Segundo (??), um sistema contém dois tipos de interesses:

- **Interesses núcleo:** Capturam uma funcionalidade principal e impactam apenas uma parte do sistema. São implementados em um único módulo.
- **Interesses entrecortantes** (*Crosscutting concerns*): Capturam uma funcionalidade que impactará diversas partes do sistema. São implementados em diferentes módulos.

No sistema de gerenciamento de hotel é possível classificar reserva de quartos e plano de fidelização como interesses núcleo. Controle de acesso e garantia de *performance* impactam diversas partes do sistema, por isso, são classificados como interesses entrecortantes. Controle de acesso deve verificar quais usuários podem acessar quais partes do sistema e, por isso, deve ser executado em todos os interesses núcleo. Garantia de *performance* impacta todos os outros interesses, pois para garantir *performance* todo o sistema deve ser implementado com cuidados específicos.

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 (??), 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 (??). 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.

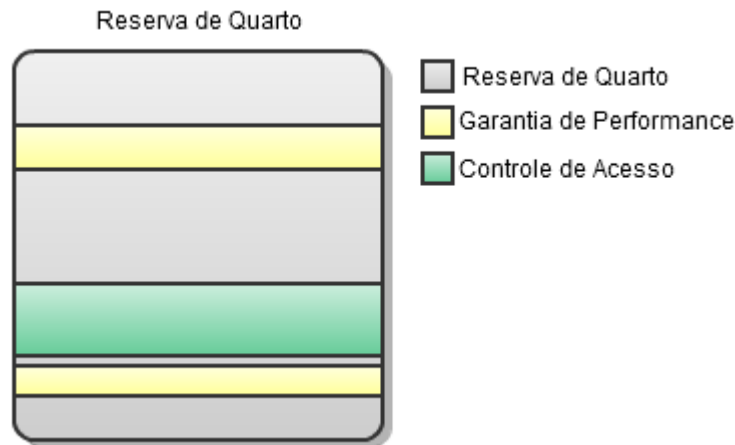


Figura 1 – Separação de interesses do módulo para Reserva de Quarto

- **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 (??).

### 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) (??) 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 (??).

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 (??), 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

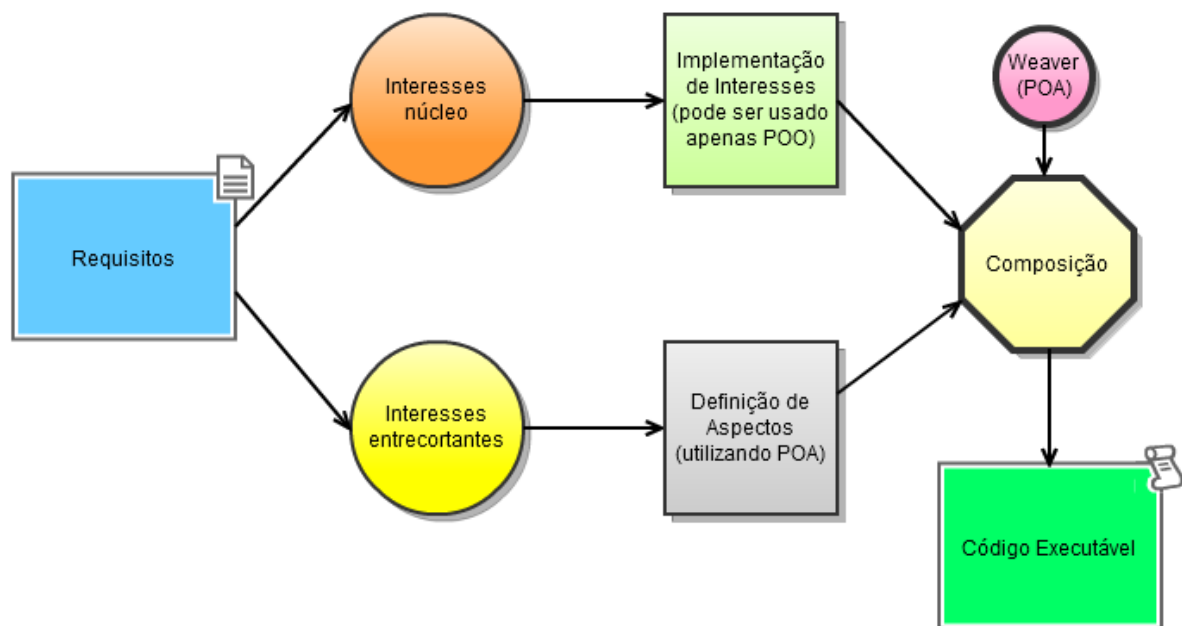


Figura 2 – Fluxo de desenvolvimento de uma aplicação com aspectos

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.

### 2.1.4 A linguagem AspectJ

A linguagem AspectJ (ASPECTJ, 2012) é uma extensão a linguagem Java para se trabalhar com 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.

#### 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 linha de vida em azul. No início da execução de **umMetodo()**, realiza-se a chamada a **outroMetodo()**. A linha de vida em verde representa a duração da execução desse método. Dentro de **outroMetodo()** o método **metodoInterno()** é chamado.

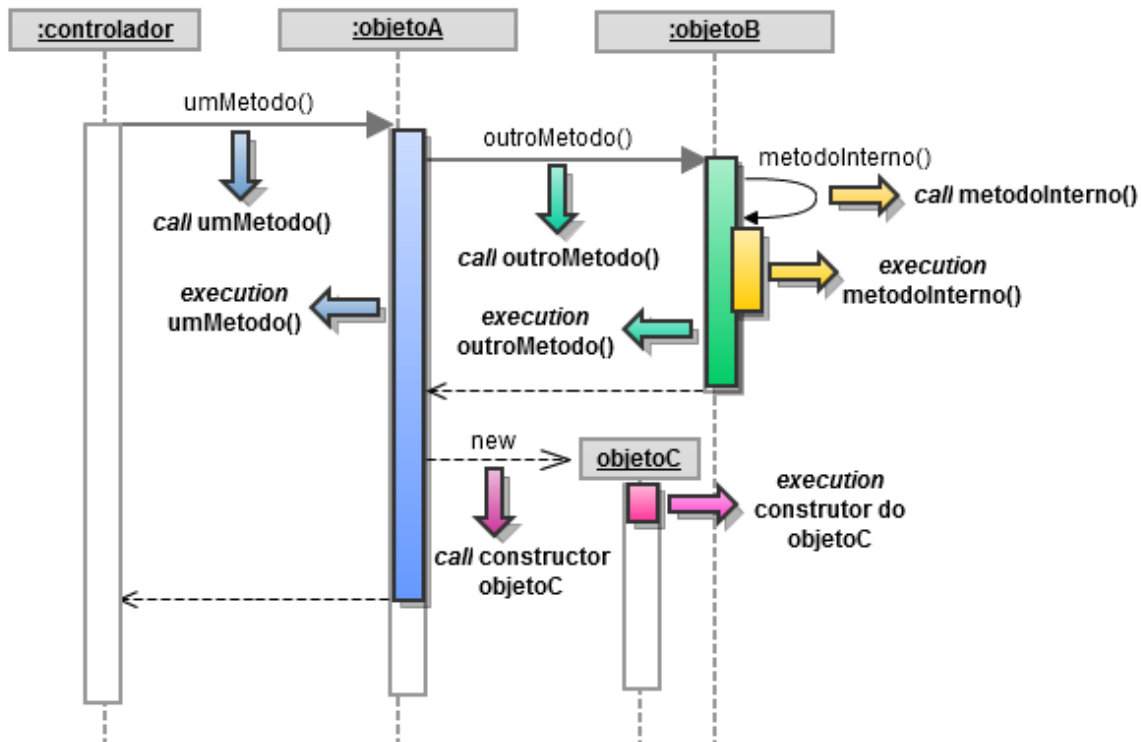


Figura 3 – Identificação de pontos de junção.

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

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

A linha de vida 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 linha de vida em rosa. Os pontos de junção *call* e *execution* são utilizados para capturar chamada e execução de métodos e construtores.

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.

Os pontos de junção que capturam a chamada e execução de métodos e construtores são os mais utilizados. No entanto, 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, embora menos utilizados, 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

```

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.

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.

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. A figura 7 mostra o ponto de corte redefinido. 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

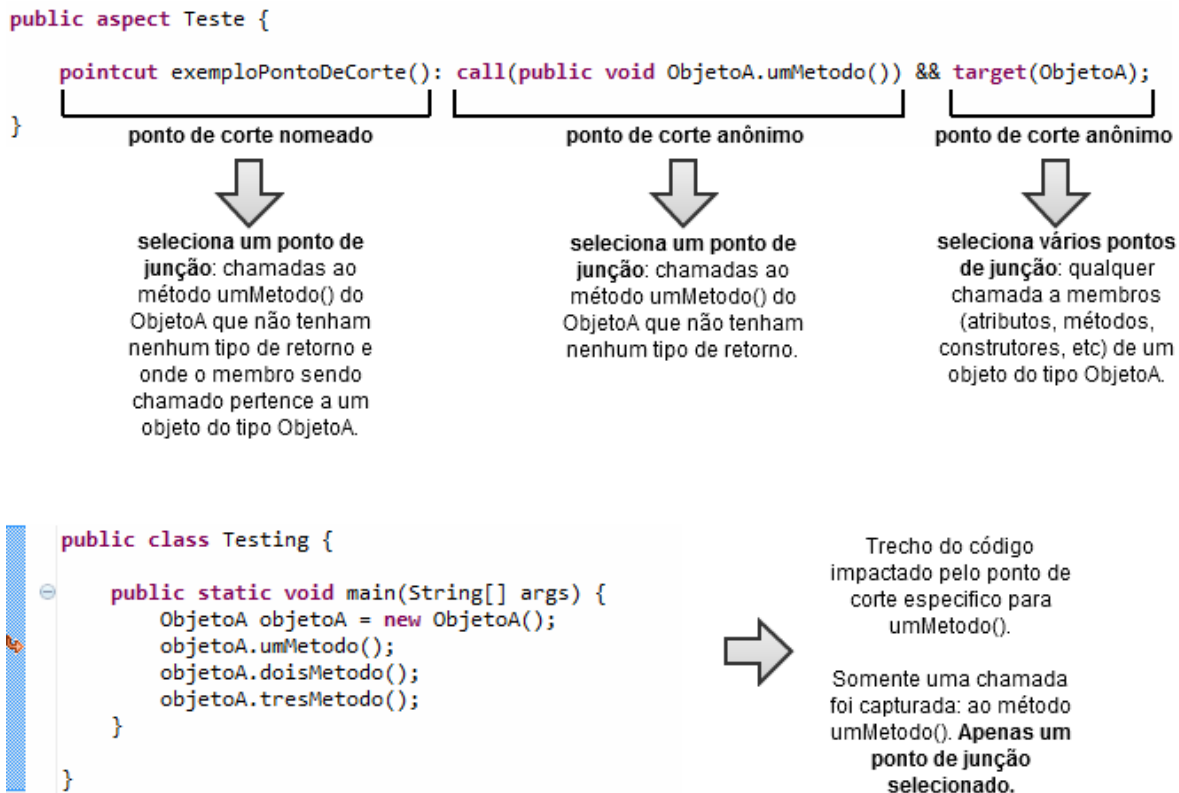


Figura 6 – Exemplo de ponto de corte.

em Java serão capturadas. No exemplo de ponte de corte da figura 6, a assinatura `public void ObjetoA.umMetodo()` permite capturar as chamadas ao método `umMetodo()` 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 8 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 `&&` utilizado nos pontos de corte dos exemplos anteriores, AspectJ disponibiliza outros operadores binários. Os operadores disponíveis podem ser visualizados na tabela 1. Esses operadores são utilizados para formar regras complexas combinando diferentes pontos de corte.

Além dos pontos de corte para captura de execução, chamada, tratamento de exceção e atribuição, existem pontos de corte para outras situações mais específicas. Os **pontos de corte para captura do**



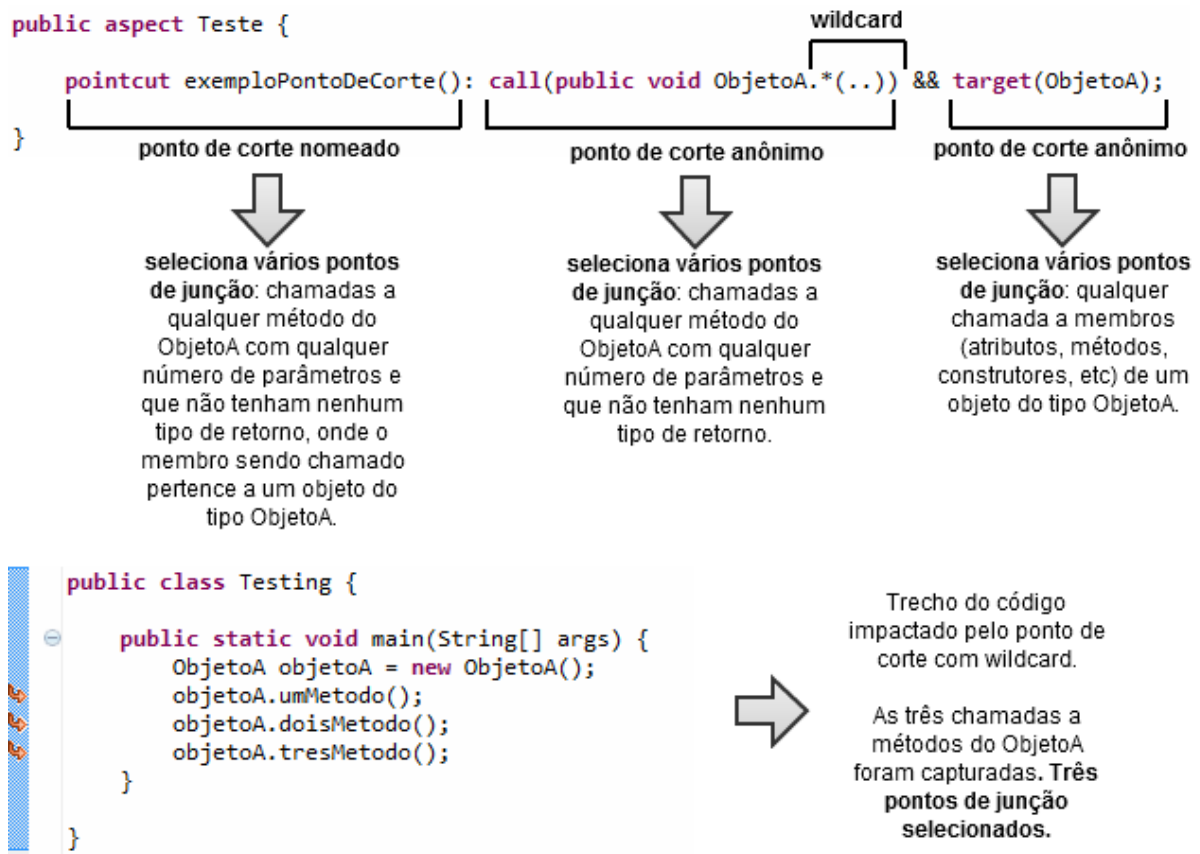


Figura 7 – Exemplo de ponto de corte utilizando wildcards.

Operador	Nome	Exemplo	Explicação do Exemplo
!	Negação	!ClasseA	Qualquer classe exceto ClasseA
	Ou	ClasseA  ClasseB	ClasseA ou ClasseB
&&	E	ClasseA && ClasseB	ClasseA e ClasseB

Tabela 1 – Tipos de Pontos de Junção

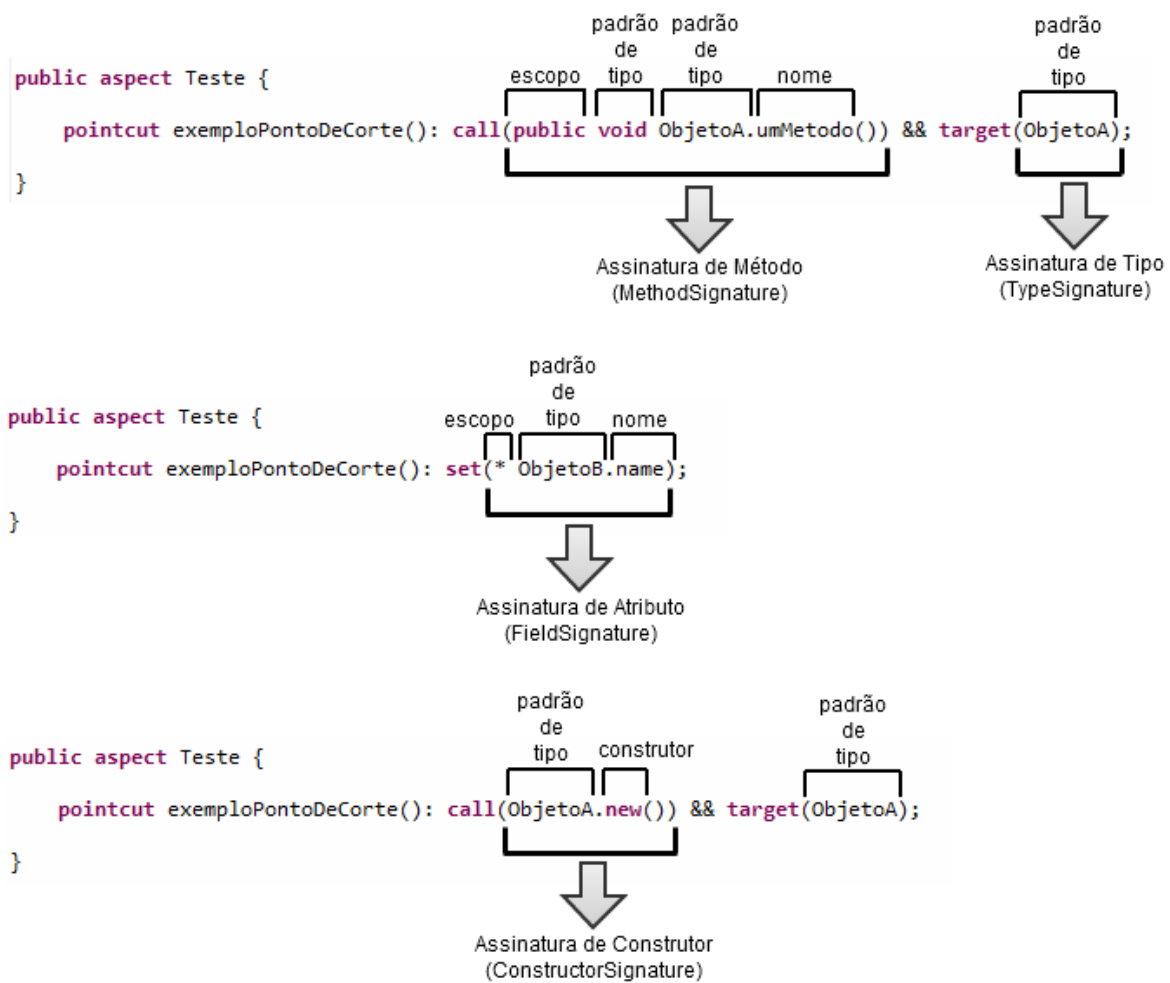


Figura 8 – Exemplo de assinaturas em AspectJ.

```
public aspect Teste {

    pointcut exemploPontoDeCorte(): cflow(call(public void ObjetoA.umMetodo()));

}
```

Figura 9 – Ponto de corte para captura do fluxo de execução inclusivo: `cflow()`.

```
public aspect Teste {

    pointcut exemploPontoDeCorte(): cflowbelow(call(public void ObjetoA.umMetodo()));

}
```

Figura 10 – Ponto de corte para captura do fluxo de execução exclusivo: `cflowbelow()`.

**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 9 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 10 é do tipo *cflowbelow()* e captura os mesmos pontos de junção do anterior, exceto a chamada ao próprio método.

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 `exemploPontoDeCorte()`. 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

```
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.

```
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.

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.

#### 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 (??). O exemplo da figura 13 mostra a introdução de um relacionamento de herança entre as classes **ObjetoA** e **ObjetoB**.

