

FLEXIBILIZAÇÃO PARA REPRESENTAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NO AMBIENTE ODYSSEY

Eldânae Nogueira Teixeira

PROJETO FINAL DE CURSO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DO INSTITUTO DE MATEMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Apresentado por:

Eldânae Nogueira Teixeira

Aprovado por:

Profa. Cláudia Maria Lima Werner, D.Sc.
(Orientadora)

Aline Pires Vieira de Vasconcelos, D. Sc.
(Co-orientadora)

Vanessa Braganholo Murta, D. Sc.

Marco Alexandre de Macedo Lopes, M. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
ABRIL DE 2008

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado ao DCC/UFRJ como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

FLEXIBILIZAÇÃO PARA REPRESENTAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NO AMBIENTE ODYSSEY

Eldânae Nogueira Teixeira

Abril/2008

Orientadora: Cláudia Maria Lima Werner

Co-orientadora: Aline Pires Vieira de Vasconcelos

A modelagem de variabilidades, que representa similaridades e diferenças de uma família de sistemas em abordagens de reutilização de software, tais como Engenharia de Domínio, e uma de suas vertentes, i.e., a Linha de Produtos de Software, pode ser especificada através da modelagem de características. Característica pode ser entendida como uma capacidade ou um aspecto visível ao usuário e distinto de um sistema (ou sistemas) de software. Essa modelagem pode ser realizada através de diferentes notações, cuja escolha está relacionada a diferentes fatores como maior adequação com requisitos que atendam à modelagem ou maior conhecimento de uma equipe de desenvolvimento.

A modelagem deve ser suportada por um ambiente de desenvolvimento com suporte à reutilização, a fim de torná-la eficiente e adequada ao processo de desenvolvimento. Para isso, é importante a flexibilidade de escolha de uma notação dentro do ambiente, que deve suportar a representação de diferentes notações individualmente e a possibilidade de transição entre elas.

Este trabalho está inserido no contexto do ambiente de desenvolvimento Odyssey, uma infra-estrutura de reutilização baseado em modelos de domínio, estruturado de forma fixa, disponibilizando apenas a notação proprietária Odyssey-FEX. O propósito deste trabalho é flexibilizá-lo através do estudo de sua estrutura de modo a comportar novas notações de modelagem de características e a possibilidade de transição entre elas. Inicialmente, 2 novas notações reconhecidas na literatura são adicionadas a título de avaliação da abordagem. A adaptação do ambiente requer um estudo detalhado dos conceitos presentes em cada notação, a fim de identificar suas propriedades comuns e suas particularidades, ou seja, suas variabilidades.

Abstract of Final Project presented to DCC/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Computer Science Graduation.

FLEXIBILIZATION FOR FEATURE MODELING IN THE ODYSSEY SDE

Eldânae Nogueira Teixeira

April/2008

Advisor: Cláudia Maria Lima Werner

Co-Advisor: Aline Pires Vieira de Vasconcelos

Variability Modeling, which represents commonality and variability of a system family in software reuse approaches, such as Domain Engineering, and one of its variants, i.e. Software Product Line, can be specified through feature modeling. Feature can be understood as a capacity or aspect that is visible to the user and distinct of a software system (or systems). This modeling can be performed with different notations, in which one might be chosen considering different factors such as higher adequacy to the modeling requirements or greater knowledge of the development team.

Modeling should be supported by an appropriate software development environment, with support for reuse, aiming at achieving efficiency and adequacy to the development process. In this aspect, it is important the flexibility of choosing a notation in the development environment, that should support the representation of different notations individually, one by one, and the possibility of transitioning between them.

This work is developed within the context of the Odyssey development environment, a software reuse environment based on domain models, which structure is fixed with only the Odyssey-FEX notation, a proprietary notation. The goal is to achieve modeling flexibility through the study of its structure and the concepts related to the notations, allowing it to represent different feature notations and the possibility of transitioning between them. Initially, 2 meaningful notations, referenced in the literature are added in order to evaluate the approach. Odyssey adaptation requires a detailed study of the concepts present in each notation in order to identify their similarities and differences, which means, their variabilities.

Índice

Capítulo I – Introdução	6
1.1 – Preâmbulo	9
1.2 – Motivação	11
1.3 – Objetivo	12
1.4 – Organização	13
Capítulo II – Revisão da Literatura	15
2.1 – Introdução	15
2.2 – Abordagens de Reutilização: Engenharia de Domínio (ED) e Linha de Produtos de Software (LP).....	15
2.2.1 – Conceito de Variabilidade	15
2.2.2 – Engenharia de Domínio (ED).....	16
2.2.3 – Linha de Produtos de Software (LP)	18
2.2.4. Considerações sobre ED e LP	20
2.3 – A Representação do Conceito de Variabilidade através da Modelagem de Características.....	20
2.3.1 – Odyssey-FEX	21
2.3.1.1- Exemplo de Utilização da Notação para Modelagem de um Domínio de Telefonia Móvel	21
2.3.1.2 – Descrição dos Conceitos da Notação Odyssey-FEX.....	23
2.3.2 - Notação de Czarnecki	29
2.3.2.1 - Exemplo de Modelagem Utilizando a Notação de Czarnecki para um Domínio de Perfil de Segurança.....	29
2.3.2.2 – Descrição dos Conceitos da Notação de Czarnecki.....	31
2.3.3 - Notação de Gomaa (GOMAA, 2004)	33
2.3.3.1- Exemplo de Utilização da Notação de Gomaa para Modelagem de um Domínio de Hotel	33
2.3.3.2 – Descrição dos Conceitos da Notação de Gomaa	34
2.4 - Estudo sobre Ferramentas para Modelagem de Características	38
2.5 Considerações Finais	42
Capítulo III – Abordagem Proposta	44
3.1 – Introdução	44
3.2 - Estudo Comparativo entre as Três Notações Abordadas neste Trabalho.....	44
3.2.1- Taxonomia das Características.....	45
3.2.2 - Dependência e Mútua Exclusividade entre Características	50
3.2.3 – Relacionamentos.....	51
3.3 – Definição dos Mapeamentos entre as Notações e as Perdas de Informações após Transições.....	52
3.3.1- Análise da Classe de Taxonomia das Características.....	53
3.3.2 - Análise da Classe de Dependência e Mútua Exclusividade entre Características.....	58
3.3.3 – Análise da Classe de Relacionamentos	60
3.4 – Considerações Finais	62
Capítulo IV – Implementação da Flexibilização para Representação de Características no Ambiente Odyssey.....	63
4.1 – Introdução	63
4.2 – O Ambiente Odyssey.....	64
4.2.1 – Estrutura Semântica do Ambiente Odyssey	66
4.3 – Implementação.....	68

4.3.1 – Descrição das Alterações na Estrutura Semântica do Ambiente Odyssey .	69
4.3.2 – Descrição das Representações das Notações no Ambiente Odyssey	71
4.3.2.1 – Padrão de Domínio das Características	72
4.3.2.2 – Diagramador de Características.....	77
4.3.2.3 – O Processo de Transição.....	78
4.4 - Exemplo de Utilização	80
4.4.1 - Descrição do Domínio de Telefonia Móvel	80
4.4.2 - Realização do Exemplo de Utilização.....	82
4.5 – Considerações Finais	94
Capítulo V – Conclusões e Trabalhos Futuros	96
5.1 – Considerações Finais	96
5.2 – Contribuições.....	97
5.3 – Limitações e Trabalhos Futuros	99
Referências Bibliográficas.....	102
ANEXO I.....	106
Exemplo de Utilização – Tabela Categorias Características	106
ANEXO II	109
Exemplo de Utilização – Tabela Relacionamentos	109

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipos de características na notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006).....	24
Tabela 2 - Propriedade das características na notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006)	26
Tabela 3 - Relacionamentos da notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006).....	27
Tabela 4 - Correlação semântica do conceito de opcionalidade nas três notações.....	45
Tabela 5 - Correlação do conceito de variabilidade nas 3 notações.....	46
Tabela 6 - Correlação do conceito de classificação por categorias nas 3 notações.....	48
Tabela 7 - Correlação do conceito de propriedades de uma característica nas 3 notações	49
Tabela 8 - Correlação do conceito de regra de composição nas 3 notações.....	50
Tabela 9 - Correlação do conceito de relacionamento nas 3 notações.....	52
Tabela 10 - Perdas referentes aos conceitos de opcionalidade e variabilidade após transição entre as notações.....	55
Tabela 11 - Mapeamentos dos relacionamentos.....	61
Tabela 12- As representações de algumas características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições.....	90
Tabela 13 - As representações dos relacionamentos entre as características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições.....	91
Tabela 14 - As representações da semântica das regras de composição entre as características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições.....	92
Tabela 15 - Cardinalidades inferidas no ambiente Odyssey antes da realização deste trabalho.....	98

Índice de Figuras

Figura 1 - Atividades essenciais da Linha de Produtos (Adaptado de NORTHROP (2002))	18
Figura 2 - Exemplo de Utilização da Notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006)	22
Figura 3 - Classificação ortogonal das características na notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006).....	25
Figura 4 - Exemplo de modelo de características na notação de Czarnecki (CZARNECKI <i>et al.</i> , 2004).....	29
Figura 5 - Cardinalidade de características solitárias na notação de Czarnecki (CZARNECKI <i>et al.</i> , 2005).....	32
Figura 6 - Exemplo de Utilização da Notação GOMMA (GOMMA, 2004)	33
Figura 7 - Estereótipos dos tipos de grupo na notação de Gomma (2004).....	37
Figura 8 - Exemplo de um modelo de característica e de uma configuração do modelo no editor da ferramenta FeaturePlugin (ANTKIEWICZ e CZARNECKI, 2004).....	39
Figura 9 - Restrições para a configuração do exemplo da Figura 8 (ANTKIEWICZ e CZARNECKI, 2004).....	39
Figura 10 - Modelo do domínio de Telefonia Móvel na notação Odyssey-FEX	53
Figura 11 - Diagrama do conceito de opcionalidade e variabilidade	54
Figura 12 - Diagrama do conceito de Dependência e Mútua Exclusividade entre características.....	59
Figura 13 - Árvore semântica com níveis de abstração no ambiente Odyssey	64
Figura 14 - Infra-estrutura do Odyssey	65
Figura 15 - Representação Interna do Ambiente Odyssey: Kernel	66
Figura 16 - Estrutura interna do Odyssey de acordo com a notação Odyssey-FEX	68
Figura 17 - Alteração na estrutura interna do ambiente Odyssey para incorporação das novas notações.....	69
Figura 18 - Estrutura semântica alterada do ambiente Odyssey.....	70
Figura 19 - Padrão de domínio de característica seguindo a notação Odyssey-FEX	72
Figura 20 - Cardinalidade no ponto de variação de acordo com a classificação de opcionalidade.....	73
Figura 21 - Padrão de domínio de característica seguindo a notação de Czarnecki.....	74
Figura 22 - Campos para configuração da cardinalidade de uma característica solitária.....	74
Figura 23 - Valores das cardinalidades de características raiz e agrupada.....	75
Figura 24 - Padrão de domínio de característica seguindo a notação de Gomma e opções de tipos de grupo	76
Figura 25 - Janela do Diagramador de Característica na notação Odyssey-FEX.....	77
Figura 26 - Diferenças entre as barras de ferramentas correspondentes a notação de Czarnecki e a notação de Gomma.....	78
Figura 27 - Botões de transição entre as notações no ambiente Odyssey	79
Figura 28 - Modelo do domínio móvel representado na notação Odyssey-FEX e ambiente Odyssey estruturado para modelagem utilizando a notação Odyssey-FEX ...	83
Figura 29 - Visualização das diferentes etapas do processo de transição para a notação de Czarnecki	85
Figura 30 - Modelo do domínio móvel representado na notação de Czarnecki e ambiente Odyssey estruturado para modelagem utilizando a notação de Czarnecki.....	86
Figura 31 - Regras de Composição – Uso restrito à notação Odyssey-FEX.....	86
Figura 32 - Visualização das diferentes etapas do processo de transição para a notação de Gomma.....	88

Figura 33 - Modelo do domínio móvel representado na notação de Goma e ambiente
Odyssey estruturado para modelagem utilizando a notação de Goma 89

1.1 – Preâmbulo

A Reutilização de Software é a disciplina responsável pela criação de sistemas de software a partir de software preexistente (KRUEGER, 1992). Consiste na incorporação de software existente ou conhecimento referente a esse software para construir um novo. Dentro desse contexto, está inserida a montagem de uma infra-estrutura que torne viável e satisfatória a reutilização. Tal montagem envolve o tratamento das informações reutilizáveis, i.e., identificação das informações relevantes para aplicação em reutilização, posterior processo de representação, tratamento da granularidade, indexação e armazenamento em repositórios, dentre outros processos.

Dentro da linha de estudo de reutilização de software, visando efetivá-la de forma sistemática em todas as fases de desenvolvimento, pode-se destacar as abordagens de Engenharia de Domínio (ED), e uma de suas vertentes, i.e., a Linha de Produtos de Software (LP).