```
public aspect Teste {

    declare parents: ObjetoA extends ObjetoB;

}
```

Figura 13 – Introdução de relacionamentos de herança.

### 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 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 estender 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**. 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 mostra 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 pode ser visualizado na figura 15.

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 16.

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 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 17. Este aspecto captura cliques em um botão, atualizando a

```

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 – Introduções de métodos e atributos para sujeito e observador.

```

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();
    }
}

```

Figura 15 – Especificação do ponto de corte abstrato para capturar mudanças e implementação do aviso para atualizar observadores na ocorrência de uma mudança.

```

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 16 – Aspecto abstrato para implementação do padrão de projeto Observador.

```

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 17 – Aspecto concreto implementando o padrão de projeto Observador em um sistema de interface gráfica.

cor de um texto.

## 2.2 ANÁLISE E PROJETO COM UML

A análise e projeto de sistemas orientados a objetos é fundamental 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, 2007), 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 iteragem 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.





Figura 18 – Uso de estereótipos em um diagrama de classes.

## 2.3 UML: SEGUNDA VERSÃO

A segunda versão da UML (UNIFIED..., ) 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.

### 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 segunda versão da linguagem e é fundamental 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.

#### 2.3.1.2 Diagrama de Perfil

O diagrama de perfil foi introduzido na segunda versão da UML, com o objetivo de permitir 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 18 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* foi 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,

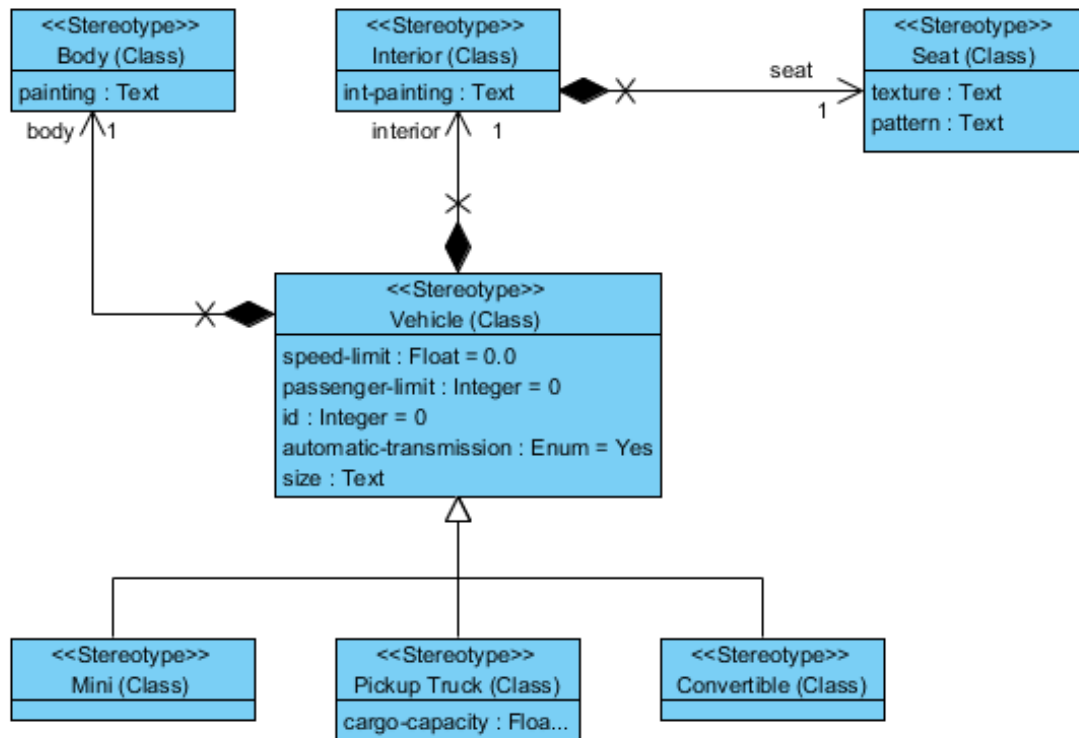


Figura 19 – Diagrama de Perfil para representar veículos.

um booleano ou uma enumeração definida pelo usuário. Ao utilizar um estereótipo em um modelo, deve-se definir os valores rotulados associados ao mesmo. Finalmente, **restrições** podem ser introduzidas ao modelo para garantir a consistência no próprio modelo e nos seus relacionamentos.

A figura 19 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*. 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.

### 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 casos de uso e de sequência.

#### 2.3.2.1 Diagrama de Casos de Uso

Este diagrama permite representar as funcionalidades de um sistema, sem detalhar como o sistema as realiza. Cada interesse do sistema pode ser modelado como um caso de uso. Cada caso de uso deve ser refinado em um menor nível de abstração para representar como o mesmo é realizado. Podem-se utilizar diagramas de atividades e de sequência para representar a realização de um caso de uso.

### 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. 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 contém 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 20. 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 20 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 20 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 21. Observa-se que qualquer elemento de um modelo da UML deve derivar de *ModelElement* e por isso deve ter um nome. Observa-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

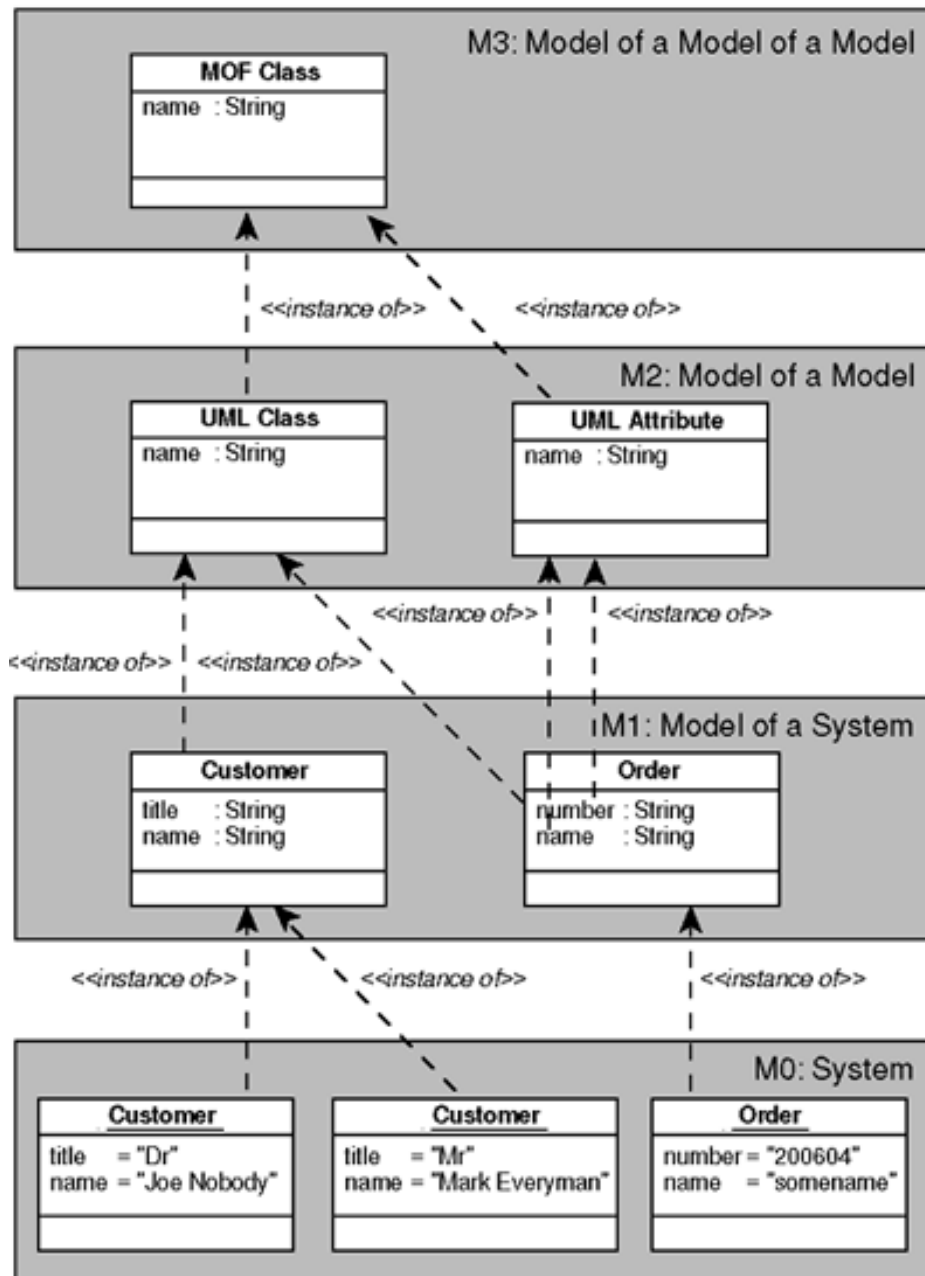


Figura 20 – Meta-modelo da Object Management Group (OMG).

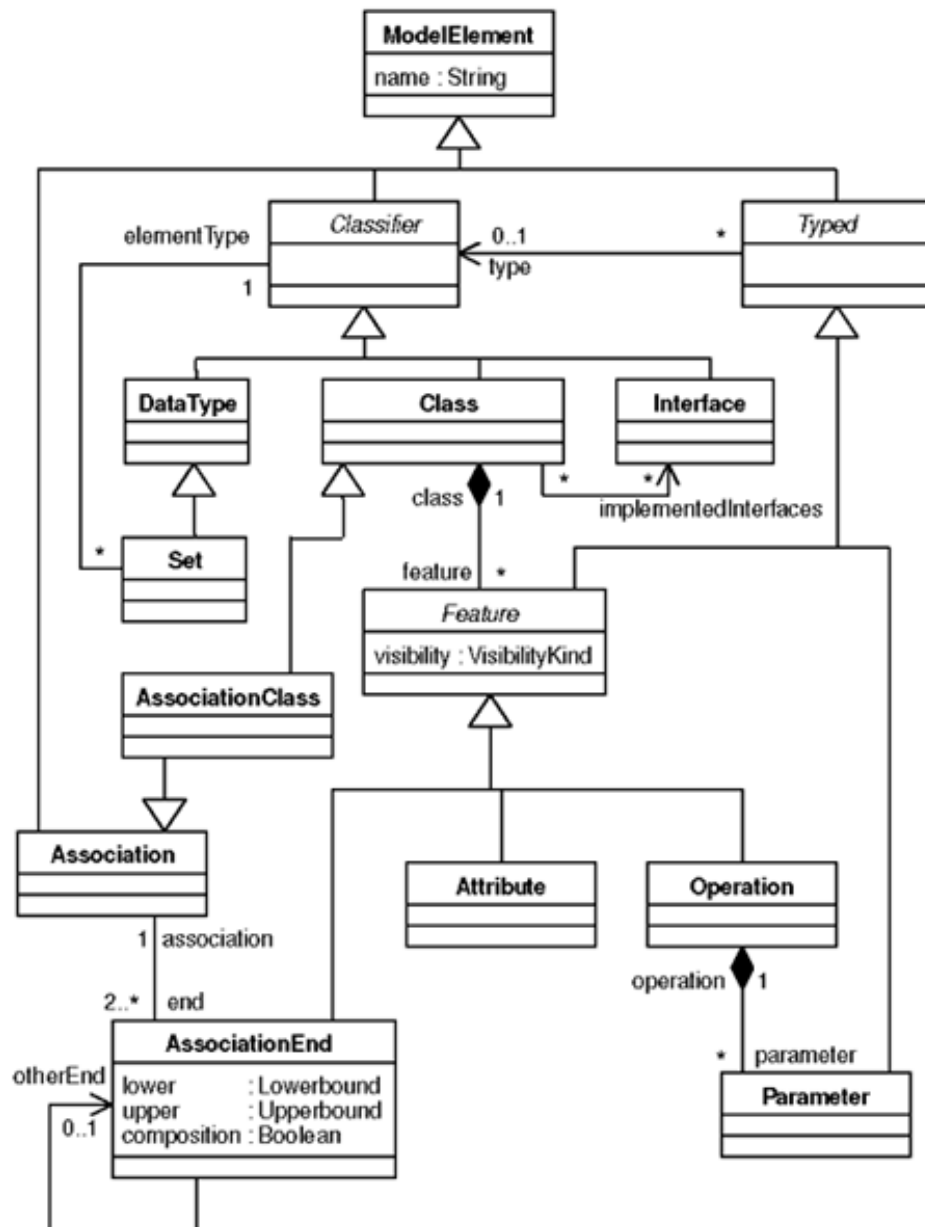


Figura 21 – Meta-modelo da UML.

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.

#### 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.

Alguns trabalhos estendem a UML para modelagem de programas orientados a aspectos. A proposta de Evermann (EVERMANN, 2007) propõe um Perfil UML para AspectJ. O foco deste 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.

Nesta proposta, 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.

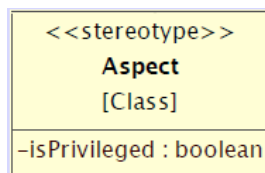


Figura 22 – Exemplo de estereótipo estendendo uma meta-classe em um diagrama de Perfil UML.

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.

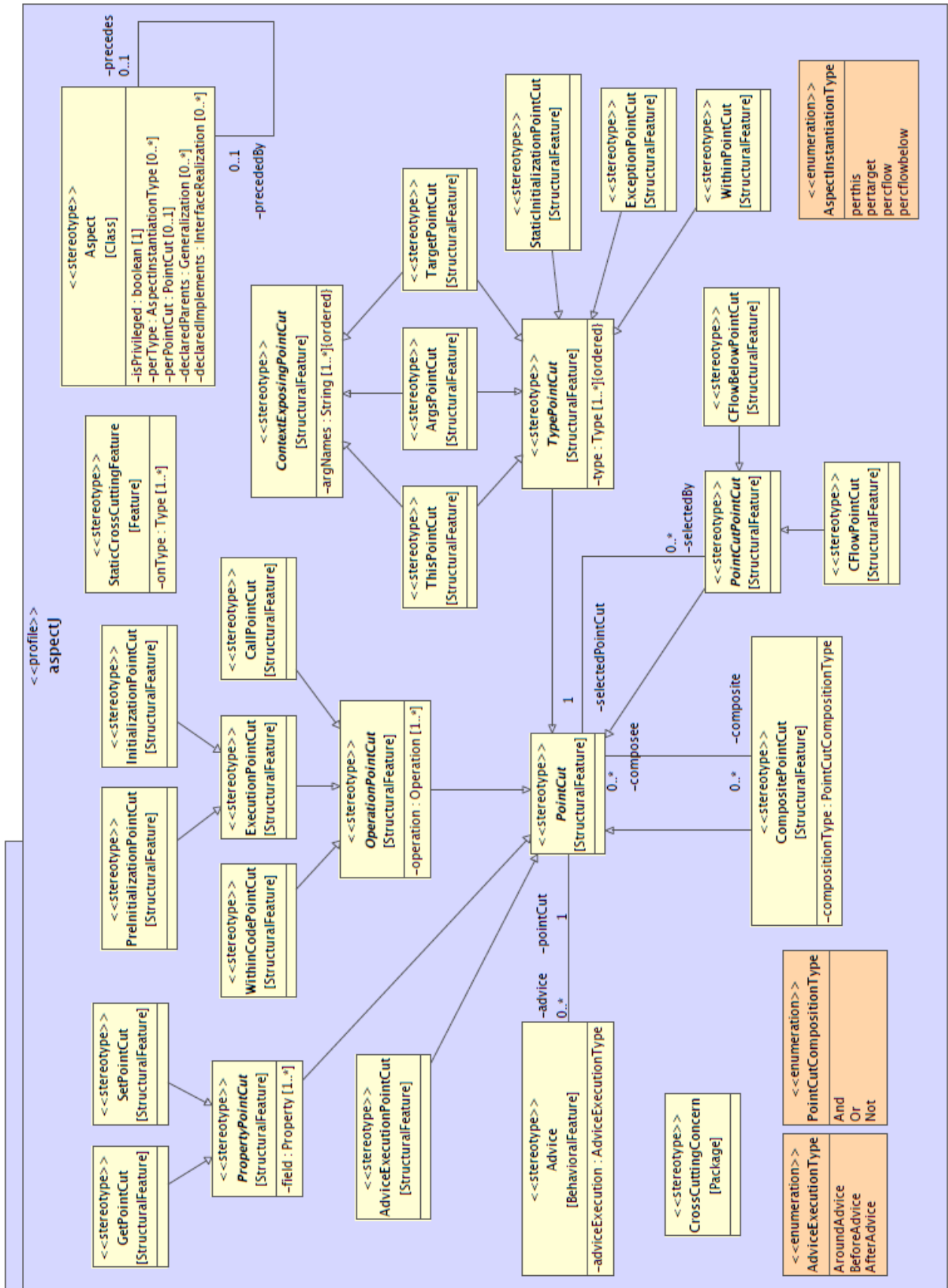


Figura 23 – Perfil UML para modelagem de aspectos



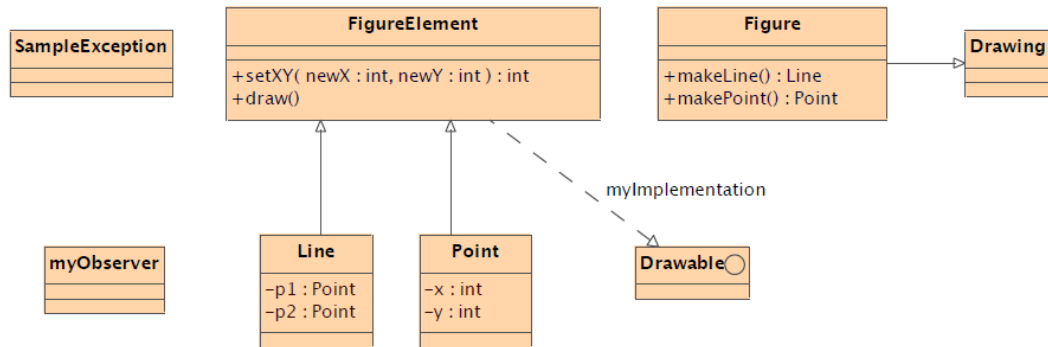


Figura 24 – Interesse núcleo para desenho de interface gráfica.

Para exemplificar o uso deste Perfil UML em uma modelagem, Evermann implementou o padrão de projeto Observador 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.

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

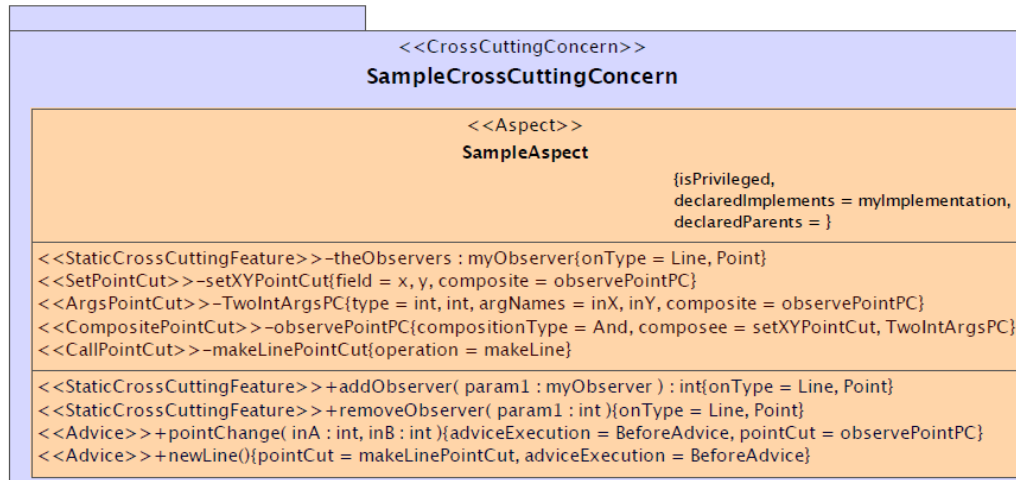


Figura 25 – Interesse entrecortante para implementação do padrão de projeto Observador.

```

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).

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.

Com as dependências definidas entre aspectos, executa-se o algoritmo de composição que gerará um único modelo com os aspectos compostos. A figura 27 mostra um exemplo de composição entre três aspectos.

RAM também faz 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.

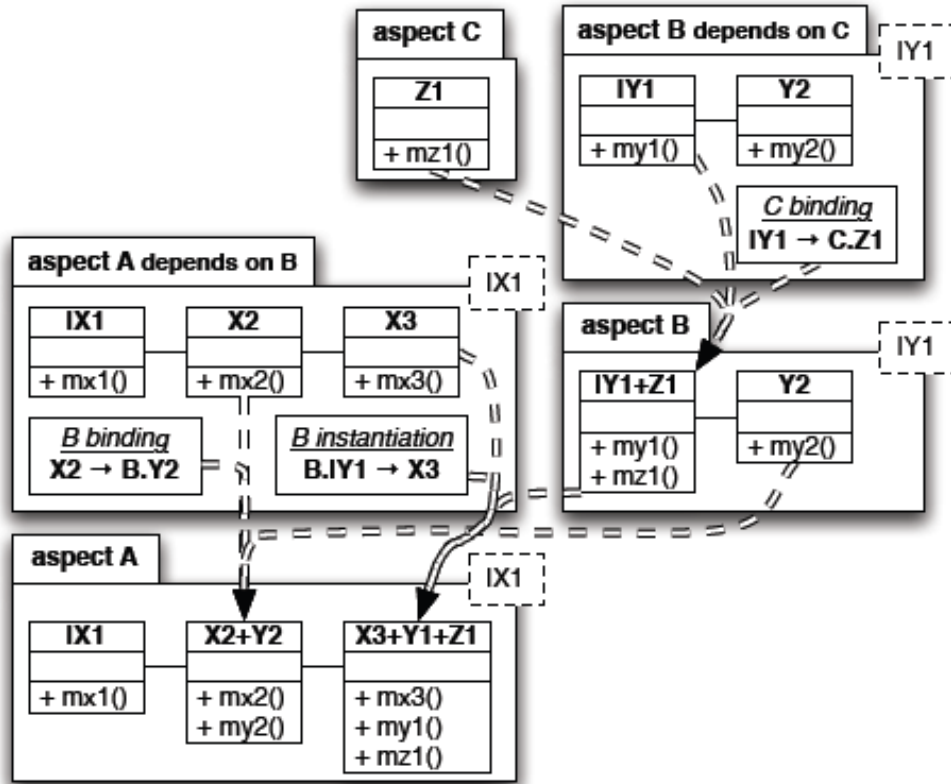


Figura 27 – Composição da parte estrutural de aspectos na ferramenta RAM

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. 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*, que pode ser visualizado na figura 29 (*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.

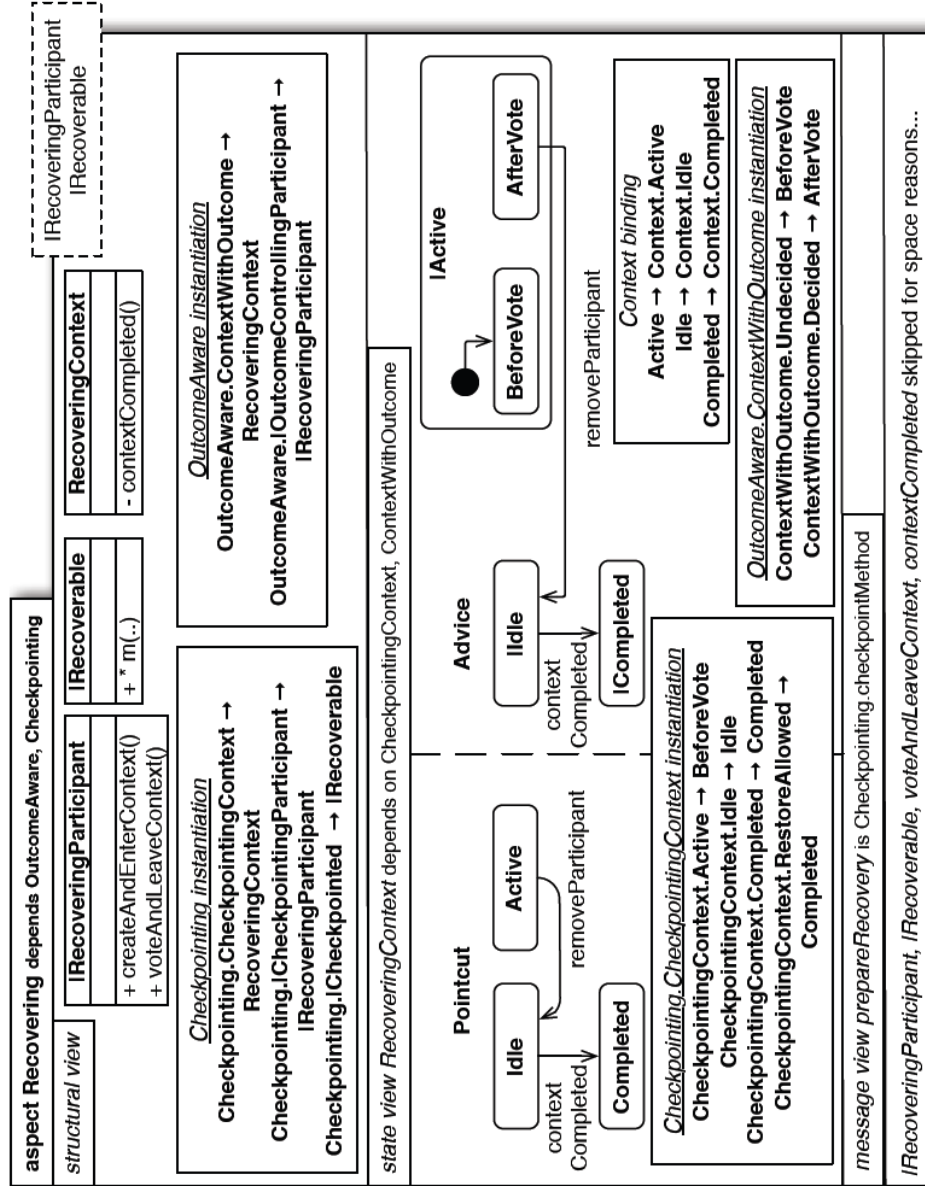


Figura 28 – Aspecto para Recuperação (Garantia de Atomicidade)



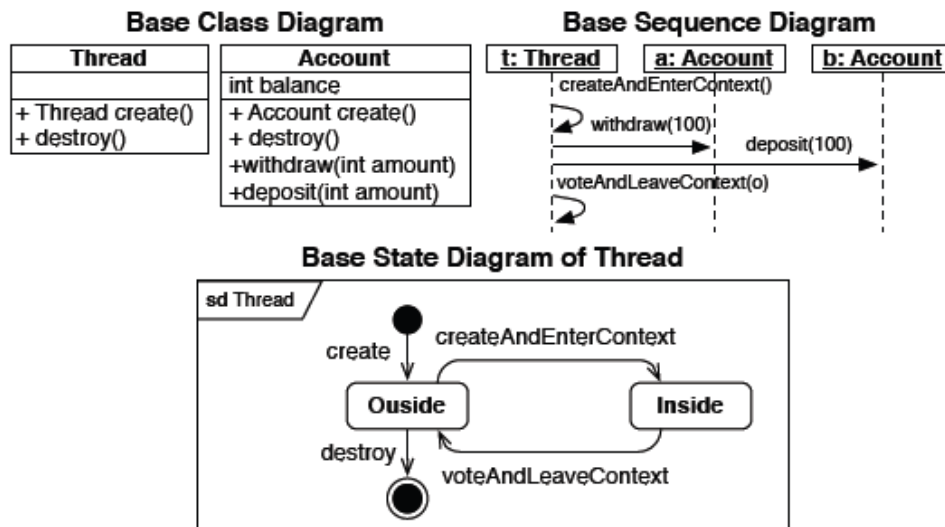


Figura 30 – modelo núcleo para Transações

Com o aspecto para garantia de atomicidade definido, deve-se realizar a composição com o modelo núcleo. O modelo núcleo é uma aplicação para realização de transações bancárias e pode ser visualizado na figura 30. O modelo final após a composição pode ser visualizado nas figuras 31 (visão estrutural), 33 (visão de estados) e 32 (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.

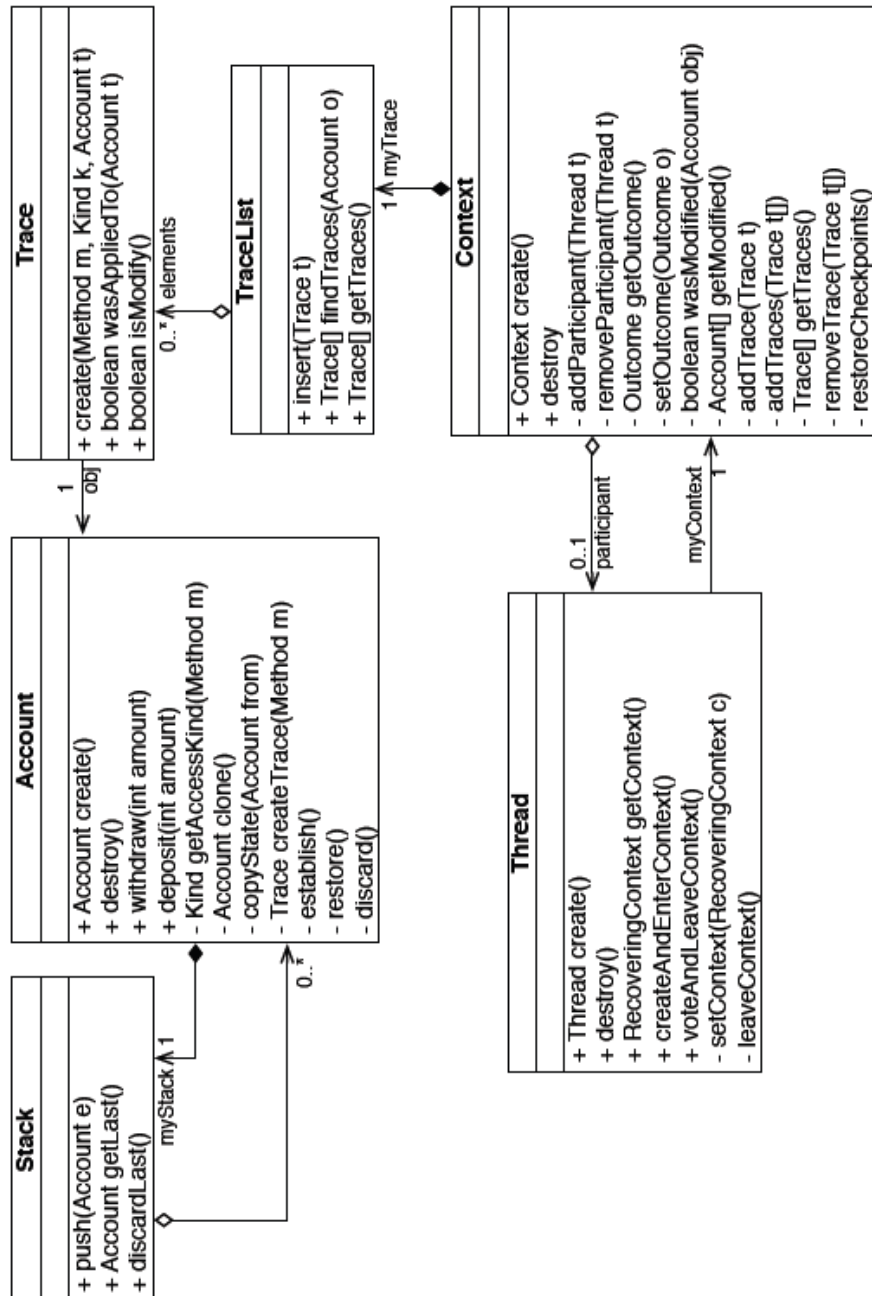


Figura 31 – Visão Estrutural do Modelo Final para Garantia de Atomicidade de Transações



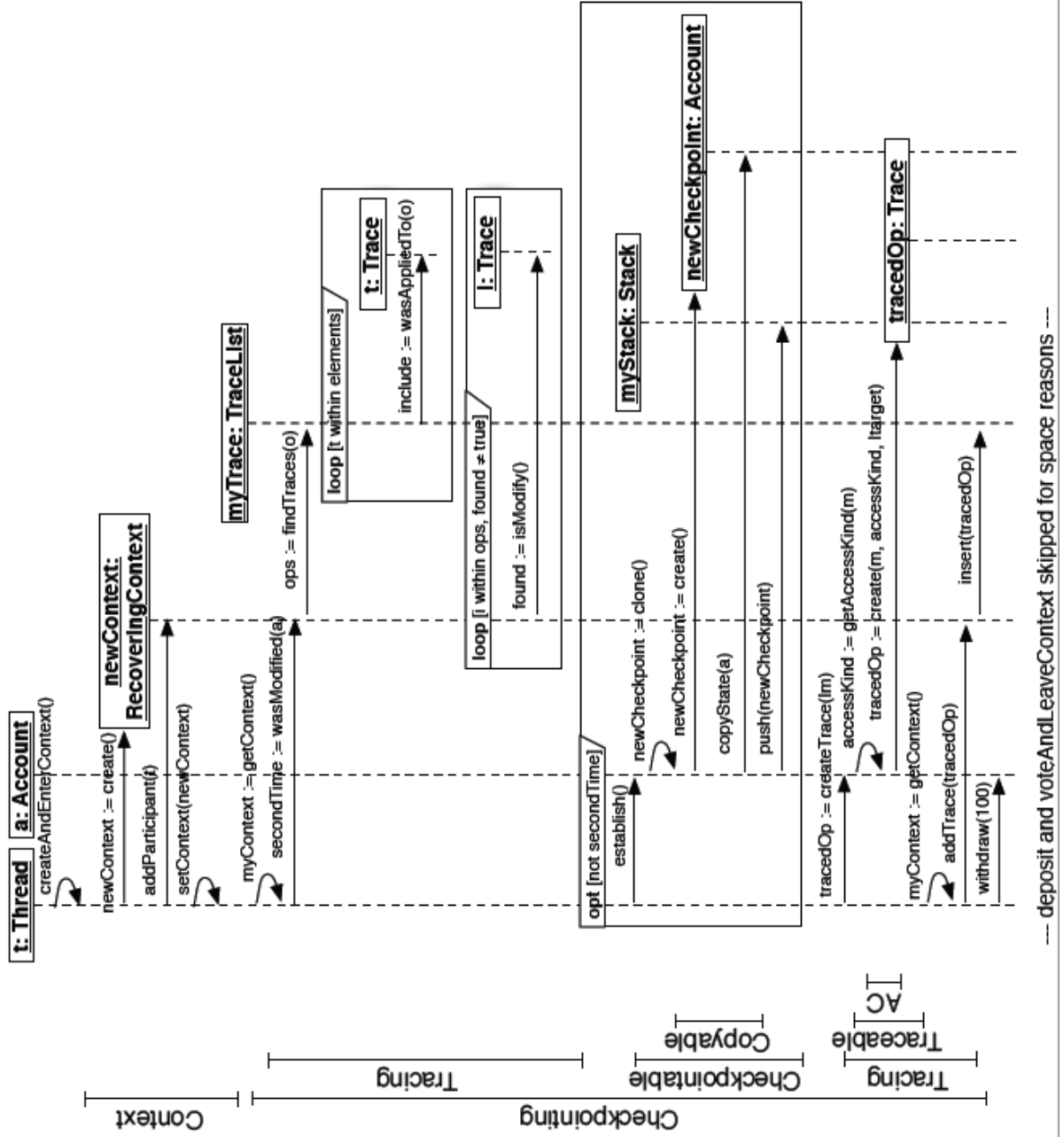


Figura 32 – Visão de Mensagens do Modelo Final para Garantia de Atomicidade de Transações

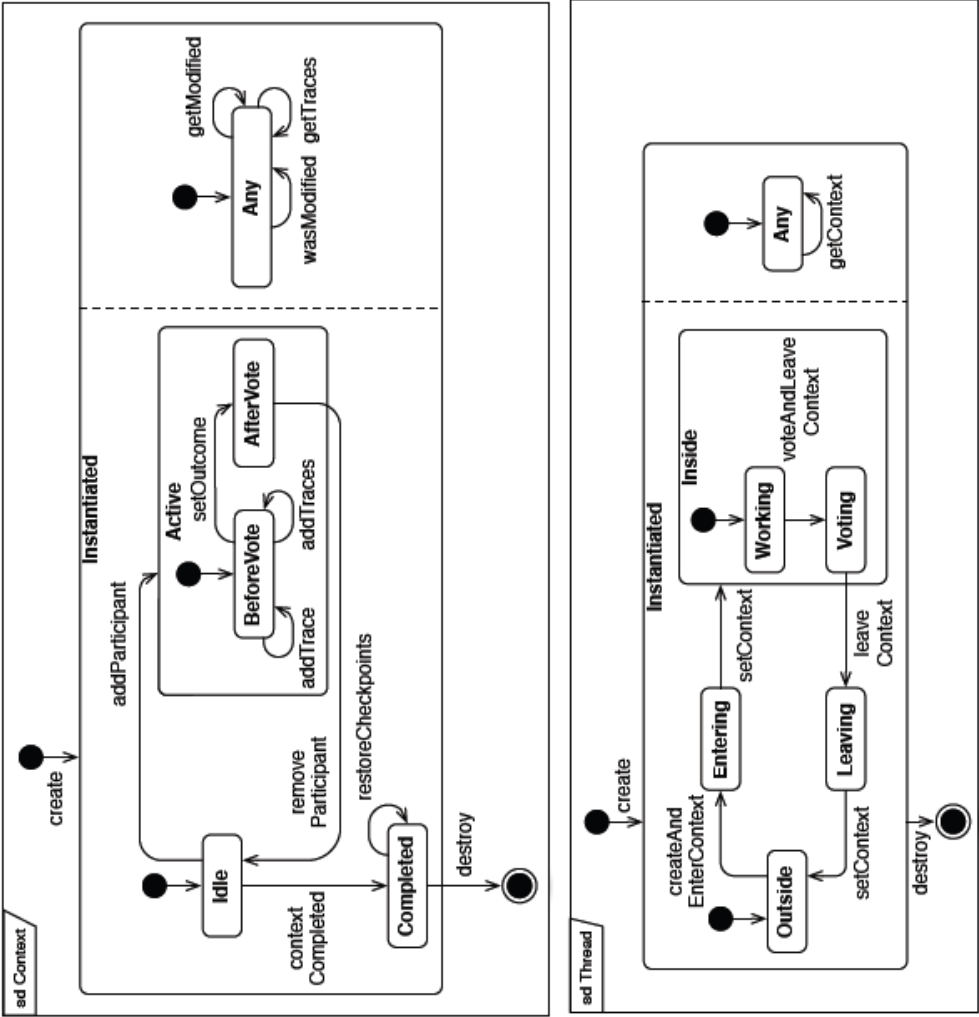


Figura 33 – Visão de Estados do Modelo Final para Garantia de Atomicidade de Transações

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.

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 34 mostra o modelo núcleo de um caso de uso para realizar a transação bancária de saque. Este modelo será 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 35. 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 36 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. A opção de executar o aviso paralelamente aos pontos de junção é uma opção dos autores desta proposta para avisos do tipo depois *after*.

Após a definição do modelo núcleo e dos modelos para os interesses entrecortantes, deve-se realizar

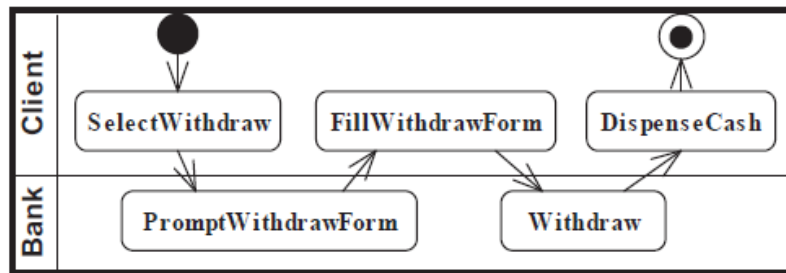


Figura 34 – modelo núcleo para realizar a transação de saque

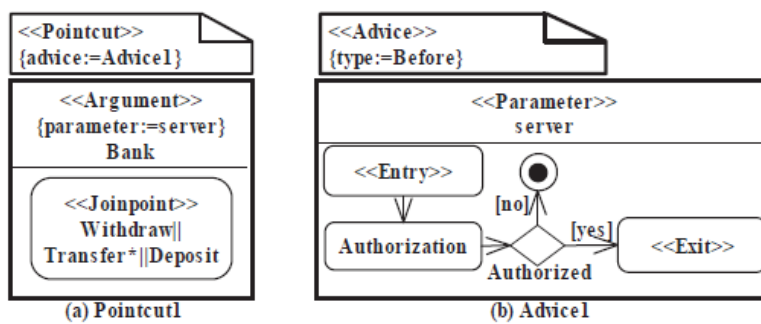


Figura 35 – Ponto de corte e aviso para capturar pontos de junção que necessitam de autorização antes de serem executados.

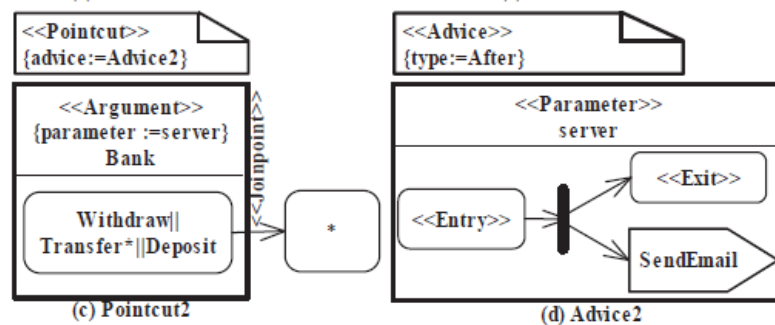


Figura 36 – Ponto de corte para capturar pontos de junção onde é necessário enviar um e-mail após a execução dos mesmos.

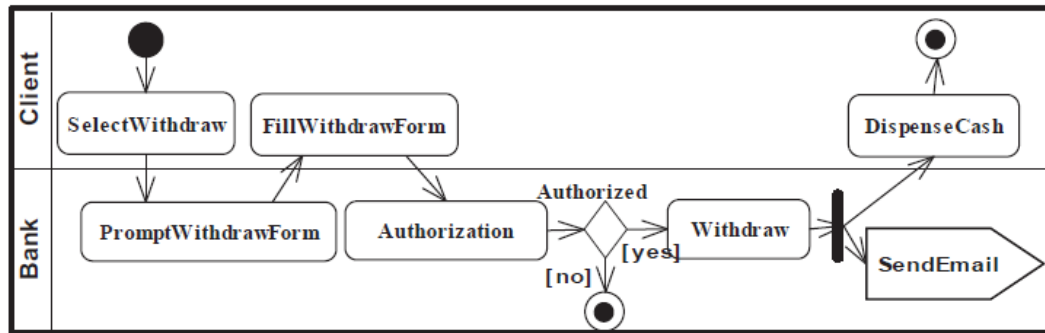


Figura 37 – Modelo composto para transação bancária de saque com autorização e envio de e-mail.

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 37.

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 composição 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.

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 38 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.

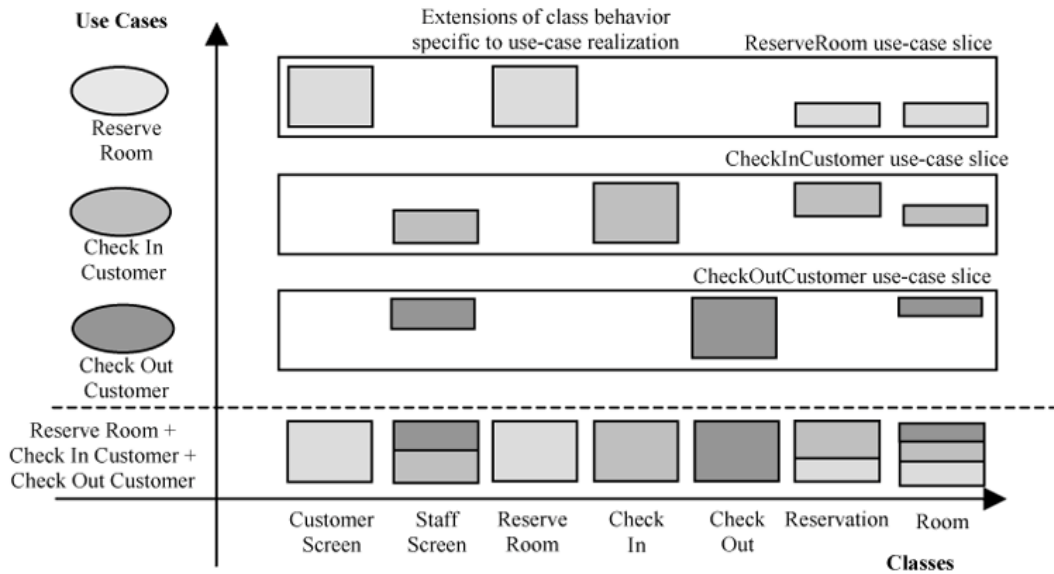


Figura 38 – Fatias de casos de uso em um sistema de gerenciamento de hotel.

A figura 39 mostra a fatia do caso de uso *Reserve Room*. Observa-se nesta figura um aspecto representado pelo estereótipo *aspect*. Dentro deste aspecto definem-se extensões à três classes do modelo: *CustomerMainForm*, *Reservation* e *Room*. A representação de extensões às 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 Use Case*, pois ele não estende nenhum caso de uso, apenas define novas classes e introduz métodos em classes já existentes.

Os casos de uso de extensão (*Extension Use Cases*) estendem o comportamento de um caso de uso base. A figura 40 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 41 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 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 42.

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 43 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 representa as principais características da POA. Permite representar *wild-cards* na definição de pontos de corte dentro de uma fatia de caso de uso. Uma contribuição importante

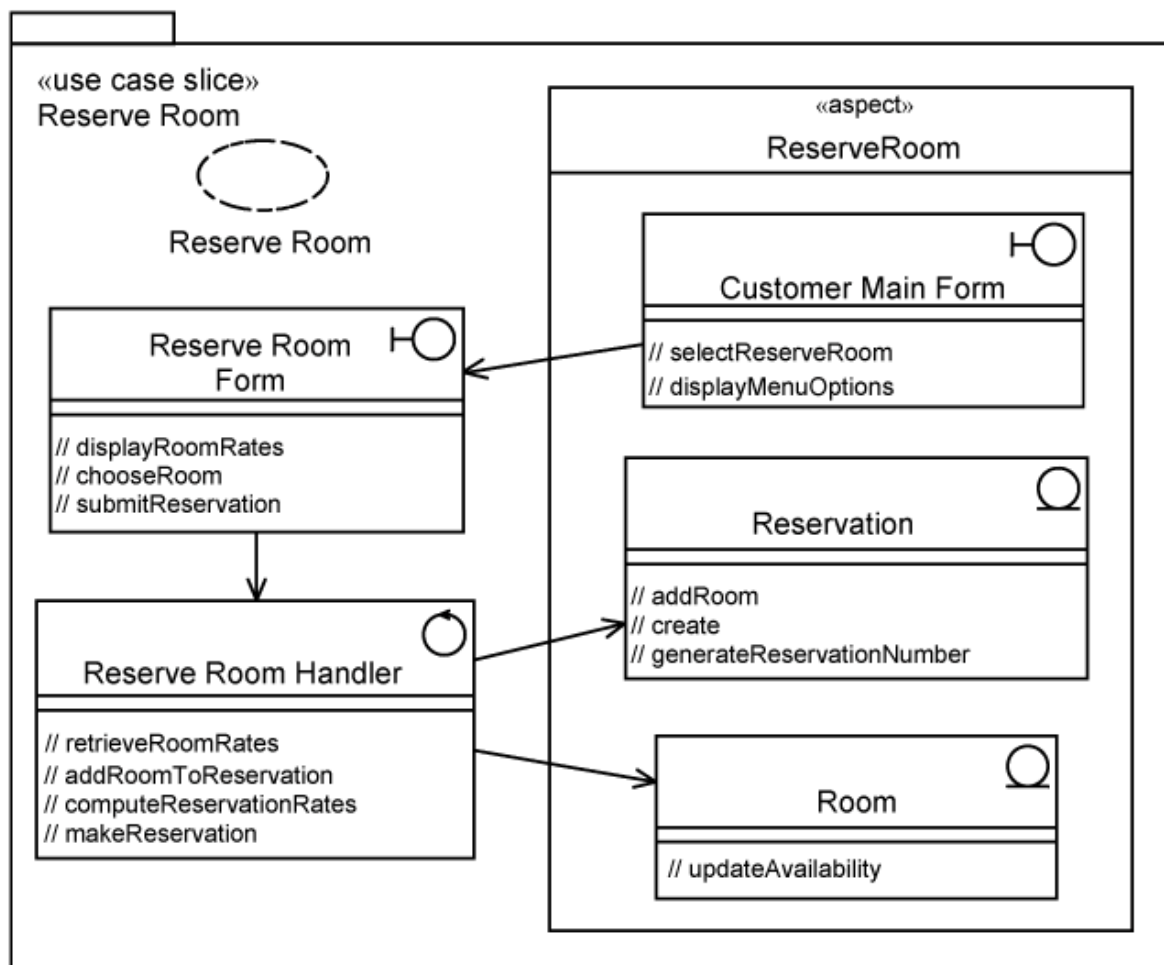


Figura 39 – Fatia de caso de uso para o caso de uso *Reserve Room*.

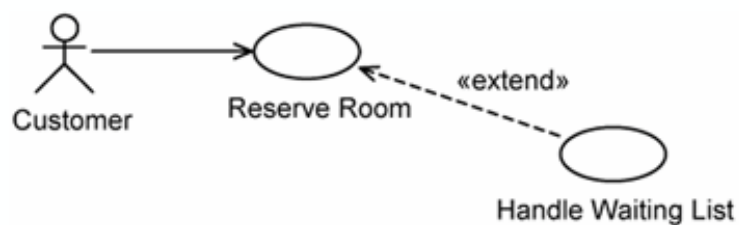


Figura 40 – Caso de uso de extensão *Handle Waiting List*.

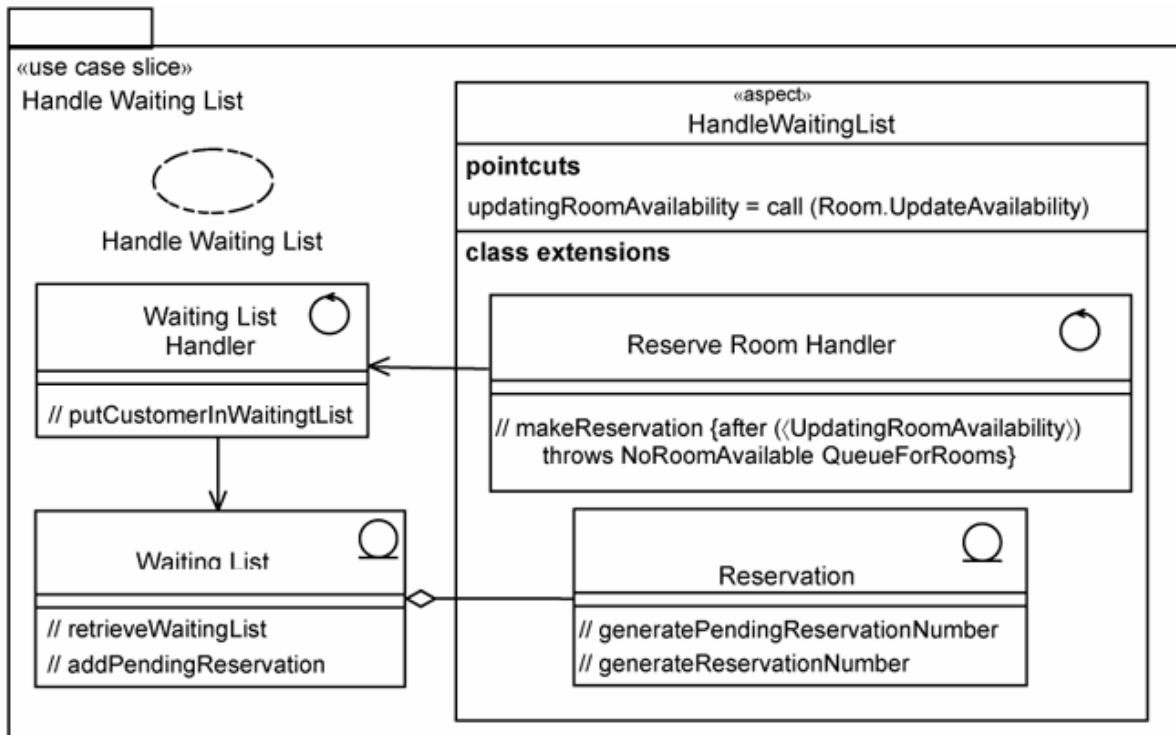


Figura 41 – Fatia do caso de uso de extensão *Handle Waiting List*.

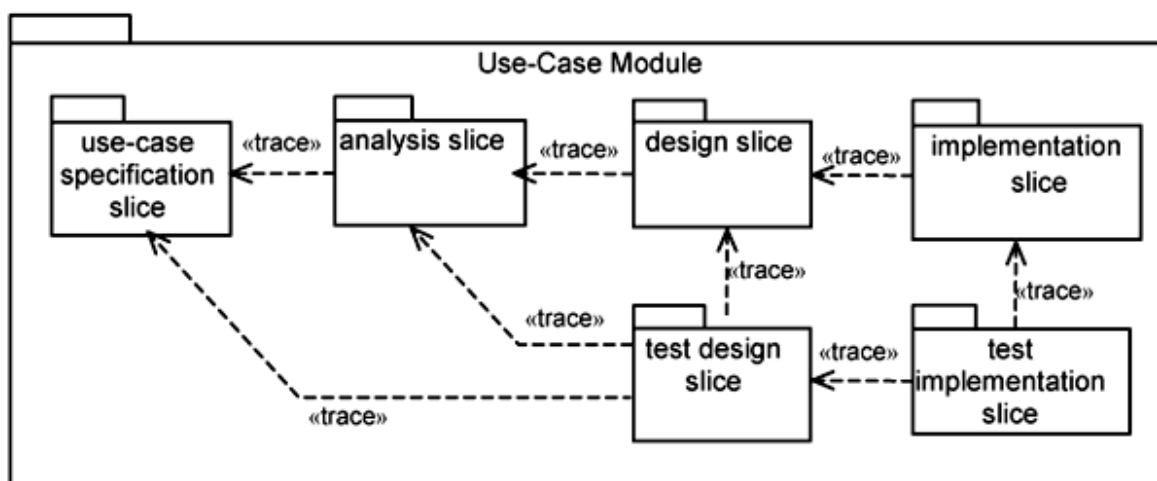