O processo de Engenharia de Domínio pode ser dividido em três fases principais, definidas como as etapas de análise de domínio, projeto e implementação de uma infra-estrutura de reutilização (KANG *et al.*, 1990; GRISS *et al.*, 1998; SIMOS e ANTHONY, 1998; BRAGA, 2000). Esse processo visa prover uma infra-estrutura que permita uma efetiva e controlada prática de reutilização no desenvolvimento de software. Como resultado da fase de projeto, está a definição de uma arquitetura que consiste na especificação dos componentes relevantes para a reutilização, mecanismos de customização e a distribuição entre repositórios. Associada ao modelo de domínio, resultado da fase de análise, forma a base de implementação que efetivamente produz e testa os componentes, i.e., gera modelos implementacionais que representam os requisitos, resultados das etapas anteriores, como componentes reutilizáveis. Assim, estes artefatos gerados são a base para a construção de aplicações, através da Engenharia de Aplicação (EA), que consiste no processo de reutilização através da instanciação de tais artefatos para uma aplicação específica.

A Linha de Produtos (LP) de Software é definida, segundo o SEI (*Software Engineering Institute*), como sendo “um conjunto de sistemas de software que

compartilham um conjunto de características comuns e controladas, que satisfazem necessidades de um segmento de mercado em particular, e são desenvolvidos a partir de artefatos (*core assets*), de forma predefinida” (NORTHROP, 2002). O núcleo de artefatos constitui a base do paradigma de Linha de Produtos e inclui arquitetura de software, componentes de software reutilizáveis, modelos de domínio, requisitos, cronogramas, orçamentos, planos e casos de teste, planejamento e descrição de processos, dentre outros artefatos da LP.

Ambas as técnicas mencionadas incorporam no processo a fase de Análise de Domínio (AD). Segundo PRIETO-DIAZ e ARANGO (1991), a AD é definida como “o processo de identificar e organizar o conhecimento a respeito de uma classe de problemas, de maneira a suportar a descrição e solução de tais problemas”. Inclui a identificação de conhecimento, aquisição e análise, ou seja, a coleta de informações e conhecimento sobre uma coleção de sistemas, visando explicitar seu conjunto de similaridades e diferenças. Esses aspectos comuns, que representam pontos que podem ser reutilizados, e os aspectos diferentes entre os sistemas referem-se ao conceito de variabilidade. Esse conhecimento resultante da análise de domínio é representado através de um modelo genérico, denominado Modelo de Domínio.

Uma das maneiras de especificar o conhecimento adquirido na atividade de AD, também denominada modelagem de variabilidades, pode ser pelo enfoque de modelagem de características (*features*), um modelo de alto nível de abstração, que visa expressar requisitos do domínio como características. Pela definição de KANG *et al.* (1990), uma característica representa “um aspecto, uma qualidade, ou uma característica visível ao usuário, proeminente ou distinta, de um sistema (ou sistemas) de software”. Embora variabilidades possam ser modeladas através de modelos de software já conhecidos, como modelos UML estendidos, a modelagem de variabilidades através de características é mais usada em processos de ED e LP. Dentre os métodos de ED que se apresentam na literatura estão o FODA (*Feature Oriented Domain Analysis*) (KANG *et al.*, 1990), o FORM (*Feature Oriented Reuse Method*) (KANG *et al.*, 2002), o Odyssey-DE (BRAGA, 2000) e um refinamento desse último, denominado CBD-Arch-DE (BLOIS *et al.*, 2004), além de alguns métodos de LP como Kobra (ATKINSON *et al.*, 2002) e PLUS (GOMAA, 2004) .

1.2 – Motivação

Mediante os benefícios obtidos pelo processo de reutilização no desenvolvimento de software, como melhores índices de produtividade, melhoria na qualidade e confiabilidade do software, redução no tempo e custos envolvidos no desenvolvimento (FRAKES E KANG, 2005; WERNER E BRAGA, 2000), dentre outros, as técnicas que dão suporte a este processo devem ser aprimoradas para melhor auxiliar o desenvolvimento de software.

A definição do escopo do domínio, suas similaridades e diferenças, alcançada através da atividade de Análise de Domínio (AD), auxilia desenvolvedores na criação de uma estrutura que contribui no processo de reutilização, servindo como base para identificar oportunidades de reutilização que tragam benefício no desenvolvimento.

A modelagem de características, uma das formas de refletir o conhecimento adquirido durante a atividade de AD, suporta a representação das variabilidades. Em um primeiro estágio, auxilia na definição do escopo da coleção de sistemas, identificando as características relevantes, as que devem ser mantidas ou descartadas. Posteriormente, suporta o desenvolvimento de uma arquitetura comum de uma coleção de sistemas, relacionada com os pontos e alternativas de variação capturadas no modelo.

Essa modelagem de características pode ser realizada através de diferentes notações, como a notação FODA (KANG *et al.*, 1990), a notação do método FORM (KANG *et al.*, 2002; LEE *et al.*, 2002), a notação do método FeatuRSEB (GRISS *et al.*, 1998), a notação de RIEBISCH (RIEBISCH *et al.*, 2002), a notação de CECHTICKY (CECHTICKY *et al.*, 2004), a notação de CZARNECKI (CZARNECKI *et al.*, 2004) (CZARNECKI *et al.*, 2005), a notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006) e a notação definida por GOMAA (2004), dentre outras. Essas notações apresentam alguns conceitos com a mesma semântica. No entanto, apresentam particularidades que influenciam na modelagem do domínio e as difere entre si. A escolha da notação mais apropriada pode estar relacionada a uma série de fatores, como: maior conhecimento e familiaridade da equipe, popularização de uma determinada notação, disponibilidade de ambiente de desenvolvimento que suporte a notação, ou maior adequação aos requisitos que atendam à modelagem, dentre outros fatores. Não existe uma notação padrão para a modelagem de características.

A modelagem deve ser apoiada por um ambiente de desenvolvimento com suporte à reutilização (TRACZ, 1994), a fim de torná-la eficiente e adequada ao

processo de desenvolvimento “para” reutilização, ex: ED, e “com” reutilização, i.e. Engenharia de Aplicação. Apesar da combinação de técnicas e ferramentas voltadas para a reutilização ser defendida como um caminho para aumentar a eficiência do desenvolvimento de software, as técnicas e ferramentas disponibilizadas atualmente apresentam uma série de deficiências quando no contexto deste paradigma de desenvolvimento. Dentre essas deficiências, está a ausência de flexibilidade de escolha de uma notação durante o processo de modelagem de domínio, estando a modelagem limitada aos conceitos e propriedades oferecidos por uma respectiva notação. Outra restrição observada é quanto à forma de representação dos modelos, onde a parte gráfica e de visualização são limitadas. Alguns ambientes, como o *FeaturePlugin* e o *AmiEddi* (ANTKIEWICZ & CZARNECKI, 2004), dentre outros detalhados na seção 2.4 do Capítulo 2, não oferecem ferramentas que ajudam na automatização das diversas etapas definidas em um processo de reutilização, representando apenas ambientes de modelagem.

1.3 – Objetivo

Dentro desse contexto e levando em consideração a importância da modelagem de características como suporte para a reutilização, observa-se a necessidade da flexibilização de um ambiente de suporte à reutilização para a adaptação deste a diferentes notações de modelagem de características que atendam à realidade de cada equipe ou empresa.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho consiste em avaliar a estrutura de um ambiente de suporte ao desenvolvimento baseado em reutilização e propor uma solução para a sua flexibilização a diferentes notações de características para a modelagem de variabilidades. Essa adaptação requer uma preparação da estrutura do ambiente para representar cada notação individualmente com suas diferenças e particularidades. Outro aspecto relevante é a possibilidade de migração de uma notação para outra, que deve tratar os conceitos restritos a cada notação e realizar o mapeamento de conceitos e propriedades com a mesma semântica, mas levando em consideração as diferentes representações referentes a cada notação.

Como resultado da pesquisa na área de reutilização de software, foi desenvolvido na COPPE um protótipo de ambiente de suporte ao desenvolvimento baseado em reutilização, denominado Odyssey (ODYSSEY, 2008), que combina

técnicas e ferramentas para apoio à reutilização. Esse trabalho se encontra inserido no contexto do projeto Odyssey que deu origem a este ambiente. O ambiente Odyssey apresenta uma estrutura fixa, com apenas uma notação para a modelagem de características denominada Odyssey-FEX, definida por OLIVEIRA (2006). A escolha do Odyssey para adaptação a diferentes notações neste trabalho se refere às diferentes características disponibilizadas pelo ambiente, com ferramentas automatizadas de apoio às diferentes etapas do processo de reutilização e por ser um ambiente voltado para as práticas de desenvolvimento *para* e *com* reutilização. Outro aspecto de escolha se refere ao fato de ser o ambiente desenvolvido pelo mesmo grupo de pesquisa no qual este trabalho está inserido.

Esse trabalho deve levar em consideração o impacto da flexibilização na estrutura do ambiente Odyssey para viabilizar a atual incorporação de duas novas notações de características, visando ser atingido de forma a criar possibilidades de extensões em trabalhos futuros a outras possíveis notações. As duas notações abordadas são: a notação definida por CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e a notação definida por GOMAA (2004). A escolha destas notações está relacionada com o fato de serem amplamente referenciadas na literatura.

1.4 – Organização

Este trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos. No segundo capítulo, é apresentada uma revisão da literatura, com o detalhamento do estudo das três notações envolvidas no desenvolvimento desse trabalho, a notação Odyssey-FEX, definida por OLIVEIRA (2006), a notação definida por CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e a notação definida por GOMAA (2004). É também apresentado um detalhamento do conceito sobre Engenharia de Domínio e Linha de Produtos de Software. Além disso, são apresentadas algumas funcionalidades presentes em ambientes que oferecem algum suporte para a modelagem de características.

O terceiro capítulo consiste na apresentação da abordagem proposta. Inclui explicações do estudo comparativo realizado entre as três notações e definições dos mapeamentos entre os conceitos das notações. Esse capítulo permite a visualização das diferenças e semelhanças entre as notações e as perdas que podem ocorrer após a migração entre elas.

No quarto capítulo, a implementação da solução adotada para flexibilizar o ambiente Odyssey é descrita, assim como a forma que a funcionalidade de transformação entre as notações foi atingida. Neste capítulo, também é apresentado um Exemplo de Utilização, possibilitando a apresentação da modelagem em cada notação e os resultados do processo de transição entre as notações.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões, destacando as contribuições atingidas e explicitando limitações e oportunidades que poderão ser abordadas em trabalhos futuros.

2.1 – Introdução

Este capítulo dedica-se a abordar conceitos que foram a base para a elaboração deste trabalho. Abrange, na seção 2.2, os conceitos chave dentro do tratamento de variabilidade e as definições e atividades que envolvem as técnicas de Engenharia de Domínio e Linha de Produtos de Software. Apresenta o estudo com maiores detalhes das três notações que foram abordadas no desenvolvimento do projeto, na seção 2.3 e uma análise de funcionalidades encontradas em alguns ambientes de modelagem na seção 2.4. E por fim, na seção 2.5, são feitas algumas considerações a partir dos conceitos e análises observadas.

2.2 – Abordagens de Reutilização: Engenharia de Domínio (ED) e Linha de Produtos de Software (LP)

O objetivo desta seção é descrever alguns conceitos básicos referentes à variabilidade e aos processos de Engenharia de Domínio (ED) e Linha de Produtos de Software (LP) dentro do contexto de reutilização de software. As etapas que descrevem o conjunto de atividades de cada processo são brevemente comentadas. Os conceitos envolvidos no tratamento de variabilidade são descritos na subseção 2.2.1. A técnica de ED encontra-se descrita na subseção 2.2.2. E na subseção 2.2.3 são destacadas as atividades principais da LP.

2.2.1 – Conceito de Variabilidade

O conceito de Variabilidade está fortemente presente nas abordagens que buscam efetivar o desenvolvimento baseado em reutilização de forma sistemática, como a Engenharia de Domínio (ED) e a Linha de Produtos (LP). Busca-se explorar os benefícios trazidos pelas similaridades encontradas em coleções de sistemas de uma mesma família ou domínio e gerenciar suas diversidades. Assim, variabilidade pode ser entendida como a possibilidade de configuração, ou ainda, como a habilidade que um sistema ou artefato de software possui de ser alterado, customizado, ou configurado para um contexto em particular. (BOSCH, 2004).

O conceito de opcionalidade também é de relevante importância na identificação e representação das variabilidades de um domínio. O objetivo da opcionalidade é indicar a obrigatoriedade ou não da presença de determinado elemento em um produto específico ou aplicação a ser desenvolvido dentro do domínio como um todo.