Figura 42 – Rastreamento completo de um requisito por todos modelos.



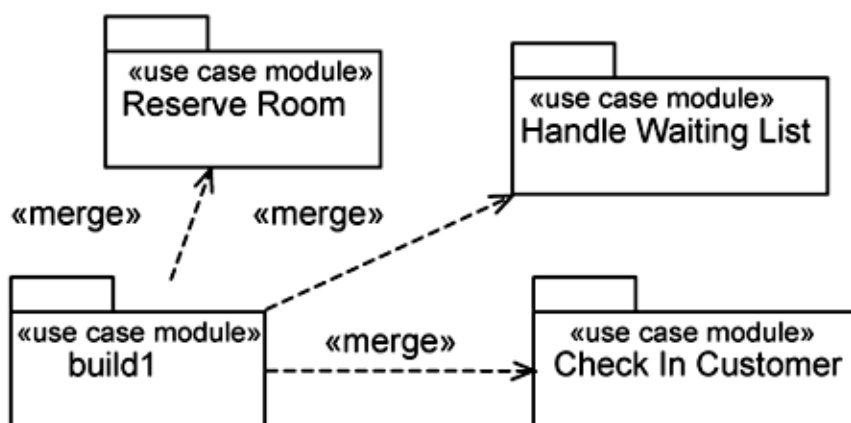


Figura 43 – Composição entre modelos de caso de uso.

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, destaca-se a falta de ferramental para composição dos modelos, o que é importante para que seja possível visualizar o impacto dos interesses entrecortantes nos interesses 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. Outra limitação é a forma de extensão à UML, com a definição de um meta-modelo que não pode ser reusado em diferentes ferramentas CASE. Este meta-modelo tem construções específicas, como fatias de caso de uso, que não são suportadas por ferramentas CASE padrão segunda versão da UML.

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

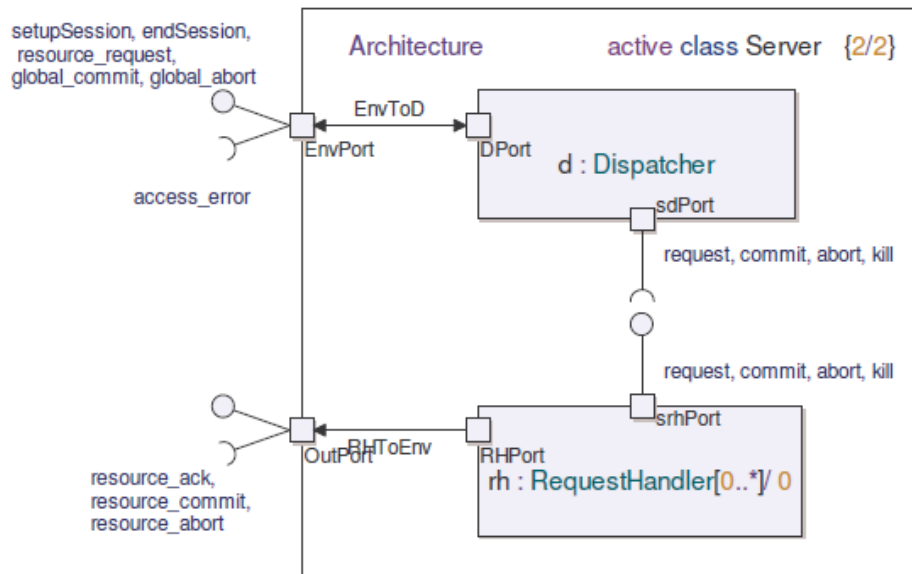


Figura 44 – Diagrama de Estrutura Composta representando um servidor de recursos.

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 (UNIFIED...).

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 44 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 deste 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, com precisão e sem ambiguidades. Um diagrama deste tipo destaca o fluxo de controle e as ações executadas durante as transições entre os diferentes estados. O diagrama da figura 45 representa a modelagem do comportamento de um tratador de requisições.

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 nó de 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 nó de 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

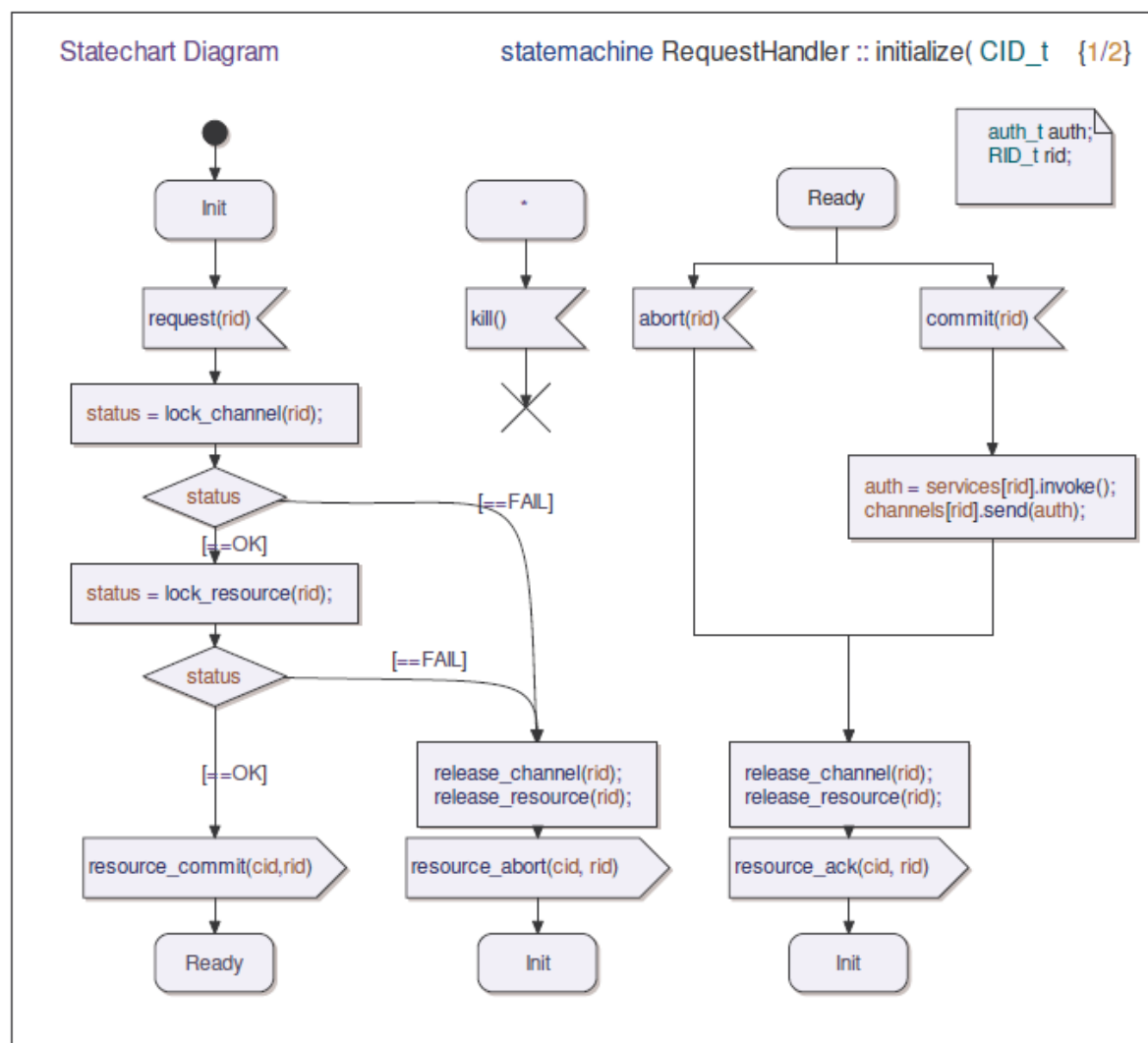


Figura 45 – Diagrama de máquina de estados focado em transições para um tratador de requisições.

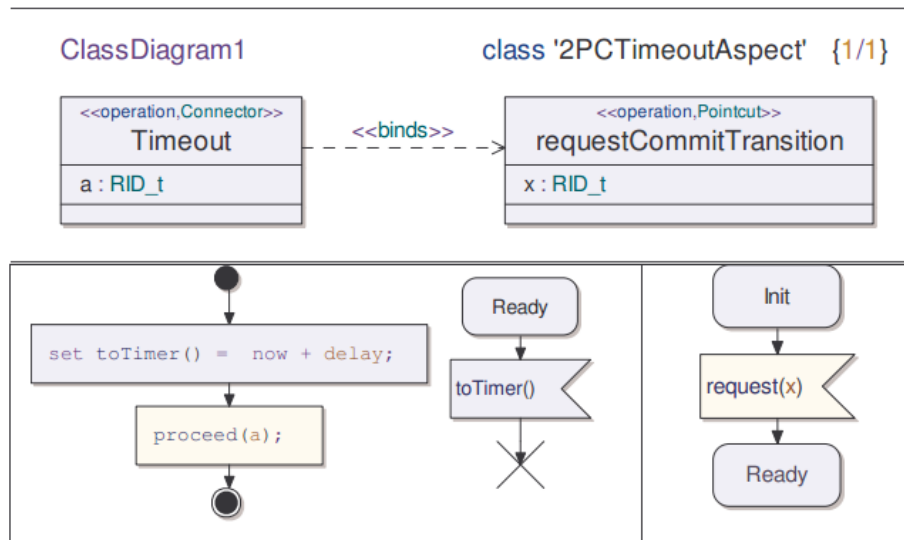


Figura 46 – Aspecto para controle de tempo ao protocolo 2PC.

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 46 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 45 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 46.

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:

- **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

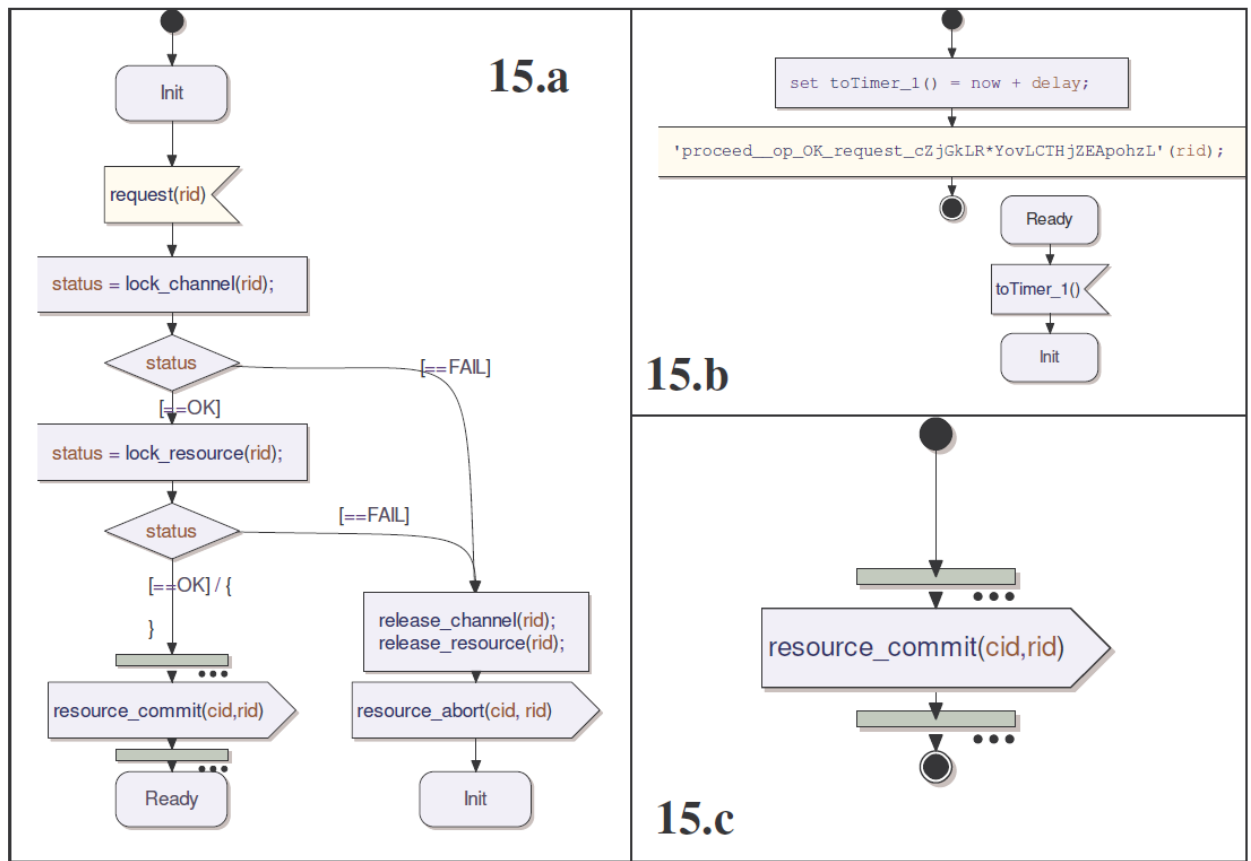


Figura 47 – Visualização da composição do aspecto para controle de tempo no tratador de requisições.

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 46) no tratador de requisições *RequestHandler* (figura 45), o visualizador de aspectos gera a máquina de estados que pode ser visualizada na figura 47. 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. Uma

limitação desta proposta é que apenas avisos do tipo durante (*around*) são suportados. No entanto, este tipo de aviso é o mais poderoso e permite executar comportamentos antes, durante ou depois de determinados pontos de um programa. A ferramenta também disponibiliza vasto ferramental para visualização, composição e execução de modelos de aspectos. Este ferramental é uma das principais contribuições do trabalho, pois automatiza grande parte do processo de modelagem e permite gerar código em um linguagem alvo. Uma das desvantagens desta proposta, 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.

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 que utilizam o paradigma de POA. Esta extensão é realizada no meta-modelo da UML, adicionando novas classes. 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 48. 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 49 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 50 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 49 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

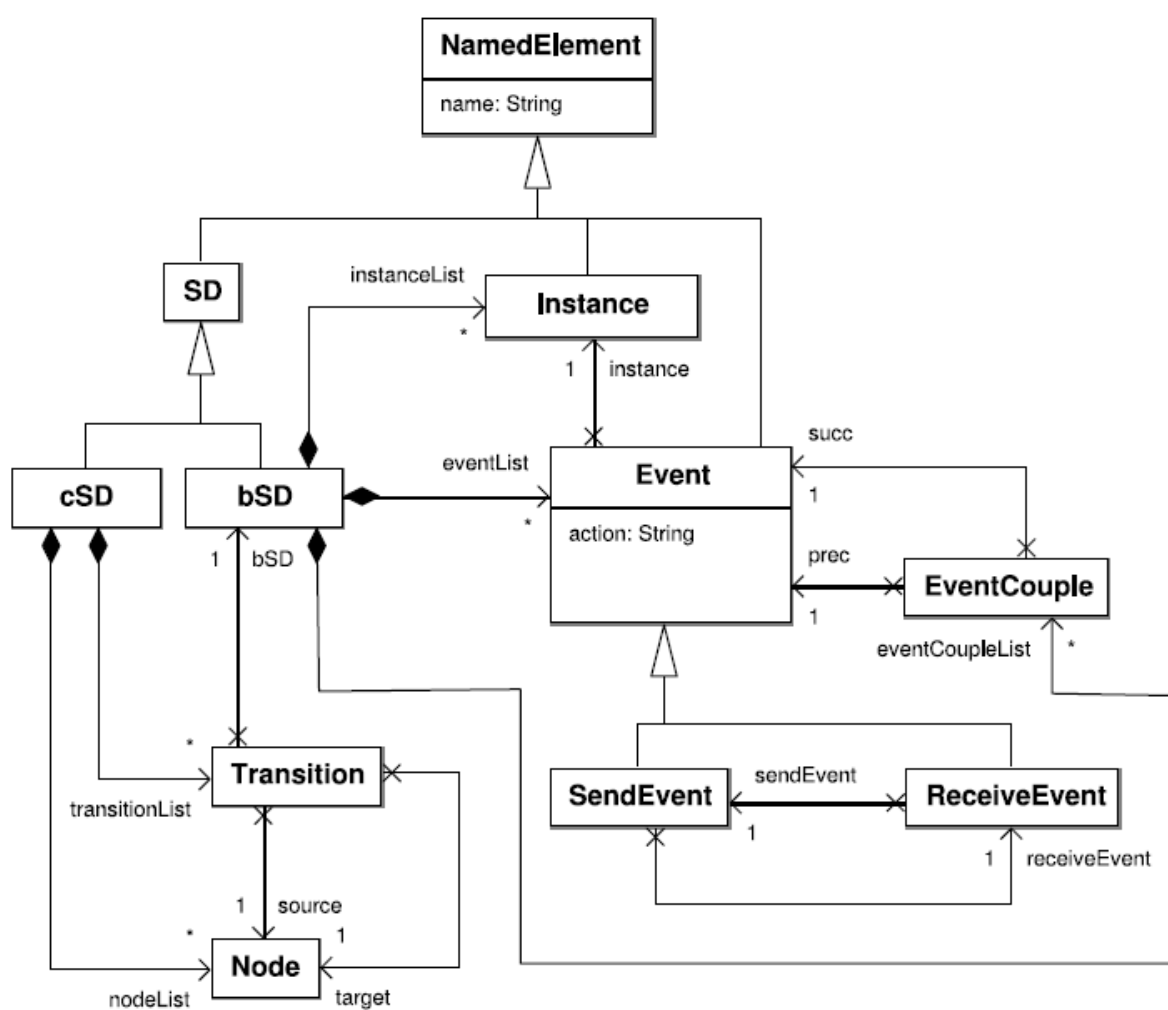


Figura 48 – Meta-modelo de extensão aos diagramas de sequência da UML.

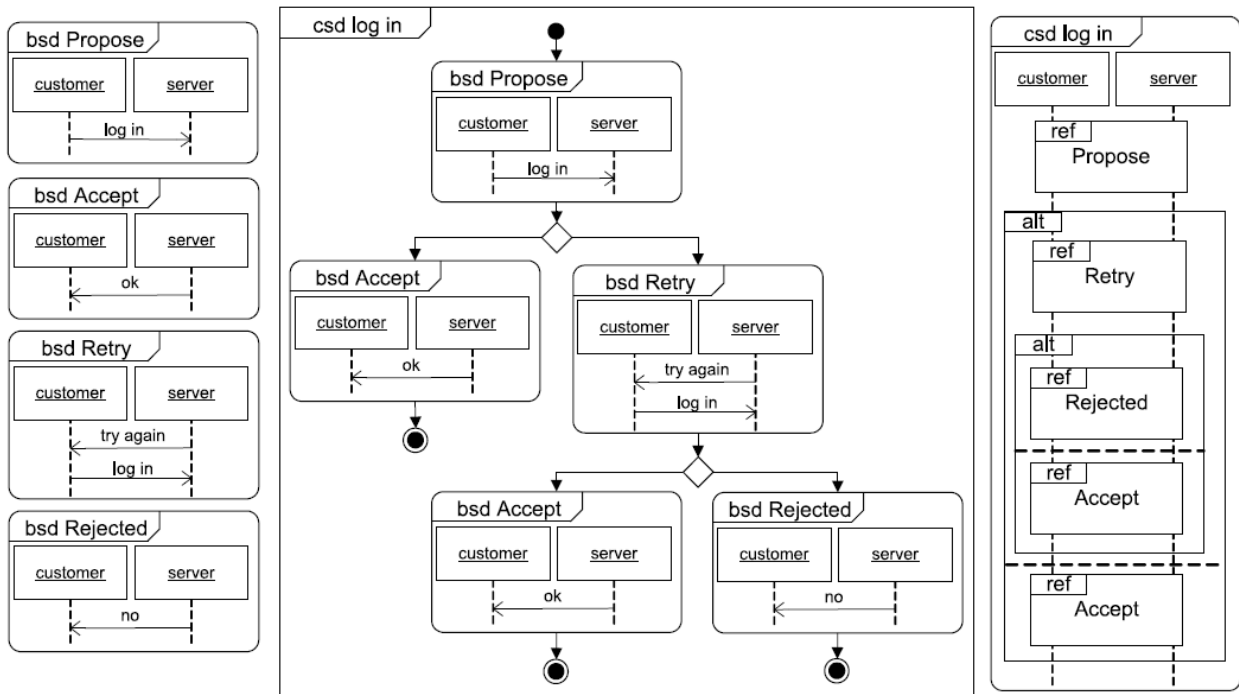


Figura 49 – Exemplos de diagramas de sequência estendidos: bSD's e cSD's.

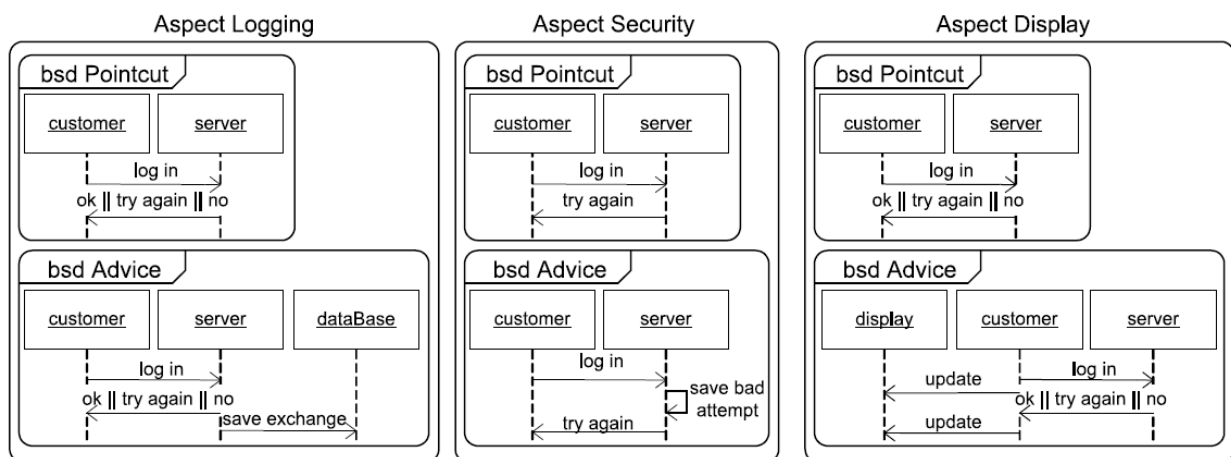


Figura 50 – Exemplos de aspectos comportamentais.



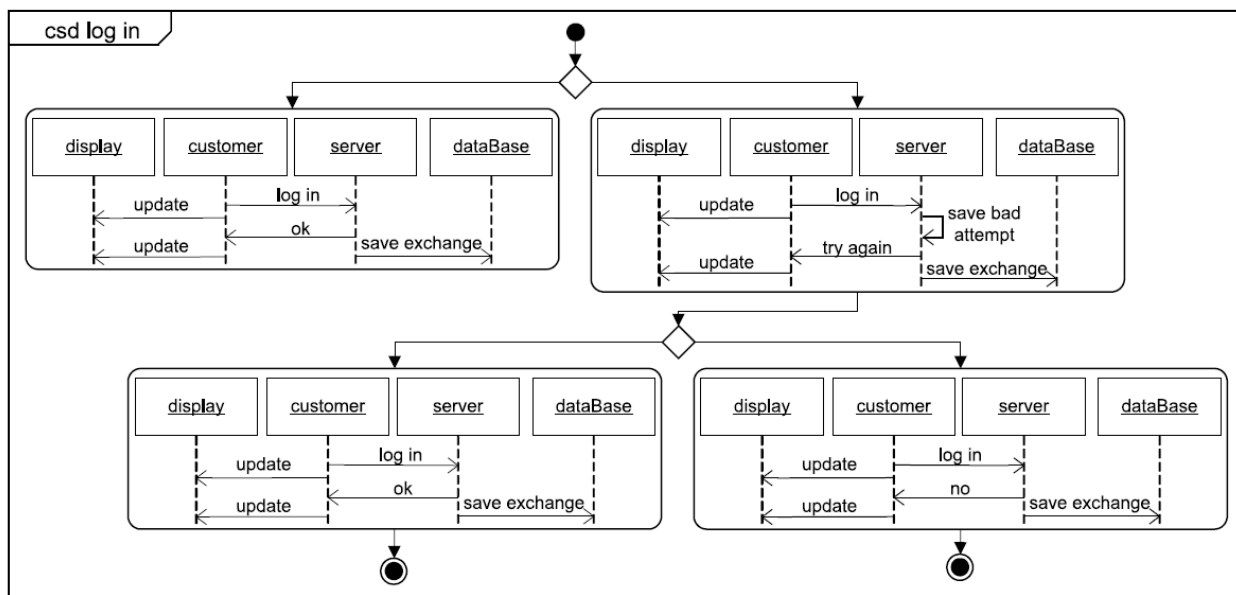


Figura 51 – Composição entre aspectos de registro de mensagens, segurança e atualização de interface gráfica com modelo base para autenticação de usuário.

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 51.

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

A proposta de Clarke (BANIASSAD; CLARKE, 2004b) permite realizar a análise e projeto de sistemas orientados a aspectos, desde o eliciamento 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

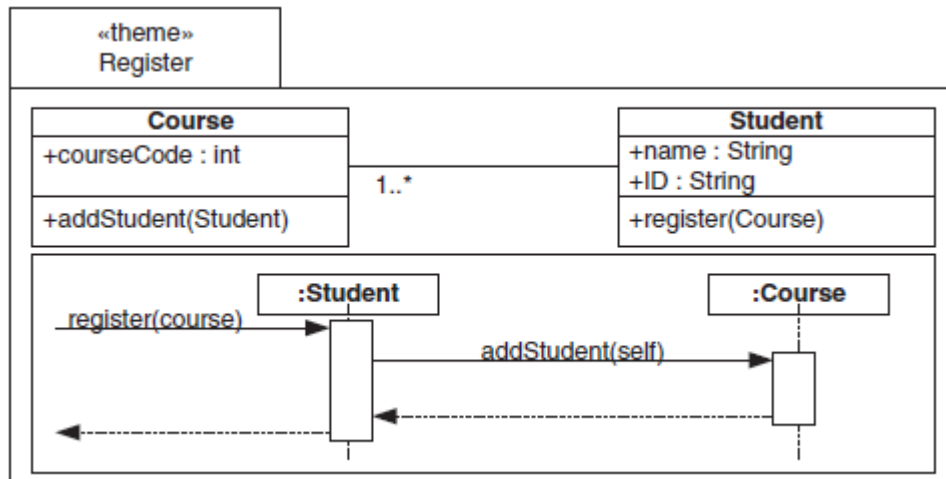


Figura 52 – Modelo Núcleo: Registro de estudante em curso.

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 52 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 53 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 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 54 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 das limitações da proposta de Clarke é a forma de extensão à UML, pois a mesma estende o meta-modelo da UML no nível M2. O meta-modelo depende da versão 1.3 *beta* da UML e não pode ser utilizado em qualquer ferramenta CASE. 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. Uma importante contribuição da abordagem é a especificação de aspectos desde o eliciamento 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.

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, parecido com 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

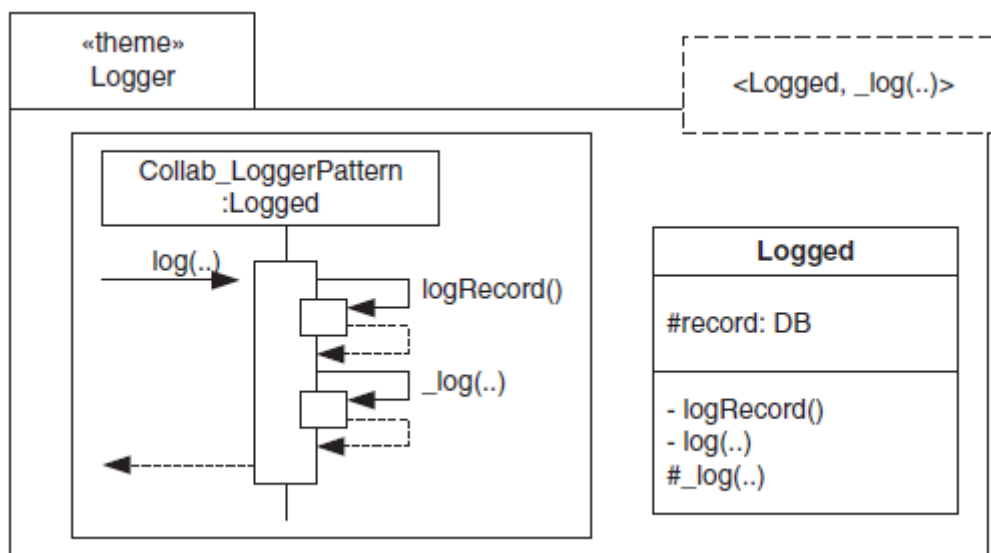


Figura 53 – Modelo Entrecortante: Registro de atividades do sistema.

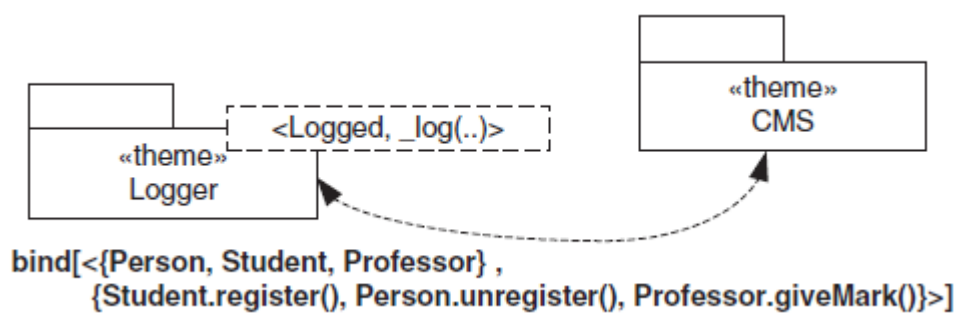


Figura 54 – Configuração de composição entre interesses.

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 55 exemplifica o uso de diretivas de composição. O modelo núcleo a esquerda apresenta duas classes: *Writer* e *FileStream*, que representam o comportamento de escrever linhas em um *stream*. O modelo de aspecto a 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 56, que mostra os modelos após a aplicação das diretivas de composição. Após a aplicação das diretivas, a composição de modelos pode ser realizada sem apresentar conflitos entre elementos nos modelos.

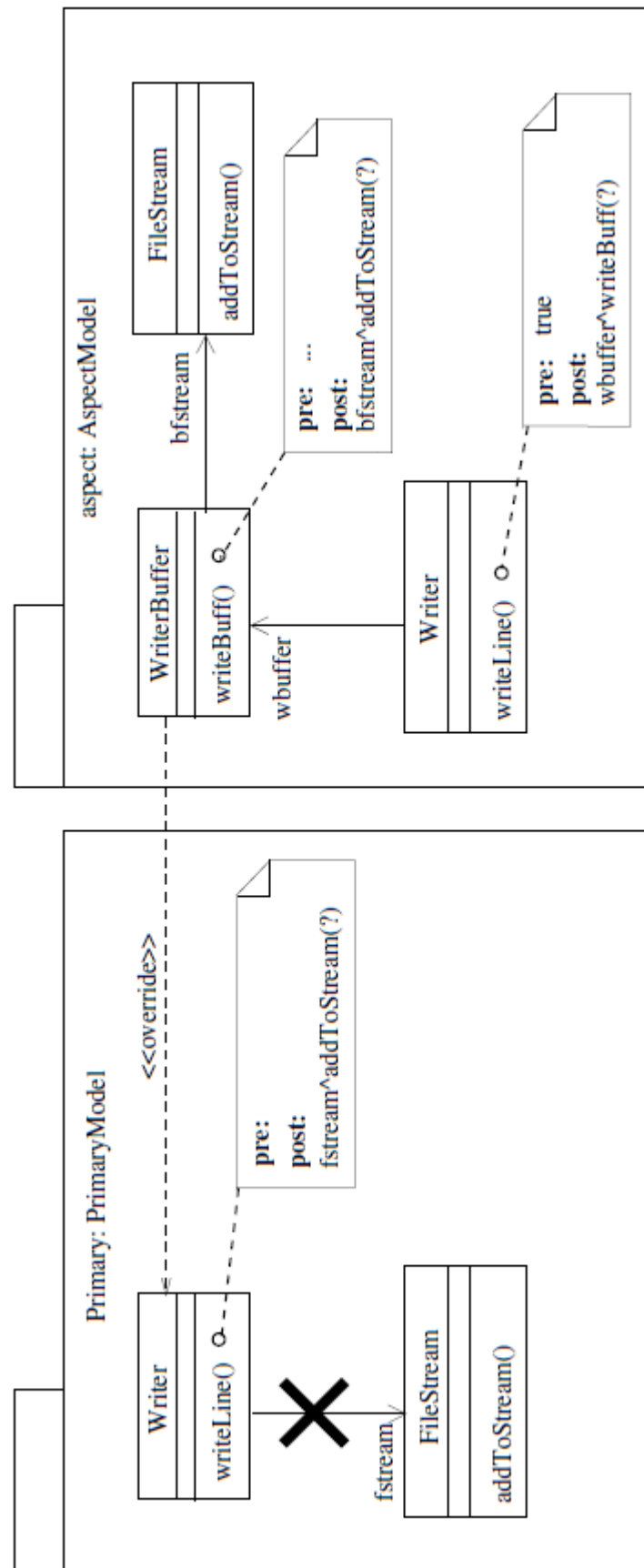


Figura 55 – Antes do uso de derivativas de composição para composição de aspectos.

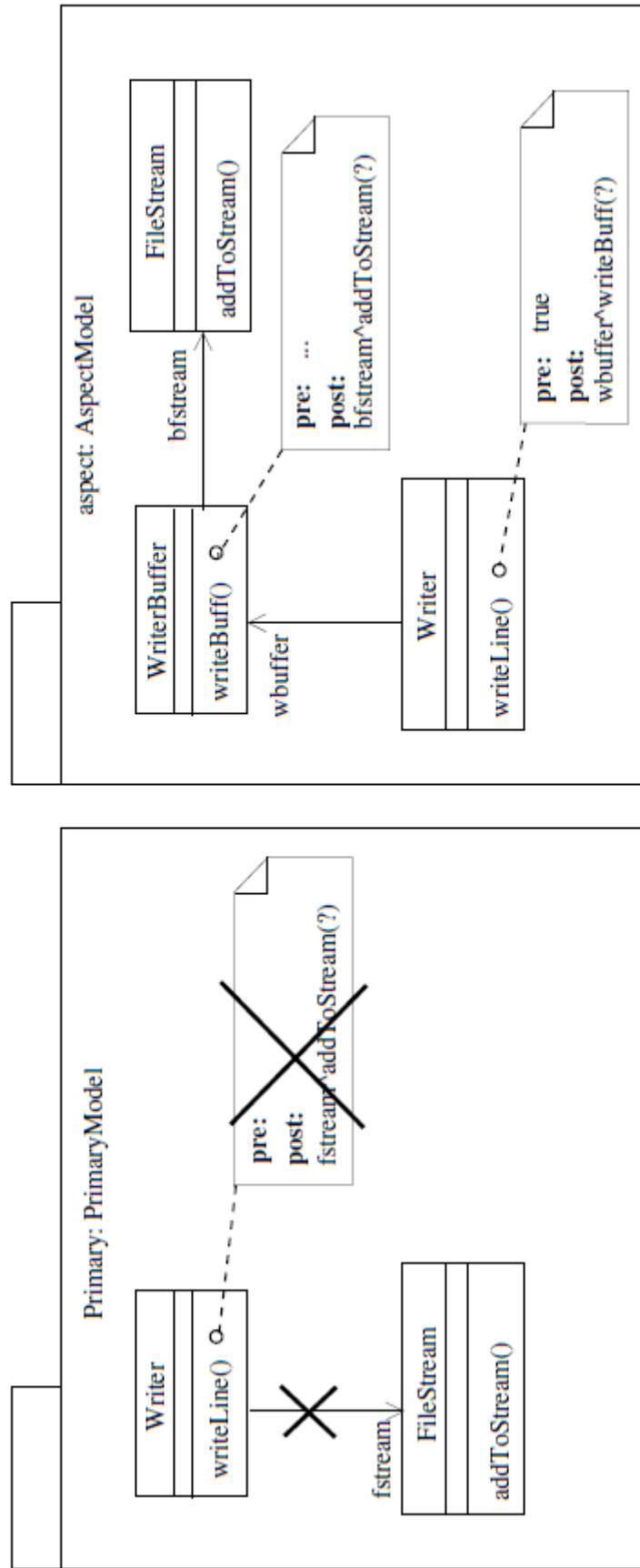


Figura 56 – Depois do uso de diretivas de composição para composição de aspectos.

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.

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.

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 57 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 houver 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*.

Segundo Stein, a composição de aspectos é implementada utilizando colaborações da UML e casos de uso (para definir a ordem de composição entre aspectos). A proposta permite a composição de aspectos e de introduções. No entanto, nenhum exemplo de composição é apresentado e o algoritmo não é descrito em detalhes. A falta de uma ferramenta para composição automática de modelos é uma das limitações do trabalho. Outra limitação do trabalho é que, embora a proposta utilize um perfil UML para adicionar estereótipos e valores rotulados, o meta-modelo da UML também é estendido. A extensão do meta-modelo não permite que a proposta seja utilizada em qualquer ferramenta CASE que suporte a importação de perfis.

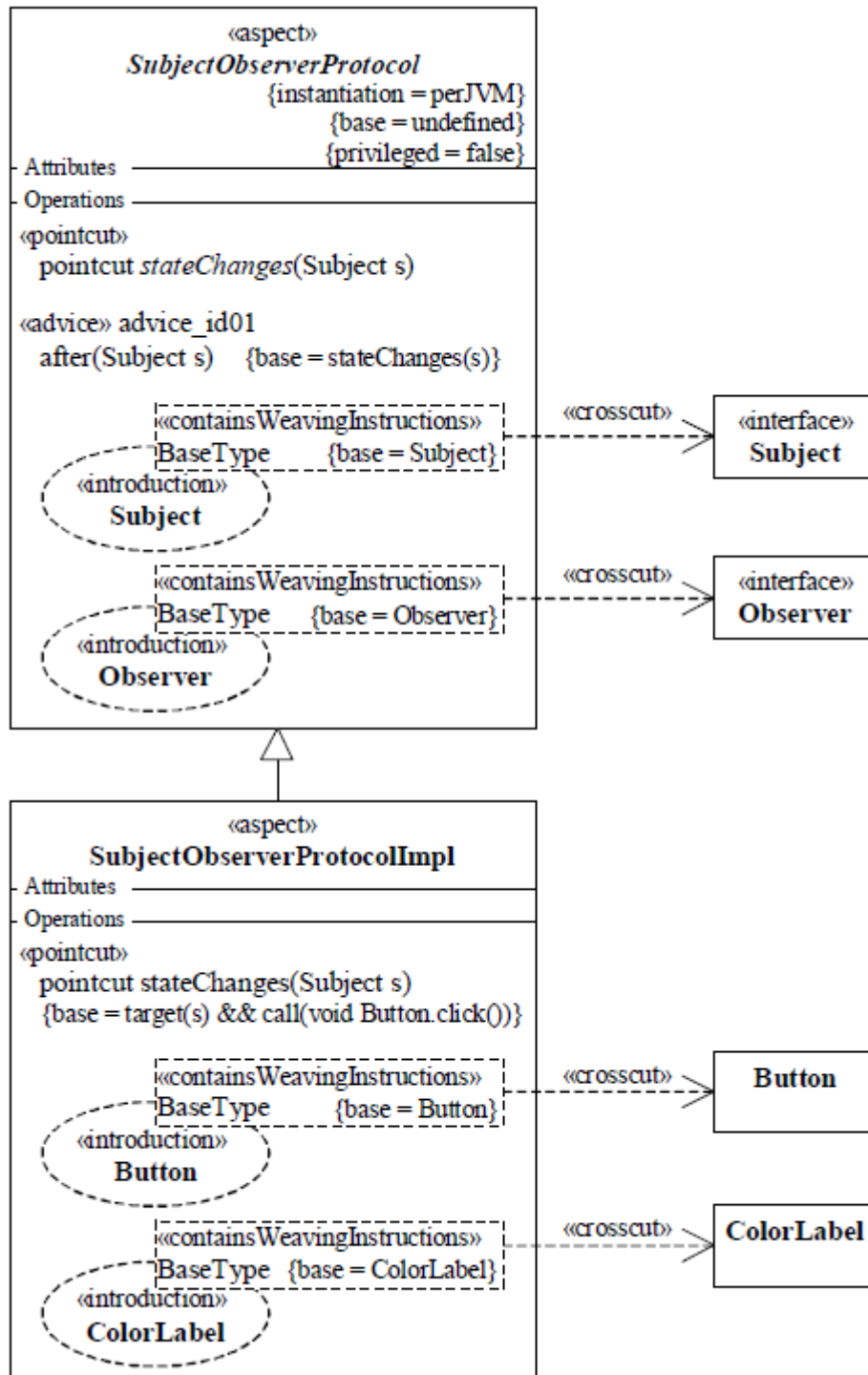


Figura 57 – Um modelo de aspecto segundo Stein.



## 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 58 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 58. 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 instanciação do aspecto para cada fluxo de execução após a captura de um ponto de corte. Esta instanciação poderia incluir o próprio ponto de corte (*percfow*), ou não (*percfowbelow*).

As declarações inter-tipos permitem a injeção de membros (métodos, atributos) em uma classe, mudanças de hierarquia de herança entre classes e de implementação de interfaces. 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 59 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). O interesse sendo modelado é a capacidade de um objeto ter seu estado copiado para outro objeto. A funcionalidade *Copyable* é especificada como

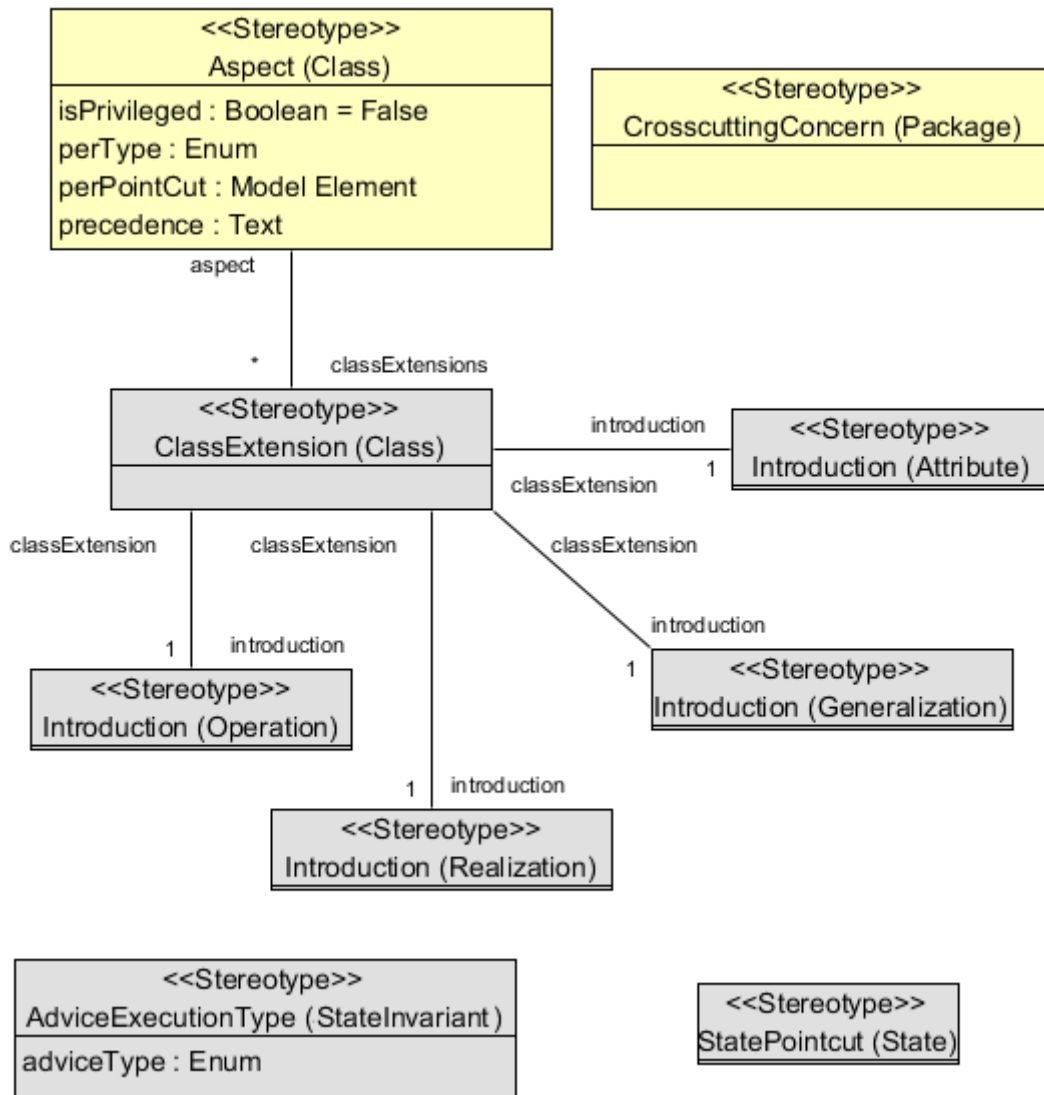


Figura 58 – Perfil UML para Modelagem de Sistemas Orientados a Aspectos.

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 aspecto, isto é, na representação estrutural de um aspecto com classes. Esta forma de especificação não permite a captura

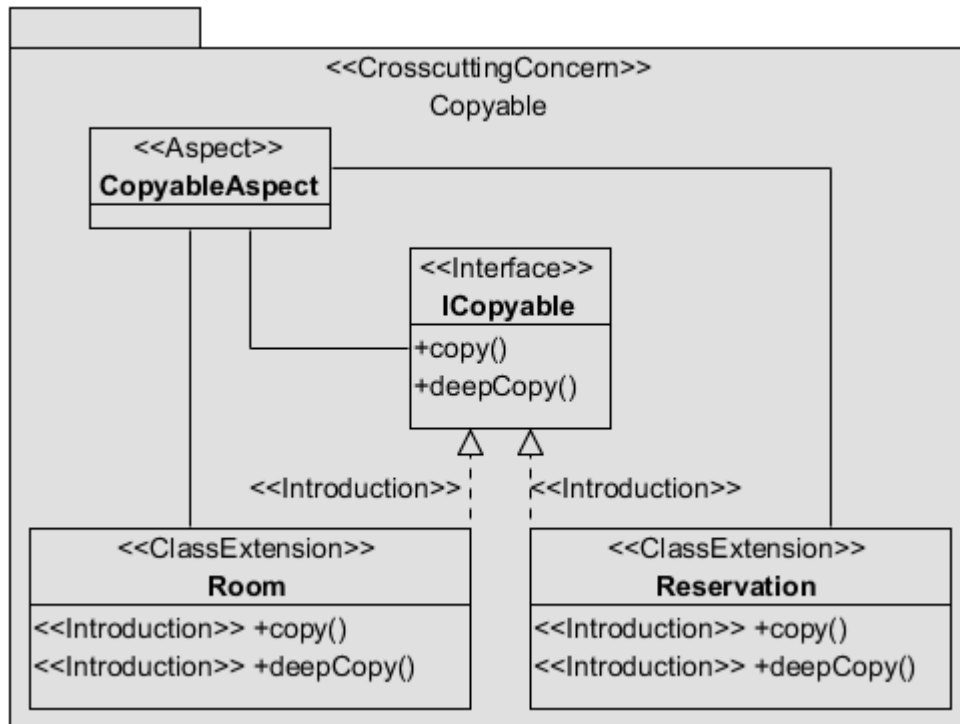


Figura 59 – Exemplo de Modelagem Estrutural: Interesse Entrecortante *Copyable*.

de múltiplos pontos de junção em um mesmo ponto de corte, pois apenas outros elementos do modelo 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 composição de pontos de corte é realizada através da composição de diferentes máquinas de estado. No perfil proposto, o estereótipo *StatePointcut* estende (*State*) e representa um ponto de corte. A definição deste estereótipo pode ser visualizada na figura 58.

A figura 60 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.

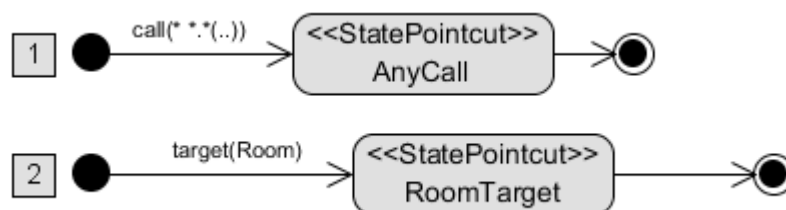


Figura 60 – Definição de Dois Pontos de Corte.

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. A figura 61 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 62 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.

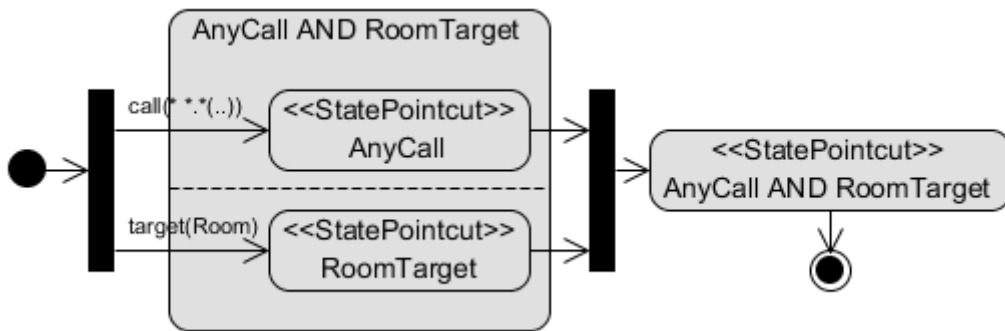


Figura 61 – A composição de dois pontos de corte com o operador AND.

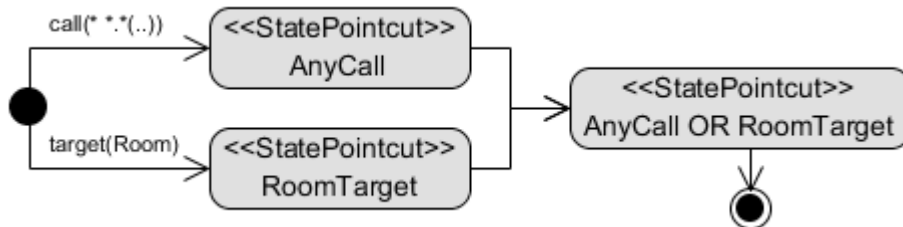


Figura 62 – A composição de dois pontos de corte com o operador OR.

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.