Alguns conceitos são inerentes à variabilidade e sua modelagem, tais como (OLIVEIRA, 2006):

- **Ponto de variação:** são as características que refletem a parametrização no domínio de uma maneira abstrata. São configuráveis por meio das variantes.
- **Variantes:** são características que atuam como alternativas para se configurar um ponto de variação.
- **Invariantes:** são as características fixas, que representam elementos não configuráveis em um domínio. Na literatura, em geral, não há uma nomenclatura bem definida para esses elementos do domínio.
- **Elementos Opcionais:** descrevem elementos que podem ou não estar presentes em produtos desenvolvidos em uma LP ou em aplicações instanciadas a partir de um domínio.
- **Elementos Mandatórios:** descrevem elementos que devem obrigatoriamente estar presentes em produtos desenvolvidos em uma LP ou em aplicações instanciadas a partir de um domínio.

Essas classificações quanto à variabilidade e opcionalidade parecem ser um consenso para a modelagem de características, embora especificadas e representadas de diferentes maneiras (KANG *et al.*, 1990; GRISS *et al.*, 1998; MASSEN e LICHTER, 2002; RIEBISCH *et al.*, 2002; BOSCH, 2004).

2.2.2 – Engenharia de Domínio (ED)

O processo de Engenharia de Domínio consiste em uma série de atividades que visam atingir a conversão do conhecimento referente a um domínio em artefatos, i.e.,

funcionalidades e conceitos comuns, que suportam o processo de reutilização na construção de aplicações. O conceito de domínio pode ser entendido segundo OLIVEIRA (2006) como uma classe de sistemas que apresentam funcionalidades similares. Segundo PRIETO-DIAZ e ARANGO (1991), “a Engenharia de Domínio é o processo de identificação e organização do conhecimento sobre uma classe de problemas, o domínio do problema, para suportar sua descrição e solução”. Este processo é dividido em etapas que formam um consenso dentro da comunidade (KANG *et al.*, 1990; GRISS *et al.*, 1998; SIMOS e ANTHONY, 1998; BRAGA, 2000), a saber: Análise de domínio, Projeto do domínio, i.e., especificação da infra-estrutura, e Implementação do domínio.

A etapa de análise de domínio abrange a identificação, aquisição e representação do conhecimento referente a um domínio, destacando suas variabilidades dentro de uma família de aplicações. O modelo de domínio visa dar suporte à análise e é um resultado intermediário entre esta etapa e a de especificação da infra-estrutura.

Na especificação da infra-estrutura, ou Projeto do Domínio, são detalhados os aspectos do domínio, suas variabilidades e oportunidades de reutilização. Gera como resultado uma arquitetura que permite identificar os ativos de um domínio, elementos relacionados ao ciclo de vida de um software que foram projetados para utilização em diferentes contextos, i.e., componentes que são relevantes para a reutilização. A forma pela qual os ativos se relacionam também é descrita, assim como podem ser expressas as formas de customização disponíveis para os componentes, a distribuição destes componentes pelos repositórios e outras especificações.

A especificação em conjunto com a semântica dada pelo modelo de domínio são a base para a etapa de implementação do domínio. Esta etapa compreende o processo de geração dos modelos implementacionais, que inclui a identificação, aquisição, extração de sistemas existentes, adaptação e/ou produção e manutenção dos artefatos reutilizáveis.

Assim, o processo se inicia através da identificação e organização do conhecimento referente a um domínio. Esta etapa, que corresponde a análise de domínio, gera como resultado um modelo do domínio, i.e, uma representação das variabilidades dos sistemas. Seguida pelas etapas de projeto e implementação do domínio, gera como resultado os artefatos que formam a base para que ocorra a reutilização, com efetiva instanciação resultante do processo de Engenharia de Aplicação (EA). A EA consiste no processo de selecionar os artefatos requeridos para

uma aplicação específica para instanciação. A EA compreende as atividades de avaliação do domínio com seleção das funcionalidades e conceitos já disponibilizados e posteriores fases de análise, projeto e implementação de particularidades da aplicação.

É possível identificar na literatura diversos métodos de ED existentes, dentre eles: o FODA (*Feature Oriented Domain Analysis*) (KANG *et al.*, 1990), o FORM (*Feature Oriented Reuse Method*) (KANG *et al.*, 2002), o RSEB (*Reuse-Driven Software Engineering Business*) (GRISS *et al.*, 1998), e o ODM (*Organization Domain Modeling*) (SIMOS e ANTHONY, 1998), Odyssey-DE (BRAGA, 2000), e CBD-Arch_DE (BLOIS *et al.*, 2004), dentre outros.

2.2.3 – Linha de Produtos de Software (LP)

Esta técnica tem evoluído no intuito de auxiliar organizações a construir conjuntos de sistemas relacionados a partir de um núcleo de artefatos, utilizando-se do processo de desenvolvimento baseado em reutilização. Abrange decisões em vários níveis estruturais, técnicos e de negócio.

O núcleo de artefatos forma a base para o processo de LP. A partir dele são atingidos os produtos do processo. Inclui arquitetura de software, componentes de software reutilizáveis, modelos de domínio, requisitos, cronogramas, orçamentos, planos e casos de teste, planejamento e descrição de processos, dentre outros artefatos.

Segundo o SEI (*Software Engineering Institute*), pode-se destacar o Desenvolvimento do Núcleo de Artefatos, o Desenvolvimento de Produtos e o Gerenciamento da Linha de Produtos como as três atividades essenciais que descrevem o processo de LP (NORTHROP, 2002).



Figura 1 - Atividades essenciais da Linha de Produtos (Adaptado de NORTHROP (2002))

Essas atividades estão altamente relacionadas entre si. Os artefatos são utilizados para o desenvolvimento de produtos, assim como são constantemente revisados e atualizados à medida que novos produtos são construídos. O gerenciamento técnico e organizacional é feito em todos os níveis do processo. Essa interação pode ser ilustrada através da Figura 1.

A atividade de Desenvolvimento do Núcleo de Artefatos pode ser descrita como uma forma de garantir a capacidade produtiva e a viabilidade da produção de uma LP. O termo “desenvolvimento” pode ser entendido como a aquisição do artefato via o desenvolvimento interno (utilizando-se ou não do processo de reutilização), ou aquisição a partir de outras organizações, ou ainda uma combinação dessas opções. Essa atividade gera como resultados um escopo da linha de produção, que descreve os produtos que constituem a LP e um plano de produção, que define como os produtos serão produzidos a partir do núcleo de artefatos. Também gera os artefatos que serão a base para a produção na LP, como a arquitetura comum aos produtos da LP, componentes de software, com seus planos e casos de teste, planos de integração, etc., bem como componentes COTS (*commercial off-the-shelf*), quando adotados.

O Desenvolvimento de Produto se utiliza dos resultados gerados pela atividade de desenvolvimento do núcleo de artefatos, além de depender dos requisitos individuais dos produtos específicos que serão desenvolvidos. Pode ser considerada a atividade principal dentro da LP e envolve outras atividades como a análise baseada no modelo de domínio, que caracteriza a análise de um modelo de domínio para verificar a conformidade com as necessidades do cliente ou a criação de novos requisitos que deverão ser incorporados ao núcleo de artefatos. Esse fato comprova a retro-alimentação existente entre as atividades de desenvolvimento de produto e desenvolvimento do núcleo de artefatos. Outras tarefas que fazem parte desta atividade são a instanciação da arquitetura do produto, que gera a arquitetura específica do produto em questão a partir da seleção incremental dos pontos de variabilidade de uma arquitetura genérica e a atividade de povoamento da arquitetura.

É possível identificar alguns métodos de LP existentes, como: o método Kobra (ATKINSON *et al.*, 2002), uma abreviação de *Komponentbasierte Anwendungsentwicklung*, um método de desenvolvimento de aplicação baseado em componentes; e o método PLUS, *Product Line UML-Based Software Engineering*

(GOMAA, 2004), que estende os métodos de modelagem baseados em UML para o desenvolvimento de sistemas particulares para suportar a linha de produtos de software.

2.2.4. Considerações sobre ED e LP

Fazendo uma breve análise, podem ser identificadas certas atividades semelhantes entre as práticas de ED e LP. A atividade de Análise de Domínio em ED tem certa semelhança com a atividade de Desenvolvimento do Núcleo de Artefatos em LP no que diz respeito ao objetivo de organizar as informações e artefatos reutilizáveis.

A atividade de Engenharia de Aplicação em ED pode ser comparada à atividade de Desenvolvimento de Produto em LP, onde ambas utilizam-se da variabilidade para instanciar uma aplicação ou desenvolver um produto, atendendo aos requisitos de uma aplicação específica.

No entanto, essas abordagens de reutilização apresentam algumas diferenças. Uma diferença identificada consiste na forma em que a definição do escopo é realizada. Segundo OLIVEIRA (2006), “enquanto a ED parte de fontes como especialistas ou livros para organizar o conhecimento do domínio e obter os pontos passíveis de reutilização, a LP define seu escopo a partir de produtos pré-determinados, i.e., produtos previamente escolhidos para fazer parte da LP”.

2.3 – A Representação do Conceito de Variabilidade através da Modelagem de Características

A notação para modelagem de variabilidade pode ser gráfica, textual ou a combinação de ambas as formas de representação. A técnica de modelagem de características visa capturar e gerenciar as similaridades e diferenças, de forma a facilitar o entendimento de clientes e desenvolvedores no que se refere às capacidades gerais de um domínio, que são expressas através de características (*features*). Pode-se acrescentar que esse modelo de características representa abstrações de uma família de sistemas em um domínio e as relações entre elas. Esse modelo provê a base para o desenvolvimento, parametrização e configuração de artefatos reutilizáveis (KANG *et al.*, 2002).

Dessa forma, pode-se concluir que o processo de identificação das variabilidades de um domínio é uma atividade de grande importância na abordagem de reutilização e sua modelagem deve permitir o entendimento de todos os envolvidos no processo em todas as fases do ciclo de vida de um software.

Diferentes notações expressam o conceito de variabilidade através do modelo de características. Nas subseções seguintes, são descritas três notações abordadas neste trabalho, a saber: a notação definida por OLIVEIRA (2006), i.e., a Odyssey-FEX, a notação definida e detalhada em CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e a notação definida por GOMAA (2004). Essas notações são amplamente referenciadas na literatura, com grande popularidade.

2.3.1 – Odyssey-FEX

A notação Odyssey-FEX teve como base o trabalho de KANG *et al.* (1990), que propõe o método FODA (*Feature Oriented Domain Analysis*), um método de ED precursor das notações baseadas em modelos de características. Além disso, incorpora e estende elementos do modelo de características do ambiente Odyssey, definidos na proposta de MILER (2000), que tinha o propósito de não só documentar as características de um domínio, como também servir de terminologia para conceitos e funcionalidades deste.

A seguir, é apresentado um exemplo de uso da notação Odyssey-FEX, considerando um domínio de Software para Telefonia Móvel, que é brevemente descrito e utilizado ao longo desta seção. Posteriormente, os principais conceitos presentes na notação são descritos e detalhados.

2.3.1.1- Exemplo de Utilização da Notação para Modelagem de um Domínio de Telefonia Móvel

Na Figura 2, encontra-se um modelo de característica construído utilizando a notação Odyssey-FEX e levando em consideração um domínio de Telefonia Móvel, que abrange conceitos e funcionalidades que podem estar presentes em um software desenvolvido para um telefone celular. A característica *Telefone Celular* é uma característica conceitual e representa o domínio como um todo, possuindo relacionamentos de composição e agregação com as demais características, além da

modelo, mas as características apresentam uma marcação X e as regras podem ainda ser facilmente visualizadas dentro do ambiente de desenvolvimento Odyssey.

As características *Transferência de Dados para PC, USB e Cabo de Dados* apresentam uma regra de composição inclusiva, significando que “*Transferência de Dados para PC AND USB*) **requer** *Cabo de Dados*”, evidenciada pela marcação R_1. Dessa forma, uma vez que a característica *Transferência de Dados para PC e USB* sejam instanciadas em uma aplicação, *Cabo de Dados* também deve ser. Vale ressaltar que essas regras são criadas de forma numerada, por exemplo, a numeração 1 da regra citada anteriormente, R_1, significa que se trata de uma regra de composição inclusiva entre características (i.e. “R”), numerada de forma seqüencial pela ordem de criação das regras. As regras de composição exclusivas apresentam uma marcação “X”.

O relacionamento “Implementado por” é observado entre as características *CarRacer* e a característica de Ambiente Operacional *Java*, e entre a característica *Acesso à Internet* e a característica de Tecnologia de Domínio *WAP*.

A característica *Planos de Telefonia* organiza informações a respeito da disponibilidade de alguns serviços, de acordo com os planos das operadoras de telefonia celular. É uma característica organizacional, que apenas facilita o entendimento do domínio, mas não é mapeada para artefatos de mais baixo nível de abstração, sendo representada por um clipe no canto superior esquerdo.