A definição de um modelo entrecortante (como um diagrama de sequência) inicia adicionando o aspecto como o objeto 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 58. 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 avisos e pontos de corte pode ser melhor compreendida no exemplo da figura 63. A figura 63 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.

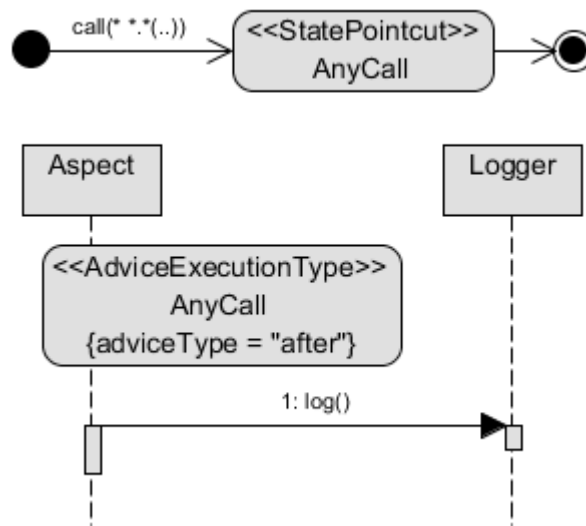


Figura 63 – A conexão entre pontos de corte e avisos usando invariantes de estado.

## 4.2 VISUALIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO AUTOMATIZADA DE ASPECTOS

Esta seção apresenta a ferramenta *SEA/Aspect* que é um dos produtos desta 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.

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 64 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*.

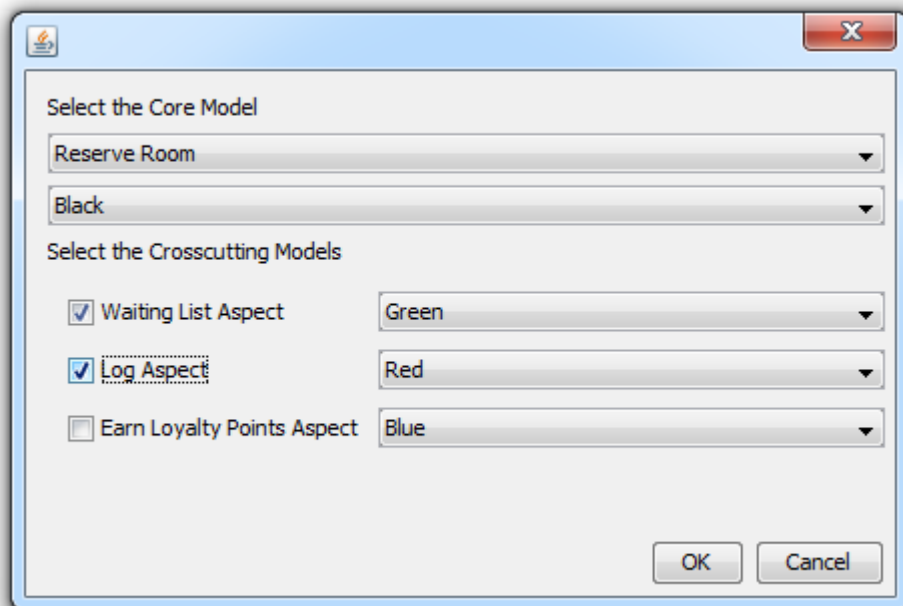


Figura 64 – Seleção de Modelos Para Composição.

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 76, 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 é utilizado para composição de modelos. Os principais elementos do meta-modelo podem ser visualizados no diagrama da figura 65. 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.

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, atributos e métodos. O diagrama de sequência também é um modelo e contém conceitos como linhas de vida, mensagens, invariantes de estado, etc.

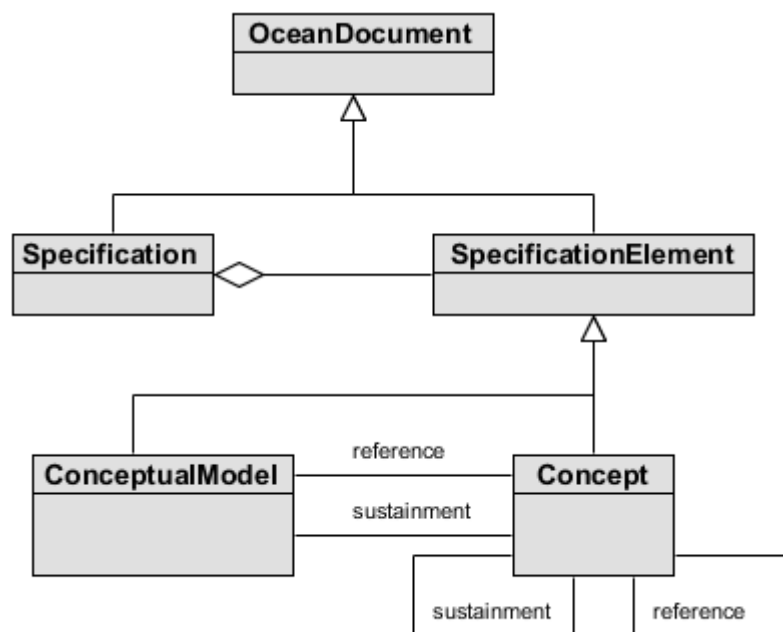


Figura 65 – SEA meta-model.

Com o meta-modelo para composição 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 67 apresenta um modelo composto originado pela composição de dois modelos estruturais (diagramas de classe). O primeiro diagrama é modelado na figura 59 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 66 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 as classes *Room* e *Reservation* 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 adicionando um relacionamento de realização de interface entre as classes *Room* e *Reservation* com a nova interface *ICopyable* e quatro estereótipos adicionando 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.

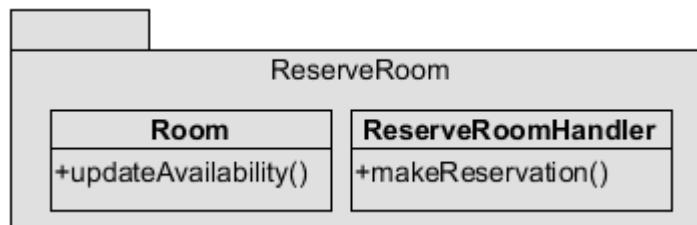


Figura 66 – Modelo núcleo para reserva de quarto.

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:
  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 mapeiam para os estados que definem o 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 ponto 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



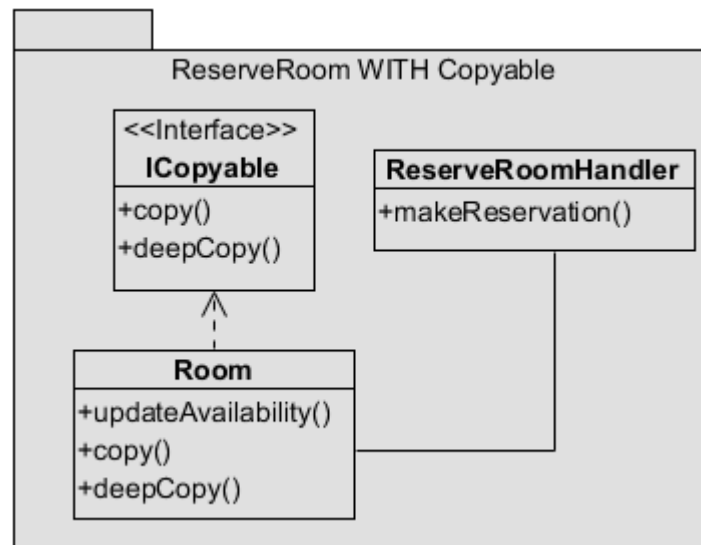


Figura 67 – Composição do modelo núcleo com o modelo entrecortante para cópia de estado entre objetos.

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.

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 e 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 direita na definição de aspectos. 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 68) e outro aspecto para autenticação de usuário, apresentado na figura 69. 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 proposto 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) na funcionalidade núcleo de um sistema facilita a compreensão e a manutenção de sistemas orientados a aspecto nas primeiras fases de desenvolvimento,

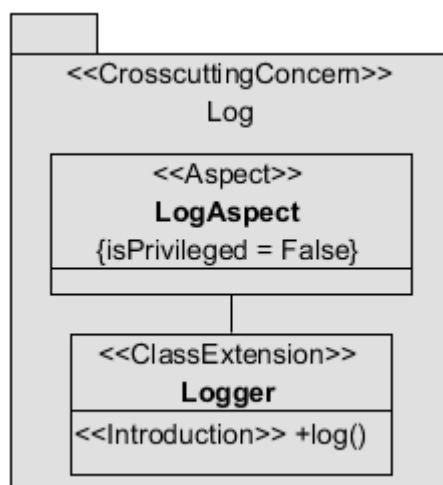


Figura 68 – Definição da aspecto para registro de mensagens.

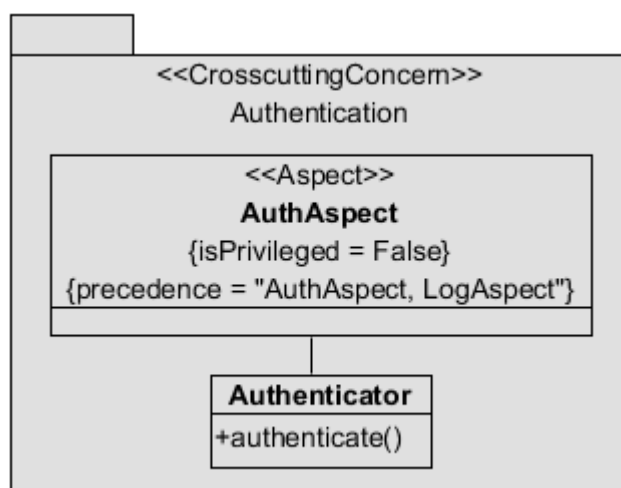


Figura 69 – Definição da aspecto para autenticação.

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 é apresentado em detalhes na próxima seção, que apresente dois estudos de caso utilizando a abordagem proposta.



## 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 permite a modelagem de funcionalidades importantes 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, de diagramas de sequência. O algoritmo de composição utiliza estereótipos e valores rotulados dos diagramas de classe, mas apenas a troca de mensagens é apresentada neste capítulo. 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.

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 check-out de clientes.

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

O primeiro diagrama de sequência é o que representa a troca de mensagens do interesse para reserva de quartos. O diagrama pode ser visualizado na figura 70. 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.

Os outros interesses modelados são interesses entrecortantes que contém pontos de corte e avisos. Este tipo de interesse estende os interesses núcleos adicionando novos comportamentos ao sistema. Os

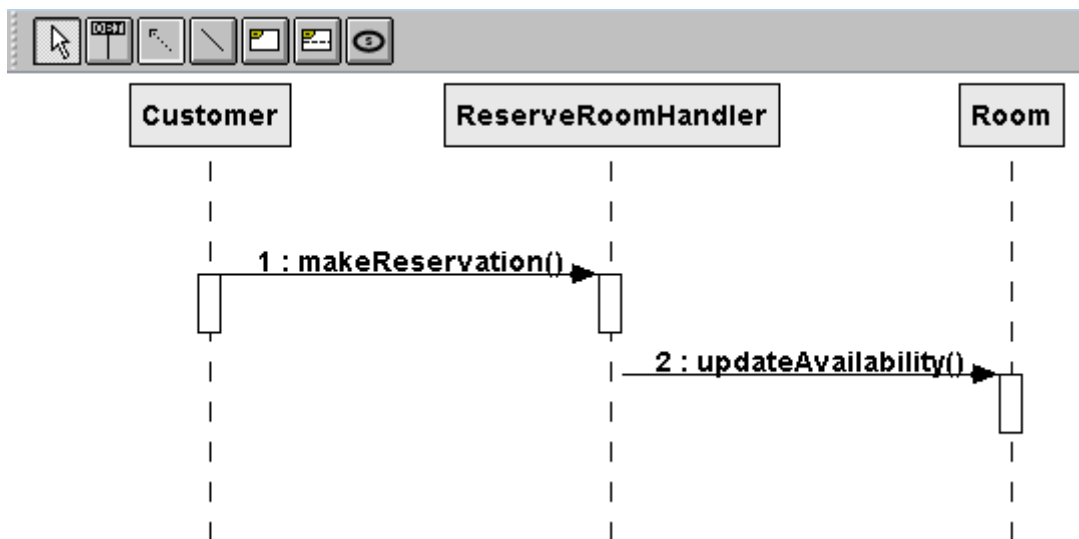


Figura 70 – Diagrama de Sequência: Reserva de Quarto.

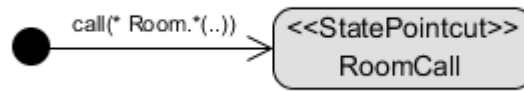


Figura 71 – Ponto de Corte: Registro de Mensagens.

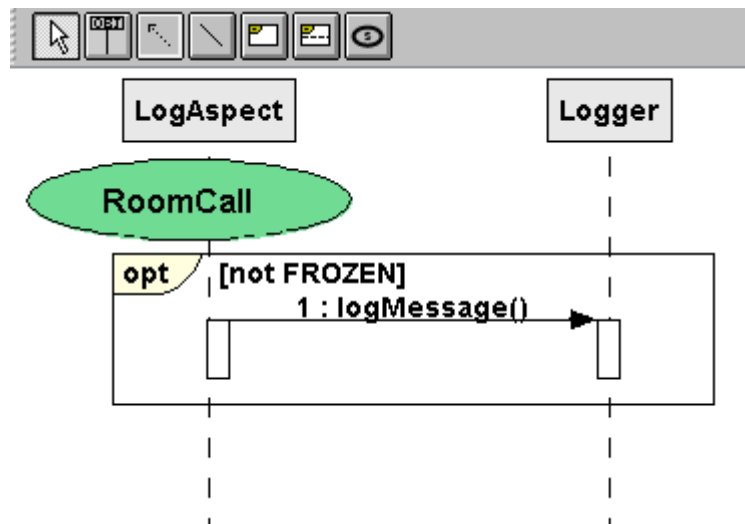


Figura 72 – Aviso: Registro de Mensagens.