2.3.1.2 – Descrição dos Conceitos da Notação Odyssey-FEX

A notação Odyssey-FEX foi estendida a partir do modelo de característica proposto por MILLER (2000). Permite uma disposição de características não necessariamente em forma de árvore hierárquica, mas sim em forma de grafo, e disponibiliza os relacionamentos-padrão da UML (herança, composição, agregação e associação), além de relacionamentos específicos do modelo (alternativo, ligação de comunicação, “implementado por”) com o objetivo de evidenciar a relação existente entre as características com maior semântica. Além disso, apresenta regras de composição, representadas através de restrições inclusivas e exclusivas entre pares de características, para informar quais características devem ou não ser incluídas em conjunto em uma aplicação específica. A notação Odyssey-FEX estendeu os tipos de características que existiam na notação proposta por MILLER (2000), além de promover alterações e inclusões de outros conceitos, tais como novos tipos de relacionamentos e

regras de composição complexas, ou seja, envolvendo mais que duas características, com o objetivo de definir com maior semântica os elementos que representam conceitos, funcionalidades e tecnologias utilizadas em um domínio, incluindo sua variabilidade e os relacionamentos entre eles.

Na notação Odyssey-FEX, as características podem ser classificadas quanto à sua categoria, variabilidade e opcionalidade.

Dentro do escopo de categoria, os tipos estão relacionados às diferentes fases de desenvolvimento do software. As características de Entidade, que representam atores que atuam sobre o domínio, e as características de Domínio, que se especializam em funcionais e conceituais, estão relacionadas à fase de análise do domínio. Já as características Tecnológicas, que permitem que aspectos tecnológicos sejam considerados e estão subdivididas em camadas (características de Ambiente Operacional, de Tecnologia de Domínio e de Técnicas de Implementação), estão relacionadas à fase de projeto. Na Tabela 1, a seguir, encontra-se a taxonomia de características segundo a notação Odyssey-FEX.

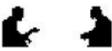
<u>Ícone</u>	<u>Tipo de Característica</u>	
	Características de Domínio – Características intimamente ligadas à essência do domínio. Representam as funcionalidades e/ou os conceitos do modelo e correspondem a casos de uso e componentes estruturais concretos.	Características de Análise
	Características de Entidade – São os atores do modelo. Entidades do mundo real que atuam sobre o domínio. Podem, por exemplo, expor a necessidade de uma interface com o usuário ou de procedimentos de controle.	
	Características de Ambiente Operacional - Características que representam atributos de um ambiente que uma aplicação do domínio pode usar e operar. Ex: tipo de terminal, sistemas operacionais, bibliotecas etc.	Características de Projeto (Tecnológicas)
	Características de Tecnologia de Domínio - Características que representam tecnologias utilizadas para modelar ou implementar questões específicas de um domínio. Ex: métodos de navegação em um domínio de aviões.	
	Características de Técnicas de Implementação – Características que representam tecnologias utilizadas para implementar outras características, podendo ser compartilhadas por diversos domínios. Ex: técnicas de sincronização.	

Tabela 1 - Tipos de características na notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006)

Os tipos descritos na Tabela 1 são mutuamente excludentes, não podendo uma característica pertencer simultaneamente a mais de uma categoria.

Dentro do domínio de Telefonia Móvel modelado no exemplo da Figura 2, pode-se citar as características *Agenda*, *Câmera* e *Acesso à Internet* como exemplos de

características de Domínio, as características *WAP* e *JAVA* como exemplos de características Tecnológicas, e a característica *Usuário* como exemplo da característica de Entidade.

Quanto à variabilidade, as características classificam-se em pontos de variação, variantes e invariantes. Pontos de variação representam conceitos ou funcionalidades que expressam alternativas, que por sua vez, são representadas pelas características variantes. As invariantes representam características “fixas” ou não-configuráveis. Estes tipos também são mutuamente excludentes.

Dentro do exemplo de domínio de Telefonia Móvel da Figura 2, pode-se citar a característica *Recebimento de Toques Musicais* como exemplo de ponto de variação, que possui como suas variantes as características *Toque Monofônico*, *Toque Polifônico* e *MP3*. Como exemplos de características invariantes, podem ser citadas as características *Campainha*, *Alarme*, dentre outras.

O objetivo da opcionalidade é indicar a obrigatoriedade ou não da presença de determinado elemento em um produto específico ou aplicação a ser desenvolvido dentro do domínio como um todo. De acordo com esse conceito, as características podem ser classificadas como mandatórias ou opcionais. Essa classificação também é ortogonal quanto às outras classificações.

Para esta classificação, encontram-se como exemplos no modelo da Figura 2, as características *Câmera* e *Alarme* como opcionais, e *Agenda* e *Planos de Telefonia* como mandatórias, dentre outras.

As possíveis combinações referentes aos diferentes tipos de classificações das características na notação Odyssey-FEX pode ser visualizada na Figura 3.

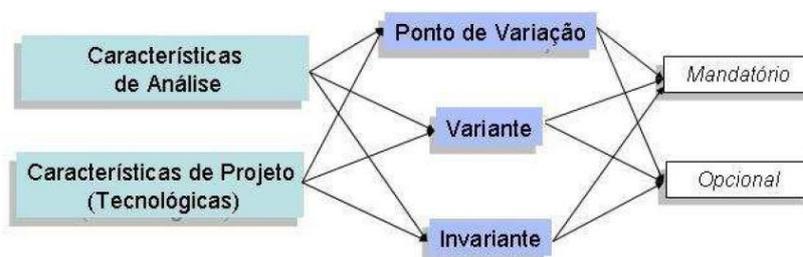


Figura 3 - Classificação ortogonal das características na notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006)

Dentro do domínio de Telefonia Móvel da Figura 2, pode-se exemplificar essa ortogonalidade nas classificações através da característica *Jogos*, que é uma característica de Análise, uma vez que representa um conceito, e também um ponto de variação, uma vez que possui as variantes *Car Racer* e *Snake*. De forma adicional, essa

característica também é classificada como opcional, já que não tem obrigatoriedade de ser selecionada na instanciação de uma aplicação.

As características podem ainda possuir algumas propriedades adicionais, como o fato de serem externas, não-definidas ou organizacionais. Na Tabela 2, encontra-se uma descrição de cada propriedade associada à sua representação na notação Odyssey-FEX.

<u>Representação</u>	<u>Descrição</u>
<<from Another Domain >>	Externas – Representam a ligação com outros domínios. Podem ou não ser refinadas pelo modelo. Mostram a fronteira do domínio e como ela se comporta.
	Não-Definidas – Características de um domínio já identificadas, porém ainda não definidas por meio de casos de uso, modelos conceituais, ou características tecnológicas.
	Organizacionais – Características do modelo que têm apenas o intuito de facilitar o entendimento ou organizar o domínio. Não possuem ligações concretas com o uso real do domínio.

Tabela 2 - Propriedade das características na notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006)

Algumas observações sobre as propriedades antes mencionadas valem ser ressaltadas. A propriedade não-definida pode ser aplicada a todas as características, exceto às características de entidade, que não são detalhadas nos modelos de mais baixo nível de abstração. A propriedade organizacional só seria aplicada às características de domínio, que refletem a representação dos conceitos e funcionalidades do domínio, cujo entendimento precisa ser organizado. Essa propriedade não seria utilizada nas características de tecnologia que representam uma tecnologia utilizada pelo domínio.

A Figura 2 apresenta como exemplo das propriedades descritas acima as características *Planos de Telefonia* como uma característica Organizacional, a característica *Snake* como uma característica Não-Definida e a característica *Serviços da Operadora* como uma característica Externa, pertencente ao domínio de Operadoras de Telefonia Móvel.

A notação valoriza ainda a semântica dos relacionamentos em um modelo de características, visando atingir uma maior capacidade de representação e expressão. Combina relacionamentos próprios do modelo de características com relacionamentos da UML. Esses relacionamentos não são apenas hierárquicos, gerando grafos para permitir uma expansão do modelo em diversas direções. Na Tabela 3, a seguir, estão descritos os relacionamentos presentes na Odyssey-FEX.

<u>Representação</u>	<u>Descrição</u>	
	Composição – Relacionamento em que uma característica é composta de várias outras. Denota relação na qual uma característica é parte fundamental de outra, de forma que a primeira não existe sem a segunda.	Relacionamentos da UML
	Agregação – Relacionamento em que uma característica representa o todo, e as outras as partes. Similar à composição, porém as características envolvidas existem independentemente uma da outra.	
	Generalização – Relacionamento em que há uma generalização/especialização das características. Este tipo de relacionamento indica que as características mais especializadas (filhas) herdam as propriedades e atributos de características mais generalizadas (antecessores).	
	Associação – Relacionamento simples entre duas características. Denota algum tipo de ligação entre seus membros. Pode ser nomeada, indicando um tipo específico de ligação.	
	Alternativo (<i>Alternative</i>) - Relacionamento entre um ponto de variação e suas variantes, denota a pertinência de uma variante a um determinado ponto de variação.	Relacionamentos Específicos na Odyssey-FEX
<u><<Implemented By>></u>	Implementado por (<i>Implemented By</i>) - Relacionamento entre Características de Domínio e Características Tecnológicas, ou entre Características Tecnológicas que se encontrem em camadas diferentes.	
<u><<Communication Link>></u>	Ligação de Comunicação (<i>Communication Link</i>) - Relacionamento existente entre Características de Entidade e Características de Domínio. Cumpre o mesmo papel do relacionamento de associação entre atores e casos de uso na UML (OMG, 2004)	

Tabela 3 - Relacionamentos da notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006)

A notação também define Regras de Composição Complexas para expressar restrições existentes entre características, onde a semântica dessas regras influencia fortemente o recorte para a instanciação da aplicação e/ou produto. Elas definem relações de dependência entre duas ou mais características (Regra de Composição Inclusiva) ou de mútua exclusividade (Regra de Composição Exclusiva), onde duas ou mais características não devem ser escolhidas em conjunto em um mesmo produto ou aplicação. Essas regras são expressas pela seguinte estrutura: Antecedente + palavra-chave + Conseqüente. A palavra-chave representa o tipo de regra: “requer”, referente à Regra de Composição Inclusiva, e “exclui”, referente à Regra de Composição Exclusiva. Antecedente e conseqüente são expressões, que podem ser literais ou *booleanas* e representam uma característica ou combinação de características do domínio. No domínio de Telefonia Móvel, da Figura 2, pode-se citar como exemplo as características *Alarme* e *Campainha* que possuem a regra de composição inclusiva

simples indicada pela marcação R e significa que “Alarme **requer** Campainha”, ou seja, que uma vez selecionando-se a característica Alarme, a característica Campainha deve ser selecionada. Outro exemplo, agora no caso de uma Regra de Composição inclusiva complexa, é o das características *Transferência de Dados para PC, USB e Cabo de Dados* envolvidas na regra “(Transferência de Dados para PC AND USB) **requer** Cabo de Dados”, representada no modelo pela marcação R_1. Um exemplo de Regra de Composição exclusiva complexa é identificado entre as características *4.096Cores, Monocromático e 96x65Pixels* com a marcação X no modelo. Neste exemplo, a regra com a marcação X indica que “Monocromático **exclui** (4.096 cores AND 96x65 Pixels)”.

O conceito de cardinalidade, uma propriedade presente em outras notações que são baseadas em cardinalidade como a notação definida em CZARNECKI *et al.* (2004, 2005), não era representado explicitamente pela Odyssey-FEX até a realização deste trabalho. O conceito de cardinalidade podia, e ainda pode, ser trabalhado dentro da notação Odyssey-FEX, com alguma limitação, através de combinações de propriedades da notação. Podem ser citados como exemplos, a cardinalidade com valor mínimo igual a 0, que é representada pela característica opcional, indicando que aquela característica pode ou não ser instanciada em uma aplicação do domínio; a cardinalidade com valor mínimo superior a zero, que é representada pela característica mandatória; a cardinalidade 1..1, que é representada por um ponto de variação mandatório com variantes mutuamente exclusivas, indicando que somente uma de suas variantes deve ser selecionada na instanciação de aplicações, dentre outros exemplos. Assim, é possível notar que a cardinalidade era, e ainda pode ser, trabalhada utilizando-se os conceitos de classificação que representam opcionalidade e através das regras de composição. Uma limitação dessa forma de expressar a cardinalidade é que não é possível definir os limites através de valores numéricos que representem o número possível de instâncias de determinada característica, ou essa representação pode ser feita de forma bastante complexa através de regras de composição extensas.

Através desse trabalho, a forma de representação do conceito de cardinalidade foi estendida. A cardinalidade pode ser definida através de um intervalo associado a um ponto de variação. Desta forma, podem ser determinados o número mínimo e o número máximo de variantes que podem ser selecionadas como alternativas de um grupo. Deve-se salientar que esta forma de representação pode entrar em conflito com possíveis regras de composição definidas para as variantes. A realização desta avaliação, de forma

automática, está prevista como oportunidade de trabalho futuro, explicada, em linhas gerais, na seção 5.3 do Capítulo 5. Até o presente momento, essa avaliação fica a cargo do usuário.