pontos de corte capturam quais pontos do sistema serão estendidos e os avisos especificam o comportamento que deverá ser executado nestes pontos.

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 71. 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 72 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. Para realizar isto, é necessário um ponto de corte que captura a tentativa de um cliente reservar um quarto sem sucesso, porque o quarto está indisponível. A figura 73 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

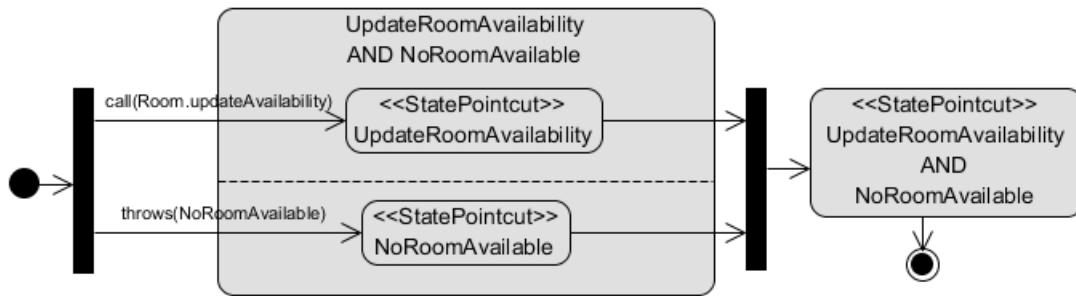


Figura 73 – Ponto de Corte: Controle de uma Lista de Espera.

a lista de espera. O comportamento é modelado no diagrama de sequência da figura 74. O diagrama tem o aspecto *WaitingListAspect* como o objeto 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. Novamente, o valor rotulado não é exibido no diagrama de sequência para não poluir o diagrama.

Depois da modelagem comportamental dos interesses núcleo e entrecortantes, o desenvolvedor pode intercambiar as visões do sistema, selecionando quais interesses deseja visualizar em uma mesmo diagrama. A primeira configuração de visões é uma composição entre o interesse para reserva de quarto e o interesse de registro de mensagens, a qual pode ser visualizada na figura 75. A ferramenta SEA/Aspect permite a seleção de um ou mais modelos para serem compostos ao mesmo tempo, e, uma segunda configuração é apresentada na figura 76, com os interesses para reserva de quarto, registr de mensagens e tratamento da lista de espera. O diagrama composto exibe um seletor de modelos na parte de baixo, 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. Esta diferenciação é importante para diferenciar quais mensagens vem de qual aspecto no modelo final.

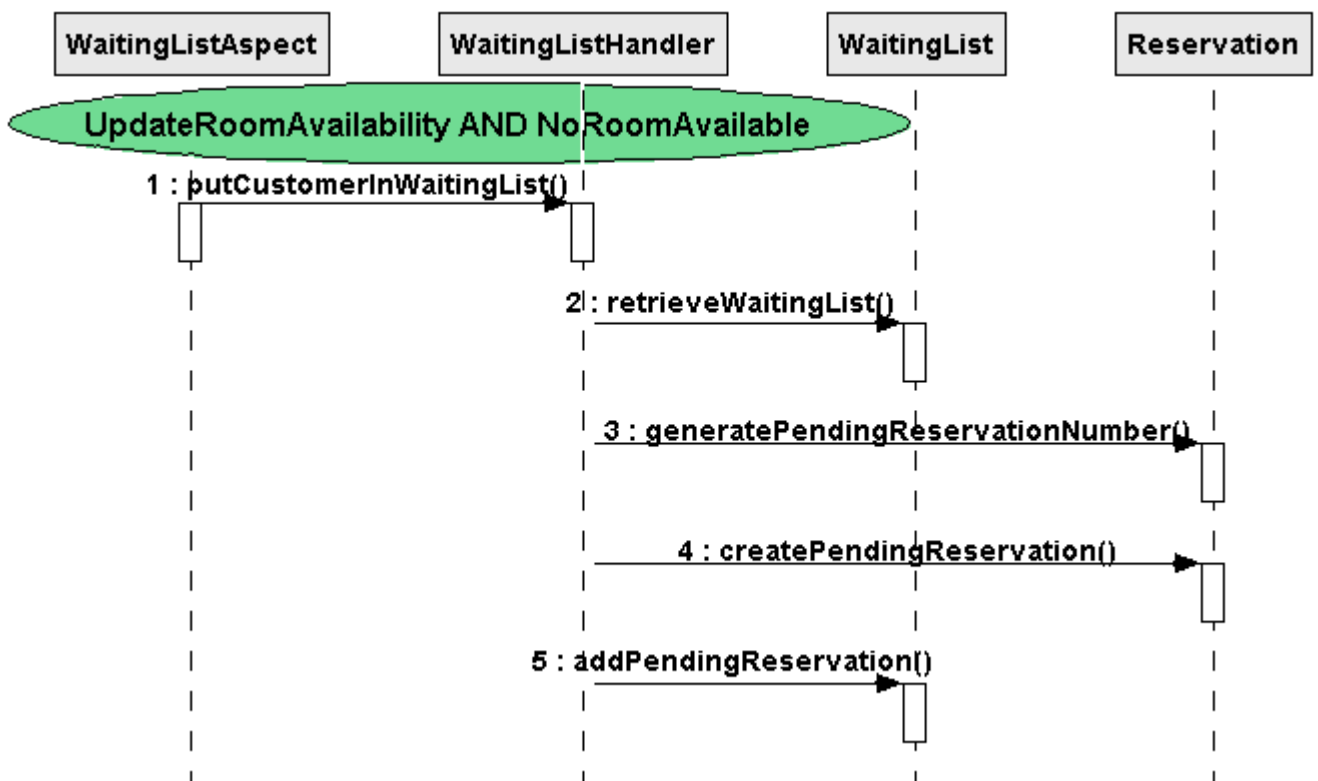


Figura 74 – Aviso: Controle de uma Lista de Espera.



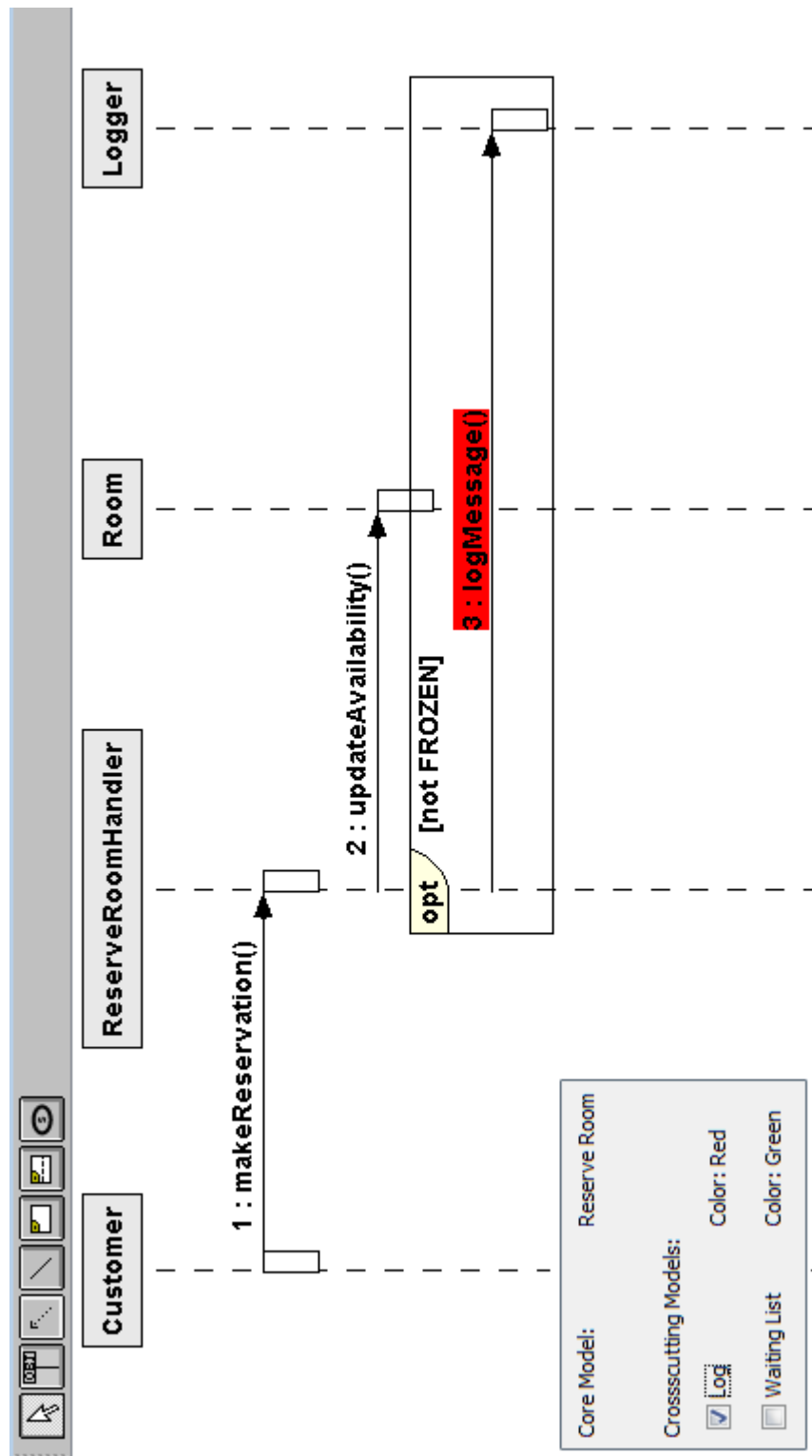


Figura 75 – Estudo de Caso: Reserve de Quarto composta com Registro de Mensagens.

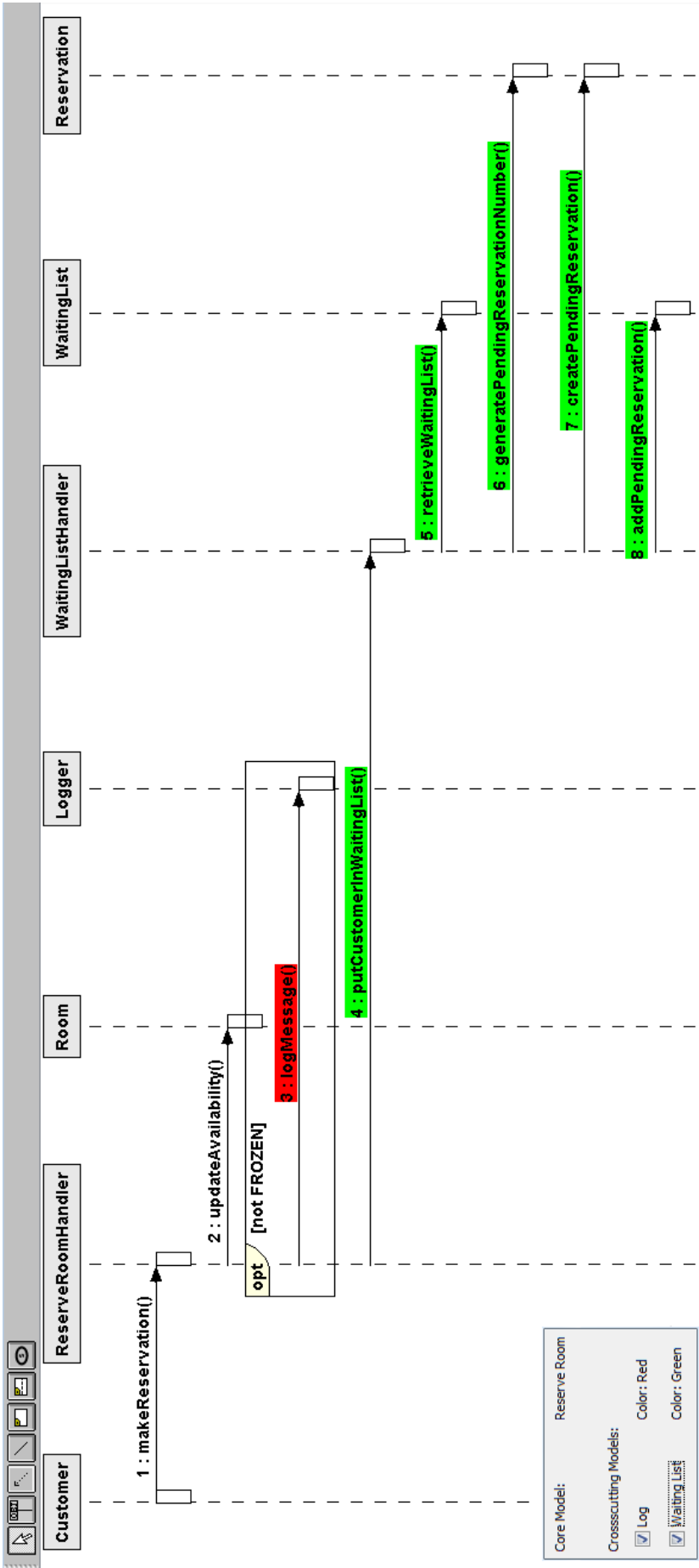


Figura 76 – Estudo de Caso: Reserve de Quarto composta com Registro de Mensagens e Controle de Lista de Espera.

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

O segundo estudo de caso . . .

## 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 COMPARAÇÃO DE ABORDAGENS

Existem algumas abordagens para modelagem de sistemas orientados a aspectos na área de pesquisa de modelagem de aspectos (AOM). É importante identificar alguns pontos de variação entre estas abordagens. Este artigo propõe uma comparação entre diferentes abordagens considerando os seguintes pontos de comparação:

- **Mecanismo de Extensão:** Algumas abordagens criam um perfil UML que estende a UML e pode ser utilizado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis. Outras abordagens modificam o meta-modelo da UML, diminuindo a possibilidade de reuso.
- **Especificação Estrutural?** As abordagens devem permitir especificar introduções, como a adição de métodos, atributos e mudanças em associações (herança e implementação de interfaces). Aspectos também devem ser especificados.
- **Especificação Comportamental?** A modelagem de pontos de corte e avisos é mandatória para uma abordagem que deseja especificar o comportamento de sistemas orientados a aspectos. A conexão entre pontos de corte e avisos também é desejável, pois permite compreender melhor a dinâmica do sistema.
- **Composição Automática?** A composição automática de modelos diminui o tempo necessário para realizar uma modelagem, pois parte do esforço é automatizado em uma ferramenta, sem esforço do desenvolvedor.
- **Alternância de Visões:** Permite a alternância de visões, visualizando apenas os modelos núcleo, ou a composição de modelos núcleo com modelos entrecortantes, diferenciando cada modelo no modelo composto.
- **Nível de Abstração:** A abordagem pode especificar aspectos em baixo nível de abstração, próximo da linguagem alvo, ou em alto nível de abstração, em nível de modelo, facilitando a compreensão.
- **Provado por Exemplos?** Verifica se os exemplos utilizados são relevantes e comprovam a aplicabilidade da proposta para modelagem de sistemas orientados a aspectos.

As tabelas de comparação entre abordagens podem ser visualizadas nas tabelas 2, 3, 4, 5 e 6. É importante destacar as abordagens que propõem um perfil UML para representar aplicações orientadas a aspectos. Uma extensão através de um perfil pode ser utilizada em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis, o que é uma vantagem importante para as propostas que estendem a linguagem através deste mecanismo. A composição automática de modelos é uma funcionalidade desejada, porque diminui o tempo gasto na modelagem, automatizando parte da mesma. É importante também representar todas as características das linguagens orientadas a aspectos usando diagramas estruturais e comportamentais da UML. Finalmente, abordagens que permitem a visualização dinâmica de interesses tem uma vantagem, pois a alternância de visões facilita a compreensão de um sistema nas primeiras fases de desenvolvimento. A modelagem em alto nível de abstração é desejada, pois também facilita a

	Klein (KLEIN; FLEUREY; JÉZÉQUEL, 2007)	Evermann (EVERMANN, 2007)
Mecanismo de Extensão	Meta-modelo	Perfil UML
Especificação Estrutural?	Não	Sim
Especificação Comportamental?	Sim	Não
Composição Automática?	Sim	Sim
Alternância de Visões?	Não	Não
Nível de Abstração	Alto	Alto
Provado por Exemplos?	Não	Não

Tabela 2 – Comparação entre Abordagens AOM (1).

	Kienzle (KIENZLE; ABED; KLEIN, 2009)	Jacobson (JACOBSON; NG, 2004)
Mecanismo de Extensão	Meta-modelo	Meta-modelo
Especificação Estrutural?	Sim	Sim
Especificação Comportamental?	Sim	Sim
Composição Automática?	Sim	Não
Alternância de Visões?	Não	Não
Nível de Abstração	Alto	Alto
Provado por Exemplos?	Sim	Sim

Tabela 3 – Comparação entre Abordagens AOM (2).

	Cui (CUI et al., 2009)	Stein (STEIN; HANENBERG; UNLAND, 2002a)
Mecanismo de Extensão	Perfil UML	Perfil UML e Meta-modelo
Especificação Estrutural?	Não	Sim
Especificação Comportamental?	Sim	Sim
Composição Automática?	Sim	Não
Alternância de Visões?	Não	Não
Nível de Abstração	Alto	Alto
Provado por Exemplos?	Não	Não

Tabela 4 – Comparação entre Abordagens AOM (3).

	Cottenier (COTTENIER, 2006)	Clarke (BANIASSAD; CLARKE, 2004a)
Mecanismo de Extensão	Perfil UML	Perfil UML e Meta-modelo
Especificação Estrutural?	Sim	Sim
Especificação Comportamental?	Sim	Sim
Composição Automática?	Sim	Sim
Alternância de Visões?	Sim	Não
Nível de Abstração	Baixo	Alto
Provado por Exemplos?	Sim	Sim

Tabela 5 – Comparação entre Abordagens AOM (4).

	France (REDDY et al., 2006b)	Ghilardi
Mecanismo de Extensão	Meta-modelo	Perfil UML
Especificação Estrutural?	Sim	Sim
Especificação Comportamental?	Sim (Parcial)	Sim
Composição Automática?	Não	Sim
Alternância de Visões?	Não	Não
Nível de Abstração	Alto	Alto
Provado por Exemplos?	Não	Sim

Tabela 6 – Comparação entre Abordagens AOM (5).

compreensão do sistema. Uma modelagem em baixo nível de abstração tem construções muito próximas do código, o que permite a geração de código, mas dificulta a compreensão do sistema.

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.





## 7 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.

### 7.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

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;
- Definição de um perfil dentro dos padrões da UML, o qual pode ser adicionado em ferramentas CASE que suportem a importação de perfis;
- 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.

### 7.2 PRODUTOS DE TRABALHO

Os produtos resultantes deste trabalho de pesquisa são:

- Suporte a modelagem de sistemas orientados a aspectos no ambiente SEA;
- Visualizador da dinâmica de aspectos no ambiente SEA;
- 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);

### 7.3 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.

## 7.4 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 da aplicação (*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 um sistema orientado a aspectos. A comparação entre abordagens também é um tema que pode ser pesquisado, com o objetivo de unificar critérios utilizados em outros artigos que realizam comparação entre diferentes abordagens para modelagem de sistemas orientados a aspectos (WIMMER et al., 2011). 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. Disponível em: <<http://eclipse.org/aspectj/>>.
- BANIASAD, 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.
- BANIASAD, 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.
- 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. Disponível em: <<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. Disponível em: <<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.
- 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 Congreso Iberoamericano en Ingeniería de 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. Disponível em: <[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. Disponível em: <<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: *Early Aspects Workshop at ICSE*. [S.l.: s.n.], 2008.
- (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.
- PARADIGM, V. *UML Profile Management*. dez. 2011. Disponível em: <<http://www.visual-paradigm.com/product/vpuml/tutorials/umlprofile.jsp>>.
- PRESSMAN, R. S. *Software Engineering: A practitioner's approach*. [S.l.]: McGraw-Hill, 2001.
- 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 elaboração de dissertação*. [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.
- 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. Disponível em: <<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.

UNIFIED Modeling Language (UML) Superstructure 2.4.1. [S.l.], aug.

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.