2.3.2 - Notação de Czarnecki

A notação definida e detalhada em CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) é baseada, principalmente, no conceito de cardinalidade. Ela integra e adapta 4 extensões existentes da notação *Feature-Oriented Domain Analysis - FODA* (KANG *et al.*, 1990), ou seja: cardinalidade de características, cardinalidade de grupos, referências de diagrama de características e atributos.

Segundo (CZARNECKI e EISENECKER, 2000), uma característica (*feature*) é uma propriedade de um sistema que é relevante a qualquer *stakeholder*, incluindo clientes, analistas, arquitetos, desenvolvedores, administradores de sistemas, dentre outros. Difere da definição original de KANG *et al.* (1990), que define características como propriedades “visíveis a usuários”.

A seguir, na seção 2.3.2.1, é apresentado um exemplo de uso desta notação, considerando um domínio de perfil de segurança de sistema, que é utilizado como exemplo ao longo desta seção. Posteriormente, na seção 2.3.2.2, os principais conceitos presentes na notação são descritos e detalhados.

2.3.2.1 - Exemplo de Modelagem Utilizando a Notação de Czarnecki para um Domínio de Perfil de Segurança

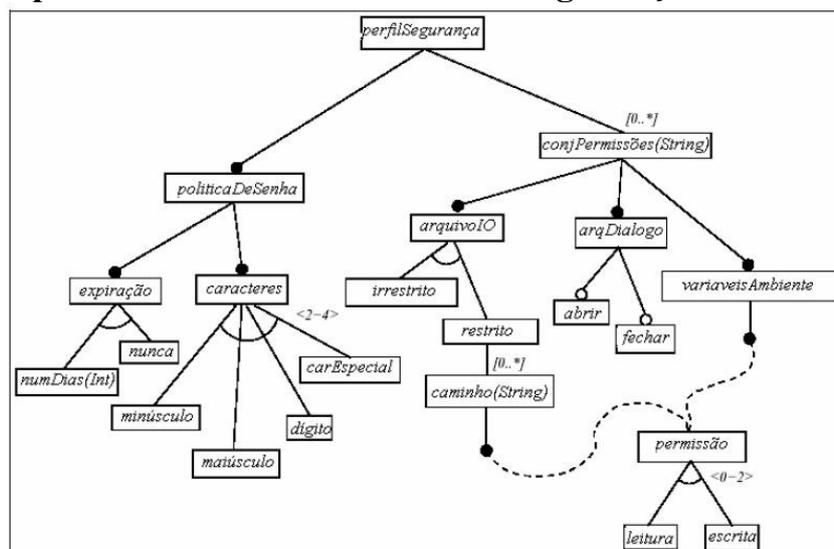


Figura 4 - Exemplo de modelo de características na notação de Czarnecki (CZARNECKI *et al.*, 2004)

A Figura 4, consiste em um exemplo de modelo de características de um perfil de segurança de sistema, expresso na notação de Czarnecki. Esse perfil abrange os conceitos de política de senha e conjunto de permissões para acesso de arquivos e variáveis de Ambiente.

Podem ser identificados três tipos de características no modelo, onde podem ser citadas as características *perfilSegurança* e *permissão* como exemplos de características raiz, as características *irrestrito* e *restrito* como exemplos de características agrupadas da característica *arquivo IO*, i.e., característica que agrupa (“ponto de variação”) e as características *políticaDeSenha* e *conjPermissões(String)*, como exemplos de características solitárias.

O conceito de atributo tem como exemplo o tipo inteiro (*Int*) associado à característica *numDias* e o tipo String, (*String*), associado às características *conjPermissões* e *caminho*.

O conceito de referência, representado pela linha tracejada, pode ser identificado entre as características solitárias *caminho(String)* e *variáveisAmbiente* para a característica raiz *permissão*.

Exemplos de cardinalidade podem ser observados graficamente pelos círculos. Um círculo vazio, como no caso das características *abrir* e *fechar*, por exemplo, indica que são características opcionais, e preenchido, como no caso de *expiração*, *políticaDeSenha* e *caracteres*, indica que são características obrigatórias. Restrições também são representadas através de cardinalidade, como o exemplo <2,4> do grupo *caracteres*, que indica que as senhas são especificadas entre dois a quatro tipos distintos de caracteres (*minúsculo*, *maiúsculo*, *dígito*, *carEspecial*). Outro exemplo de uso de cardinalidade seria através de intervalos, como o intervalo [0..*], definido para a característica solitária *conjPermissões*, dentro do exemplo da Figura 4. Pode-se concluir dessa cardinalidade que o perfil de segurança pode obter zero ou mais conjuntos de permissão.

Os conceitos mencionados ao longo desse exemplo são explicados na seção 2.3.2.2, a seguir.

2.3.2.2 – Descrição dos Conceitos da Notação de Czarnecki

Na notação definida em CZARNECKI *et al.* (2004, 2005), as características são organizadas em diagramas de características. Esses diagramas apresentam estruturas de árvores, em que a raiz representa a idéia central do diagrama, por exemplo, um sistema de software. Assim, a característica raiz seria uma representação do domínio. São classificadas em três tipos:

- Característica Raiz (**Root Feature**) – inicia uma árvore e representa um conceito central. Pode ocorrer mais de uma raiz em um diagrama, representando mais de uma árvore. No exemplo da Figura 4, pode-se citar a característica *perfilSegurança*, como característica raiz.
- Característica Agrupada (**Grouped Feature**) – característica que ocorre em um grupo. As características podem estar agrupadas representando alternativas, onde a característica que agrupa é o ponto de variação e as características relacionadas a ela suas variantes. Na Figura 4, várias características podem ser citadas como exemplos de características agrupadas, dentre elas, *numDias* e *nunca*, alternativas do grupo da característica *expiração*.
- Característica Solitária (**Solitary Feature**) – por definição, é uma característica que não está agrupada. Como exemplo, na Figura 4, pode-se citar as características *politicaDeSenha* e *conjPermissões*.

A notação também utiliza o conceito de atributo, visando permitir a escolha de um tipo, que será associado a uma característica, como *strings* e *inteiros*. O tipo é indicado entre parênteses depois do nome da característica e pode ter um valor especificado junto a ele (ex. extraído da Figura 4, *numDias(30:Int)*).

O conceito de cardinalidade pode ser entendido como uma propriedade do relacionamento entre características. Pode ser aplicado a uma característica solitária ou a um grupo de características.

No caso de características solitárias, a cardinalidade é expressa através de um intervalo, $[n_i..n_i']$, indicando o número mínimo (n_i) e o máximo (n_i') de instâncias possíveis da característica solitária e de toda a sub-árvore relacionada a essa característica. O limite superior de um intervalo pode ser denotado pela *estrela de Kleene*, que significa a possibilidade de escolha da característica um número ilimitado de vezes. Como exemplo, pode ser citada a característica *conjPermissões* e sua sub-árvore, formada pelas características *arquivoIO*, *arqDialogo* e *variaveisAmbiente* e seus

filhos. Esta característica solitária possui o intervalo [0..*] como cardinalidade, indicando a possibilidade de zero ou mais instâncias dos conjuntos de permissões.

A cardinalidade de características solitárias também pode ser expressa através de uma seqüência de intervalos como, [n_i..n_i']...[n_l..n_l']. A Figura 5, ilustra a interpretação adotada para os valores dos intervalos.

$$\begin{aligned} \forall i \in \{1, \dots, l-1\} : n_i, n'_i \in \mathbb{N} \quad n_l \in \mathbb{N} \quad n'_l \in \mathbb{N} \cup \{*\} \\ \forall n \in \mathbb{N} : n < * \quad 0 \leq n_1 \\ \forall i \in \{1, \dots, l\} : n_i \leq n'_i \quad \forall i \in \{1, \dots, l-1\} : n'_i < n_{i+1} \end{aligned}$$

Figura 5 - Cardinalidade de características solitárias na notação de Czarnecki (CZARNECKI *et al.*, 2005)

A cardinalidade de um grupo é expressa através de um intervalo, <n,n'>, que indica que deve ser feita a escolha entre n e n' características distintas no grupo, ou seja, os valores de n e n' variam entre 0 e o número de características que formam o grupo. Como exemplo, na Figura 4, o grupo *caracteres* apresenta a cardinalidade <2,4>, que representa a necessidade de qualquer política de senha especificar entre dois e quatro diferentes requerimentos nos tipos de caracteres.

Quando a cardinalidade de um grupo não é mencionada, deve ser assumida a cardinalidade padrão <1,1>, que indica o relacionamento de mútua exclusividade. A cardinalidade [1,1] quando aplicada a uma característica solitária representa o conceito de obrigatoriedade da característica e a cardinalidade [0,1] representa opcionalidade. Graficamente essas cardinalidades são representadas por um círculo preenchido e um círculo vazio, como pode ser observado nas características *arquivoIO* e *abrir*, respectivamente, na Figura 4.

A notação também apresenta o conceito de referência de diagrama de característica, representado graficamente por uma linha tracejada entre as características participantes. A descrição do uso da referência encontrada em (CZARNECKI *et al.*, 2004), abrange a reutilização ou modularização de modelos de característica. O relacionamento é feito entre uma característica solitária do diagrama que realiza a referência e a característica raiz do diagrama referenciado. Permite recursão direta, quando a referência se destina ao próprio diagrama em que a característica que está referenciando reside, ou indireta, quando a referência envolve mais de um diagrama, ou seja, a característica raiz referenciada pertence a um diagrama diferente do qual a

característica que está referenciando reside. Na Figura 4, encontra-se como exemplo o uso da referência entre a característica solitária *caminho* e a característica raiz *permissão*, e a reutilização do modelo de permissão através da referência entre a característica solitária *variaveisAmbiente* e a mesma característica raiz *permissão*.

2.3.3 - Notação de Goma (GOMAA, 2004)

Na notação de GOMAA, as características são representações de requisitos que foram determinados na fase de modelagem de requisitos, e representam uma necessidade de uma linha de produtos, ou ao menos de um de seus membros.

A seguir, na seção 2.3.3.1, é apresentado um exemplo de uso da notação de GOMAA (2004), considerando um domínio de Linha de Produto de Hotel. Posteriormente, na seção 2.3.3.2, os principais conceitos presentes na notação são descritos e detalhados.

2.3.3.1- Exemplo de Utilização da Notação de Goma para Modelagem de um Domínio de Hotel

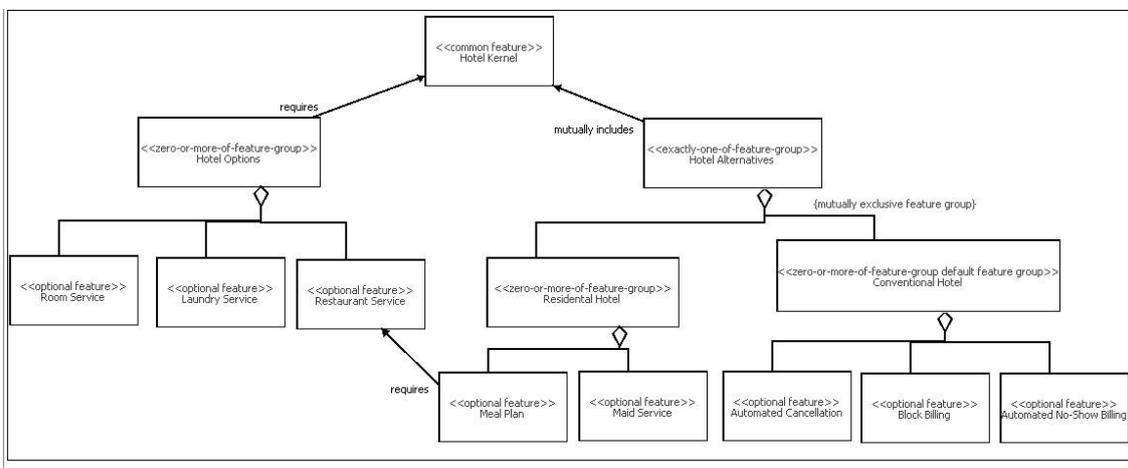


Figura 6 - Exemplo de Utilização da Notação GOMMA (GOMMA, 2004)

Na modelagem de características na notação de GOMAA, as características e os grupos de características são representados como classes sem atributos e métodos, especificadas por estereótipos. A organização do modelo é feita em formato de árvore e os relacionamentos são expressos por setas acompanhadas de um dos estereótipos *requires* ou *mutually includes*.

O exemplo apresentado pela Figura 6, representa um domínio de Hotel, abrangendo os tipos de serviços que podem ser oferecidos aos clientes e as opções de hospedagem. O modelo possui uma característica comum – representação <<common feature>> - que também é a raiz da árvore, i.e., a *Hotel Kernel*. Esta característica está relacionada com dois grupos de características: <<zero-or-more-of-feature group>> *Hotel Options*, e <<exactly-one-of-feature-group>> *Hotel Alternatives*, através de dois diferentes tipos de relacionamentos, o relacionamento *Hotel Options requires Hotel Kernel* e o relacionamento *Hotel Alternatives mutually includes Hotel Kernel*, que expressam uma dependência de escolha entre as características envolvidas.

O grupo de características opcionais *Hotel Options*, pode ser usado tanto com hotéis residenciais como hotéis convencionais, mas não necessariamente com outros tipos de hotéis não modelados no exemplo. Dessa forma, o grupo foi classificado como opcional através do estereótipo <<zero-or-more-of-feature-group>>, o que representa a escolha opcional de uma característica do grupo.

O grupo de características *Hotel Alternatives* mantém uma dependência de escolha obrigatória com a raiz do domínio, representada pela característica *Hotel Kernel*. Desta forma, a escolha de uma das opções do grupo se torna obrigatória, sendo as características *Residential Hotel* e *Conventional Hotel* as alternativas de escolha. O estereótipo <<exactly-one-of-feature group>> da característica *Hotel Alternatives*, representa a seleção de apenas uma característica do grupo, de forma excludente. Outro detalhe é a definição da característica *Conventional Hotel* como uma característica padrão, identificada pelo estereótipo <<default feature group>>, que determina a escolha desta característica caso nenhuma seleção seja definida. Esse fato pode ser explicado pela maior incidência de hotéis convencionais no domínio de Hotéis.

Os conceitos mencionados ao longo desse exemplo, como estereótipos e tipos de relacionamentos, e outros pertencentes à notação são explicados na seção 2.3.3.2, a seguir.

2.3.3.2 – Descrição dos Conceitos da Notação de Goma

Na notação definida em (GOMAA, 2004), as características podem ser classificadas quanto à opcionalidade como: características comuns, que se referem a características que devem ser providas por todo membro da linha de produto; ou

características opcionais e características alternativas que representam o grau de variabilidade na linha de produtos.

Características comuns (**Common features**), que representam a obrigatoriedade de presença da característica, também são denominadas mandatórias (**mandatory, necessary ou kernel**). Os requisitos comuns podem ser agrupados em uma única característica comum, quando a linha de produtos é bem entendida e o objetivo principal é o estudo da variabilidade. Ou ainda, serem representados separadamente por diversas características comuns. Sua representação é feita através do estereótipo <<common feature>> *Feature Name*. Pode-se citar como exemplo, da Figura 6, a característica <<common feature>> *Hotel Kernel*.

As características opcionais (**Optional Features**) representam requisitos que só são providos por alguns membros da linha de produção. Sua representação se dá através do estereótipo <<optional feature>> *Feature Name*. Da Figura 6, pode-se citar as características <<optional feature>> *Room Service*, <<optional feature>> *Laundry Service*, <<optional feature>> *Block Booking*, dentre outras.

As características alternativas (**Alternative Features**) são usadas quando características representam alternativas para seleção dentro de um grupo. Neste caso, são mutuamente excludentes, onde apenas uma característica do grupo pode ser provida por um membro da linha de produto de software. São representadas por <<alternative feature>> *Feature Name*. Uma especialização deste tipo de característica é a característica padrão (**default feature**), representada por <<default feature>> *Feature Name*, que significa que será a opção escolhida caso nenhuma outra característica seja selecionada dentro do grupo. No exemplo da Figura 6, as características *Residential Hotel* e *Conventional Hotel*, do grupo de característica *Hotel Alternatives*, seriam exemplos de características alternativas caso não fossem classificadas como grupo de características, ou seja, pontos de variação. A característica <<zero-or-more-of-feature-group default feature group>> *Conventional Hotel* também é um exemplo de característica classificada como característica padrão.

Outro tipo de característica, as parametrizadas (**Parameterized Features**), são usadas para definir um parâmetro que deve ser configurado em tempo de configuração do sistema. São representadas através de UML *tagged values* pelo estereótipo <<parameterized feature>> *Feature Name* {type= parameter type, permitted value = parameter value range or enumerated parameter values, default value= parameter

value} que definem as especificações do parâmetro (tipo, valores permitidos e valor default).

A notação de Goma apresenta dois tipos de relacionamentos. O relacionamento “requer” (*requires*) representa a relação de dependência entre as características, onde a característica necessária é denominada *prerequisite* (pré-requisito) *feature* e a representação deste relacionamento é através do estereótipo UML {*prerequisite = lista de características que são pré-requisitos*}. Sua representação gráfica é através de uma seta entre as características, apontada para a característica da qual a outra depende. Na Figura 6, pode-se identificar esse relacionamento em *Hotel Options* requires *Hotel Kernel* e entre as características *Meal Plan* requires *Restaurant Service*, sendo as características *Hotel Options* e *Meal Plan* as características dependentes.

Características comuns não precisam ser especificadas como pré-requisito porque serão providas por todos os membros do sistema. Essa especificação deve ser feita entre as características opcionais ou alternativas.

O outro relacionamento é o de mutuamente inclusivo (*mutually includes*), que expressa quando as características são necessárias juntas. Apesar de parecer redundante, pois poderia ser aplicado o relacionamento de “requer” em ambos os sentidos, essa representação facilita o entendimento da semântica. Sua representação é feita através do estereótipo da UML {*mutually includes = Mutually Inclusive Feature Name*}. Esse relacionamento gera uma subclassificação para as características, que podem ser características explícitas, podendo ser escolhidas individualmente, ou implícitas, que quando estabelecido o relacionamento, as características envolvidas não podem ser selecionadas individualmente. Da Figura 6, podem ser citadas como exemplos as características *Hotel Kernel* e *Hotel Alternatives* que mantêm essa relação de dependência mútua, o que expressa a necessidade de serem selecionadas de forma conjunta na produção de um membro dentro de uma linha de produtos de Hotéis. Dessa forma, tornam-se características implícitas, dependentes uma da outra.

As características relacionadas podem ser agrupadas em grupos de características. O objetivo é agrupar características que possuam pré-requisitos em comum. Os grupos representam restrições de como as características são usadas por um determinado membro de uma linha de produtos de software e são divididos em quatro categorias, identificadas por um dos estereótipos apresentados na Figura 7.

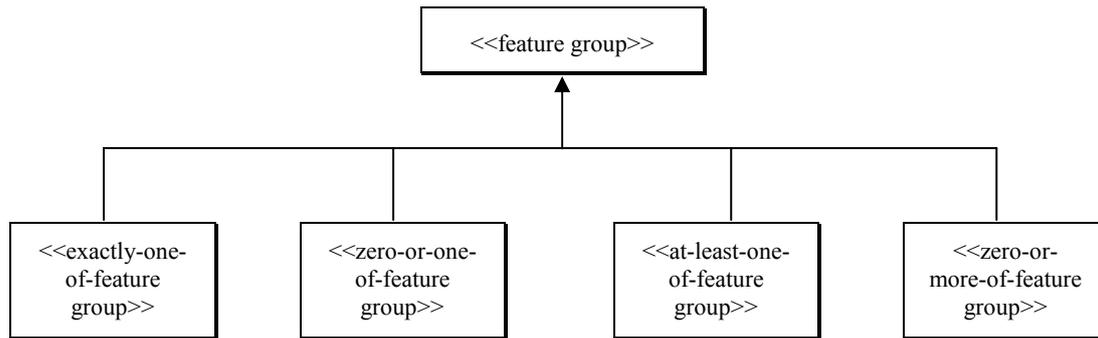


Figura 7 - Estereótipos dos tipos de grupo na notação de Gomma (2004)

Os dois primeiros tipos estão relacionados com características mutuamente excludentes, ou seja, representam pontos de variação que possuem como variantes características alternativas. Suas descrições seguem abaixo:

<<exactly-one-of-feature group>> : também denominado como *one-and-only-one-of-feature*, representa o caso em que apenas uma característica deve ser selecionada do grupo. Sua representação é dada por *<<exactly-one-of-feature group>> Feature Group Name {default = Default Feature Name, alternative = First Alternative Feature Name, ..., Nth Alternative Feature Name, prerequisite= Prerequisite Feature Name}*.

<<zero-or-one-of-feature group>> : caso em que a seleção de uma característica alternativa é opcional. Sua representação é feita por *<<zero-or-one-of-feature group>> Feature Group Name {alternative = First Alternative Feature Name, ..., Nth Alternative Feature Name, prerequisite= Prerequisite Feature Name}*.

Nos outros dois tipos, as características não se excluem mutuamente, ou seja, representam grupos em que as características são opcionais. São descritos abaixo:

<<at-least-one-of-feature group>> : ao menos uma característica deve ser escolhida. Sua representação é feita da seguinte maneira: *<<at-least-one-of-feature group >> Feature Group Name {default = Default Feature Name, feature =Second Optional Feature Name, ..., Nth Optional Feature Name, prerequisite = Prerequisite Feature Name}*.

<< zero-or-more-of-feature group>> : a seleção de uma ou mais características do grupo é opcional. Sua representação é *<< zero-or-more-of-feature group>> Feature Group Name {feature =First Optional Feature Name, ..., Nth Optional Feature Name,, prerequisite= Prerequisite Feature Name}*.

É possível notar que a definição de uma característica padrão dentro de um grupo só é válida quando a escolha de ao menos uma característica é obrigatória, caso

dos tipos de grupo <<*exactly-one-of-feature group*>> e <<*at-least-one-of-feature group*>>.

2.4 - Estudo sobre Ferramentas para Modelagem de Características

Foi realizado um estudo sobre as funcionalidades de modelagem de características disponíveis em ferramentas existentes. São descritas, nesta seção, algumas destas funcionalidades que mais chamaram atenção durante a coleta de informações.

O *FeaturePlugin* é um *plug-in* para realizar a modelagem de características no Eclipse (ANTKIEWICZ & CZARNECKI, 2004). A ferramenta suporta a modelagem baseada em cardinalidade, derivada do método FODA de modelagem e abrange os conceitos de características, cardinalidade de grupos, atributos de características, referências de diagrama de características e anotações definidas pelo usuário. A modelagem segue a estrutura de árvore, conforme mostra a árvore do lado esquerdo da Figura 8, que descreve uma linha de produtos de lojas de produtos eletrônicos, com quatro diagramas de características, cada um possuindo uma característica raiz, ou seja, as características, *Payment*, *Shipping*, *PasswordPolicy* e *EShop*. Pode ser identificado o conceito de cardinalidade, por exemplo, através da cardinalidade [1..*] da característica *Method*, que também apresenta como exemplo do conceito de atributo o tipo *String* entre parênteses. O grupo de características *Chars* apresenta sua cardinalidade definida através do intervalo <2-4>. Por último, nota-se na Figura 8 a referência entre a característica *EShop* com os outros três diagramas.

A configuração, processo que consiste na derivação de uma configuração concreta de um diagrama de característica através da seleção e clonagem de característica e especificação dos valores de atributos, pode ser exportada para o formato XML ou acessada em memória na forma de estrutura de árvore. O processo de configuração pode ser realizado através da seleção dos Check boxes que aparecem na árvore do lado direito da Figura 8, permitindo a seleção de características opcionais e características agrupadas. O processo de clonagem é permitido para características que apresentam cardinalidades com valor máximo superior a um, como o caso da característica *Method*, clonada duas vezes na Figura 8. Os valores dos atributos também foram definidos para cada instância das características *Method*, *FlatRate* e *InDays*, na Figura 8.

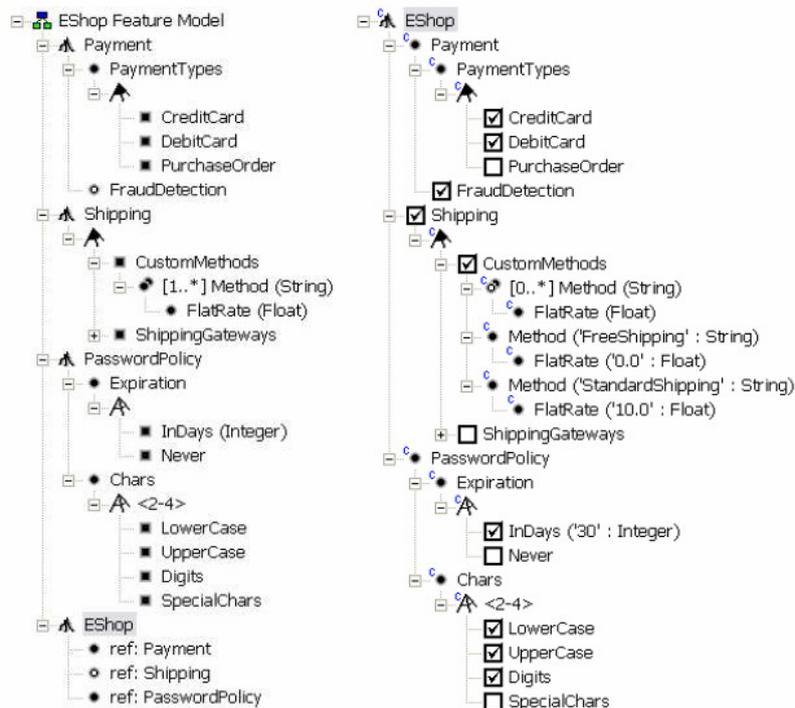


Figura 8 - Exemplo de um modelo de característica e de uma configuração do modelo no editor da ferramenta FeaturePlugin (ANTKIEWICZ e CZARNECKI, 2004)

A ferramenta também permite a definição de restrições que devem ser expressas usando XPath 2.0, uma linguagem de expressão que permite o processamento de valores conforme um modelo de dado, que prove uma árvore de representação de documentos XML, assim como valores atômicos como inteiros, strings e booleanos, e sequências que podem conter referências para nós em documentos XML e valores atômicos (XPATH, 2008). Essas restrições são checadas para uma determinada configuração e são complementares àquelas expressas por características e cardinalidades. Um exemplo pode ser visualizado na **Figura 9**, aonde podem ser citados como exemplos de restrições: o atributo da característica *InDays* deve ser positivo; a seleção da característica *FraudDetection* implica na seleção da característica *CreditCard* e/ou *DebitCard*.

Constraint	Value
<input checked="" type="checkbox"/> //InDays[@value > 0]	true
<input checked="" type="checkbox"/> if(count(//FraudDetection)>0) then (count(//CreditCard)+count(//DebitCard)>0) ...	true
<input checked="" type="checkbox"/> some \$x in //Method satisfies (\$x/FlatRate[@value > 0])	true

Figura 9 - Restrições para a configuração do exemplo da Figura 8 (ANTKIEWICZ e CZARNECKI, 2004)

O *plug-in* também permite que outras informações como prioridades de características, exemplos de sistemas já implementados, desenvolvedores responsáveis, dentre outras, possam ser gravadas como anotações e representadas através de modelos de características representados como árvores, assim como as da Figura 8. No entanto, os elementos deste diagrama são as próprias anotações, representadas através de características, grupos de características, referências, etc.

Em ANTKIEWICZ & CZARNECKI (2004) pode ser identificada uma descrição resumida de outros trabalhos relacionados. Um deles é o *AmiEddi*, primeiro editor a suportar a notação para a modelagem de características descrita em (CZARNECKI e EISENECKER, 2000) que não inclui cardinalidade. Seu sucessor, *CaptainFeature* passou a incluir cardinalidade e modela utilizando-se de diagrama de características baseado em propriedades da notação definida por CZARNECKI *et al.* (2005). Outra ferramenta, *ConfigEditor*, foi um protótipo inicial de implementação de configuração baseada em característica, funcionalidade integrada posteriormente na ferramenta *CaptainFeature*, mas ambas impõem o processo *top-down* de configuração. Ainda descreve o *ReqLine*, que apresenta-se como uma ferramenta de pesquisa que visa integrar modelagem de características com os requisitos de engenharia, não suportando cardinalidade, mas permite estabelecer diferentes tipos de relacionamentos entre as características através da hierarquia. Também se propõe a checar consistência de modelos e possui capacidades básicas de configuração de produtos. Trata modelos de características de forma similar ao *CaptainFeature*. Já o *Pure::Variants* é uma ferramenta comercial com modelagem de características e configuração baseada em uma estrutura de árvore. A ferramenta não suporta cardinalidade, mas oferece modelagem global de restrições entre características e configuração baseada em restrições usando Prolog.

O GME, *Generic Modeling Environment* (LÉDECZI *et al.*, 2001), é um ambiente de modelagem configurável, desenvolvido no *Institute for Software Integrated Systems*, na *Vanderbilt University*. Permite que sua configuração seja alcançada através de metamodelos que especificam o paradigma de modelagem de um domínio de aplicação, que inclui toda informação sintática, semântica e de apresentação sobre o domínio (conceitos para construção de modelos, possíveis relacionamentos existentes entre os conceitos, modo de organização e visualização dos conceitos pelo usuário e regras para construção de modelos). A ferramenta permite a criação de um ambiente de

modelagem de características, suportando a criação de linguagens de modelagem e adaptação através da modificação dos metamodelos.

O ambiente Odyssey (ODYSSEY, 2008) é uma infra-estrutura de reutilização baseada em modelos de domínio. Contempla atividades do desenvolvimento de software *para* reutilização, processo de Engenharia de Domínio (ED), e atividades do desenvolvimento *com* reutilização, processo de Engenharia de Aplicação (EA), com foco no reaproveitamento e adaptação dos componentes do domínio à aplicação. A modelagem de características é baseada na notação Odyssey-FEX definida em OLIVEIRA (2006), descrita na seção 2.3.1, deste capítulo. Essa modelagem é representada através de diagramas e as propriedades de cada característica são visualizadas e configuráveis através de padrões de documentação acessíveis através de telas de fácil interação com o usuário. O ambiente disponibiliza seus próprios processos de reutilização para ED, como o Odyssey-DE (BRAGA, 2000) e CBD-Arch-DE (BLOIS *et al.*, 2004) e outras ferramentas que apóiam, de forma automatizada, as diferentes etapas definidas em um processo de reutilização, como ferramentas para a documentação de componentes (MURTA *et al.*, 2001), especificação e instanciação de arquiteturas específicas de domínios (XAVIER, 2001), apoio à engenharia reversa (VERONESE *et al.*, 2002), ferramenta de notificação de críticas em modelos UML (DANTAS *et al.*, 2001), dentre outras.

Pode-se observar que as ferramentas disponíveis para modelagem apresentam uma série de restrições. Muitas das ferramentas apresentam apenas uma notação para modelagem de características, sendo limitada aos conceitos e propriedades oferecidos pela notação, o que pode acarretar entraves em todo o processo de desenvolvimento, já que a notação disponível pode não atender a determinados requisitos necessários às necessidades de modelagem da equipe ou empresa. O GME, apesar de configurável através de um metamodelo, exige um esforço adicional para montar a estrutura de trabalho e adicionar funcionalidades que expressem as necessidades do usuário.

Outra restrição observada é quanto à forma de representação dos modelos, algumas pouco flexíveis e de difícil visualização pelo usuário. Outro fato a ser ressaltado é a questão da maioria das ferramentas serem apenas direcionadas para modelagem e não um ambiente de suporte a diferentes etapas definidas em um processo de reutilização.

Dentre as ferramentas, o ambiente Odyssey se apresenta como a mais completa no suporte a diferentes etapas do processo de reutilização, já que as outras ferramentas

são destinadas apenas à modelagem de características ou possuem capacidades básicas em outras etapas do processo de reutilização. Assim, o ambiente Odyssey destaca-se por ser um ambiente voltado para as práticas de desenvolvimento *para e com* reutilização, além da disponibilidade de diversas ferramentas de apoio.

2.5 Considerações Finais

Como resultado do estudo conceitual, pode-se observar a importância da modelagem de características como uma das formas de representar a variabilidade de famílias de sistemas realizada dentro de abordagens que visam atingir o desenvolvimento baseado em reutilização de forma sistemática, como a Engenharia de Domínio e a Linha de Produtos de Software.

Pode-se observar que, entre as notações estudadas, vários conceitos são abordados de forma diferenciada ou são restritos à determinada notação. Algumas notações são mais abrangentes, com maior riqueza de aparatos para desenvolver a modelagem, como a notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006) que disponibiliza uma maior variedade de relacionamentos e uma maior diferenciação entre as classificações de características através de categorias que refletem as diferentes fases de desenvolvimento do software, além de permitir definir relações de dependência e mútua exclusividade através de Regras de Composição Complexas. No entanto, outras se diferenciam por determinada propriedade que possuem, como, por exemplo, a notação definida por CZARNECKI *et al.* (2004, 2005), que se destaca pela conceito de cardinalidade e a possibilidade da definição de um atributo para uma característica. As similaridades e diferenças entre as três notações abordadas neste trabalho, i.e. a Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006), a notação definida por CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e a notação definida por GOMMA (2004), encontram-se descritas no Capítulo 3.

A análise das funcionalidades disponibilizadas nas ferramentas de modelagem observadas ressaltou que a falta de flexibilidade de escolha de uma notação mais adequada à realidade de uma equipe está presente dentre as limitações encontradas nessas ferramentas. A restrição imposta força o profissional a trabalhar com uma notação que não tenha conhecimento ou familiaridade e acaba por exigir um esforço adicional de adaptação à notação antes de se dedicar à modelagem. Essa situação pode afetar a modelagem proposta para representar a variabilidade e acarretar prejuízos em

todo o processo de desenvolvimento, já que como mencionado, notações disponibilizam um certo conjunto de conceitos e a não flexibilidade de escolha imposta pelo ambiente, pode resultar no uso de uma notação que pode não abordar alguns conceitos que atendam às necessidades do usuário.

Diante de tais considerações, um ambiente mais flexível no que diz respeito à escolha de notação para a modelagem de variabilidades e voltado à reutilização seria de grande importância para auxiliar no processo de modelagem. Assim, o objetivo deste trabalho é flexibilizar o ambiente Odyssey, ambiente de modelagem baseado em reutilização, fornecendo a possibilidade de escolha, inicialmente, de três notações para modelagem de características e a transição entre as notações. A transição entre as notações deve exigir um estudo detalhado, descrito no Capítulo 3, para que não ocorra perda de informações relevantes ou inconsistência na modelagem. As alterações e adaptações na estrutura do ambiente Odyssey, para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado, encontram-se descritas ao longo do Capítulo 4. O objetivo era que essa estrutura fosse flexível com a possibilidade de extensão em trabalhos futuros, através da incorporação de novas notações.

3.1 – Introdução

As diferentes notações disponíveis para a modelagem de variabilidade através da modelagem de características apresentam diversas similaridades e diferenças entre si. O entendimento dessas diferentes representações é a base para permitir o desenvolvimento de um trabalho que envolva algum tipo de relação entre elas.

Esse capítulo se dedica a expressar o resultado de um estudo comparativo realizado entre as três notações abordadas nesse projeto e como pode ser realizado um mapeamento das propriedades de uma notação para outra. A seção 3.2 apresenta o resultado do estudo e a seção 3.3 apresenta o mapeamento que foi adotado durante o desenvolvimento do trabalho, tanto para os conceitos já mapeados durante o estudo quanto para os conceitos que não apresentaram correlação com a adoção de um mapeamento padrão. A seção 3.3 também descreve o impacto das transformações entre as notações, destacando as perdas de informações que ocorrem devido às limitações impostas pelas representações específicas de cada notação.

3.2 - Estudo Comparativo entre as Três Notações Abordadas neste Trabalho

Apesar de diferentes representações serem usadas, cada uma referente a uma notação, alguns conceitos possuem a mesma semântica, independente de representações gráficas ou nomenclaturas. Essas similaridades entre as notações representam propriedades comuns, formando um núcleo ou base de conceitos, a partir do qual cada notação pode ser estendida com novos conceitos.

O estudo comparativo das notações foi dividido em três classes de conceitos, visando facilitar a compreensão das notações e um maior detalhamento e formalização dos resultados dessa análise. A primeira classe de conceitos trata da taxonomia das características, fazendo um paralelo entre as diversas classificações e a presença de certas propriedades relativas a uma característica, como, por exemplo, o nome atribuído

à característica, a definição da camada do modelo a qual a característica pertence, dentre outras. A segunda classe trata do conceito de dependência e mútua exclusividade entre características. A terceira, e última, trata do conceito referente aos relacionamentos presentes entre as características. A seguir, essas classes serão detalhadas.

3.2.1- Taxonomia das Características

Dentre as propriedades de características presentes nas notações, o conceito de opcionalidade e obrigatoriedade, por exemplo, ou seja, a presença ou não de uma característica em uma aplicação do domínio, está presente em todas as notações. Na Tabela 4, está representada a correlação do conceito de opcionalidade entre as notações.

Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Característica mandatória	Característica com cardinalidade com valor mínimo superior a zero	Característica comum - (<i>Common Feature</i>)
Característica opcional	Característica com cardinalidade com valor mínimo igual a zero	Característica opcional - (<i>Optional Feature</i>)

Tabela 4 - Correlação semântica do conceito de opcionalidade nas três notações

Outro conceito comum a todas as notações é o de variabilidade, que consiste na classificação das características em ponto de variação, variantes ou invariantes. A característica que reflete a parametrização no domínio de uma maneira abstrata é determinada como um ponto de variação, onde a partir dela podem ser feitas escolhas dentre algumas características, que são configurações daquele grupo, ou suas variantes. As características invariantes correspondem a características fixas, representando elementos não-configuráveis em um domínio.

A classificação de opcionalidade como característica comum ou opcional na notação de Gomaa, se refere a uma característica também classificada como invariante. A opcionalidade também pode ser expressa através de outras classificações dentro dos conceitos de ponto de variação e variante.

A Tabela 5 expressa o conceito de variabilidade associado ao conceito de opcionalidade, pois ambos podem ser combinados de diferentes formas nas três notações.

Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Ponto de variação	Característica que agrupa	Grupo de característica (<i>feature group</i>)
Ponto de variação mandatório ou com cardinalidade com valor mínimo superior a zero	Característica que agrupa com cardinalidade com valor mínimo superior a zero	Grupo de característica << <i>exactly-one-of-feature group</i> >> / Grupo de característica << <i>one-or-more-of-feature group</i> >>
Ponto de Variação mandatório com cardinalidade com valor mínimo superior a zero e cardinalidade máxima com valor superior a um	Característica que agrupa com cardinalidade mínima do grupo com valor superior a zero e cardinalidade máxima com valor superior a um	Grupo de característica << <i>one-or-more-of-feature group</i> >>
Ponto de Variação mandatório com cardinalidade mínima e máxima com valor igual a um	Característica que agrupa com cardinalidade mínima e máxima com valor igual a um <1,1>	Grupo de característica << <i>exactly-one-of-feature group</i> >>
Ponto de variação opcional ou com cardinalidade com valor mínimo igual a zero	Característica que agrupa com cardinalidade do grupo com valor mínimo igual a zero <0-k>, onde k representa o valor da cardinalidade máxima.	Grupo de característica << <i>zero-or-one-of-feature group</i> >> / Grupo de característica << <i>zero-or-more-of-feature group</i> >>
Ponto de Variação opcional com cardinalidade mínima com valor igual a zero e máxima com valor igual a um	Característica que agrupa com cardinalidade mínima com valor igual a zero e cardinalidade máxima com valor igual a um <0,1>	Grupo de característica << <i>zero-or-one-of-feature group</i> >>
Ponto de Variação opcional com cardinalidade mínima com valor igual a zero e máxima com valor superior a um	Característica que agrupa com cardinalidade mínima com valor igual a zero e cardinalidade máxima com valor superior a um <0-k>, onde k > 1 representa o valor da cardinalidade máxima.	Grupo de característica << <i>zero-or-more-of-feature group</i> >>

Tabela 5 - Correlação do conceito de variabilidade nas 3 notações

Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Variante	Característica agrupada ¹	Característica associada a grupo de característica (<< <i>optional feature</i> >> ou << <i>alternative feature</i> >> ou << <i>default feature</i> >>)
Variante opcional de um ponto de variação SOMENTE com variantes opcionais e com cardinalidade com valor máximo igual a um (cardinalidade do ponto de variação: <1,1> ou <0,1>)	Característica agrupada pertencente a um ponto de variação com cardinalidade máxima igual a um (cardinalidade do ponto de variação: <1,1> ou <0,1>)	Característica Alternativa: << <i>alternative feature</i> >>
Variante opcional de um ponto de variação SOMENTE com variantes opcionais e com cardinalidade com valor máximo superior a um.	Característica agrupada pertencente a um ponto de variação com cardinalidade máxima superior a um	Característica Opcional: << <i>optional feature</i> >>
Não possui correlação	Não possui correlação	Característica Padrão: << <i>default feature</i> >>
Variante mandatória	Não possui correlação	Não possui correlação
Invariante mandatória	Característica Solitária com cardinalidade mínima com valor superior a zero ou característica raiz	Característica Comum: << <i>common feature</i> >>
Invariante opcional	Característica Solitária com cardinalidade mínima com valor igual a zero	Característica Opcional: << <i>optional feature</i> >>

Tabela 5 – Correlação do conceito de variabilidade nas 3 notações (Cont.)

Uma observação relevante quanto à notação Odyssey-FEX é o acréscimo do conceito de cardinalidade durante o desenvolvimento deste trabalho. No entanto, esta opção de determinar a opcionalidade fica restrita às características que são modeladas como ponto de variação. Neste caso, a opcionalidade pode ser definida da seguinte forma: a obrigatoriedade pode ser representada pela classificação da característica como mandatória ou através da cardinalidade definida com valor mínimo superior a zero, e a opcionalidade pode ser representada pela classificação da característica como opcional ou através da cardinalidade definida com valor mínimo igual a zero.

¹ As características que representam variantes na notação de Czarnecki não possuem cardinalidade associada a elas. Assim, a cardinalidade é referente ao grupo, sendo definida na característica que agrupa (ponto de variação) e todas as variantes são opcionais.

Um acréscimo quanto à variabilidade pode ser feito com relação à notação de Gomaa, que também apresenta a classificação de uma característica como padrão dentre as variantes. Essa classificação, que representa uma característica que é escolhida caso nenhuma outra variante seja selecionada durante o processo de configuração de uma aplicação ou produto específico, não encontra correlação nas outras notações.

Outra ressalva é quanto a classificação de uma variante como mandatória. Essa classificação só é encontrada na notação Odyssey-FEX. Nas outras notações, as variantes são sempre classificadas como opcionais.

Outro ponto de análise é o da classificação das características nas diferentes notações. A Tabela 6 demonstra as classificações das características nas três notações e possíveis correlações.

Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Característica de Entidade	Não possui correlação	Não possui correlação
Característica de Domínio Funcional	Não possui correlação	Não possui correlação
Característica de Domínio Conceitual	Não possui correlação	Não possui correlação
Característica de Ambiente Operacional	Não possui correlação	Não possui correlação
Característica de Tecnologia de Domínio	Não possui correlação	Não possui correlação
Característica de Técnicas de Implementação	Não possui correlação	Não possui correlação
Não possui correlação	Característica raiz	Característica comum da qual as outras se estendem na árvore
Característica classificada como Invariante	Característica solitária	Característica comum (<i><<common feature>></i>) ou característica opcional (<i><<optional feature>></i>)
Característica classificada como Variante	Característica agrupada	Característica associada a grupo de característica (<i><<optional feature>></i> ou <i><<alternative feature>></i> ou <i><<default feature>></i>)
Não possui correlação	Característica que possui a definição de atributo (tipo e possível valor default)	Característica Parametrizada (<i><<parameterized feature>></i>)
Característica classificada como Ponto de variação	Característica que agrupa	Característica classificada como grupo <i><<feature group>></i>

Tabela 6 - Correlação do conceito de classificação por categorias nas 3 notações.

As categorias na notação Odyssey-FEX estão relacionadas às diferentes fases de desenvolvimento do software e são exclusivas dessa notação. Vale ressaltar que, na notação Odyssey-FEX, a representação do modelo não se dá pela forma de árvore, como nos casos da notação de Czarnecki e da notação de Gomaa, mas sim na forma de um grafo. Assim, o conceito de característica raiz, presente na notação de Czarnecki, fica fora de contexto, mas poderia ser feita uma correlação semântica com uma característica que representasse o domínio como um todo e de onde partissem as ligações para as outras características do modelo. Lembrando que a notação de Gomaa, apesar da representação em forma de árvore, não possui a classificação de característica como raiz, a representação desta característica se dá através de uma característica classificada como comum, representando todo o domínio, e que graficamente é a raiz do diagrama.

Outra ressalva é quanto à classificação de uma característica como parametrizada na notação de Gomaa. Este tipo de característica está relacionado com a necessidade de definição dos valores de um parâmetro durante a fase de configuração de uma linha de produtos. A diferença entre a característica parametrizada em Gomaa e o atributo em Czarnecki, é que no primeiro visa-se explicitar o intervalo de possíveis valores do parâmetro definido pela característica, e na segunda, apenas associa-se um tipo de atributo à característica. Ambos especificam o tipo do atributo e permitem a definição de um valor default.

Pode ser traçado um comparativo entre algumas propriedades relativas às características e quais delas são abordadas nas notações. A Tabela 7 representa as propriedades identificadas nessas notações.

Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Nome	Nome	Nome
Camada (de tecnologia)	Não possui correlação	Não possui correlação
Característica não-definida	Não possui correlação	Não possui correlação
Característica externa (pertencente a um domínio diferente do que está sendo modelado)	Não possui correlação	Não possui correlação
Característica organizacional	Não possui correlação	Não possui correlação

Tabela 7 - Correlação do conceito de propriedades de uma característica nas 3 notações

É interessante observar que a notação Odyssey-FEX possui diferentes propriedades, que não estão presentes nas outras notações. Essas peculiaridades foram introduzidas na notação por OLIVEIRA (2006), através de modificações dos tipos herdados da notação inicialmente proposta por MILER (2000).

3.2.2 - Dependência e Mútua Exclusividade entre Características

Outra classe sob análise é a de dependência e mútua exclusividade entre características, que pode ser expressa através de uma regra de composição inclusiva ou através de uma regra de composição exclusiva, respectivamente, na notação Odyssey-FEX. Nas demais notações, o poder de definir restrições entre as características não é tão expressivo como o das Regras de Composição da notação Odyssey-FEX, em que elementos do modelo podem ser combinados através de operadores booleanos (AND, OR, NOT, XOR), permitindo uma representação mais expressiva das regras que definem dependência e mútua exclusividade. A Tabela 8 apresenta algumas formas de trabalhar com regras de composição e as correlações entre as notações.

Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Ponto de variação em que a cardinalidade máxima teria valor igual a um (<0,1> ou <1,1>) ou ponto de variação com regra de composição exclusiva entre todas as suas variantes	Grupo de característica ou-exclusivo <1,1> / Grupo de característica ou-exclusivo <0,1>	Grupo de característica <<exactly-one-of-feature group>> / Grupo de característica <<zero-or-one-of-feature group>>
Regra de composição exclusiva entre invariantes	Não possui correlação	Não possui correlação
Regra de composição inclusiva (antecedente requer conseqüente)	Não possui correlação	Relacionamento requer
Regra de composição inclusiva incluindo duas regras: antecedente requer conseqüente, conseqüente requer antecedente	Não possui correlação	Relacionamento mutuamente inclusivo

Tabela 8 - Correlação do conceito de regra de composição nas 3 notações

Pode-se notar que a questão de mútua exclusividade pode ser representada de diferentes maneiras na notação Odyssey-FEX, quando se trata de ponto de variação e

escolha de apenas uma característica entre suas variantes. Essa representação pode ser alcançada através do ponto de variação com cardinalidade máxima igual a um, ou ser representada através de um ponto de variação que possui regra de composição de mútua exclusividade entre suas variantes, ou seja, suas variantes são excludentes entre si. Esta observação vale para um ponto de variação mandatório ou opcional.

3.2.3 – Relacionamentos

A última classe de análise envolve os relacionamentos presentes nas notações. Os relacionamentos da notação Odyssey-FEX não são apenas hierárquicos, permitindo a expansão do modelo em diversas direções. Inclui relacionamentos da UML e outros que possibilitam uma representação explícita da variabilidade no modelo, como por exemplo, o relacionamento Alternativo, que expressa a relação entre um ponto de variação e suas variantes.

A notação de Czarnecki apresenta o conceito de referência, uma linha tracejada entre uma característica solitária e uma característica raiz de árvores diferentes no modelo, identificando uma relação entre as características. Vale lembrar que esta notação utiliza um nível menos abstrato que a notação Odyssey-FEX e a notação de GOMAA (2004), evidenciando o número de instâncias de características que podem ocorrer em uma aplicação através do conceito de cardinalidade ([0..1], [1..1],[0..k],[1..k],[n..k]). Este conceito é uma propriedade dos relacionamentos entre as características. Após este trabalho, a notação Odyssey-FEX também agregou o conceito de cardinalidade, porém restrito às características que são classificadas como ponto de variação, representando o número de variantes que podem ser selecionadas.

Vale ressaltar que nem todos os relacionamentos entre características da Odyssey-FEX, como os da UML, são considerados nas outras notações. Os autores das outras notações alegam que esses relacionamentos são melhores modelados em outros tipos de modelos, cabendo a modelagem de características capturar as similaridades e variabilidades no domínio. Porém, os autores da Odyssey-FEX acreditam que uma maior riqueza de relacionamentos permita expressar melhor a semântica do domínio em questão (MILER, 2000).

A notação de Gomaa apresenta dois relacionamentos: o relacionamento requer e o relacionamento mutuamente inclusivo. A Tabela 9 apresenta os diferentes relacionamentos existentes entre as notações e as suas correlações.

Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Composição	Não possui correlação	Não possui correlação
Agregação	Não possui correlação	Não possui correlação
Generalização	Não possui correlação	Não possui correlação
Associação	Não possui correlação	Não possui correlação
Alternativo	Ligação entre característica que agrupa e características agrupadas	Ligações dentro de um grupo de características
Implementado por	Não possui correlação	Não possui correlação
Dependência	Não possui correlação	Relacionamento requer
2 relacionamentos dependência	Não possui correlação	Relacionamento mutuamente inclusivo
Associação	Relacionamento de referência	Relacionamento requer

Tabela 9 - Correlação do conceito de relacionamento nas 3 notações

A partir da Tabela 9, é possível notar que existe uma correlação entre o relacionamento requer em Gomaa e o relacionamento dependência na notação Odyssey-FEX. Vale ressaltar que a semântica fornecida por essas diferentes formas de representação, particulares de cada notação, também pode ser alcançada através de uma regra de composição inclusiva definida na notação Odyssey-FEX, como mencionado na seção 3.2.2. Assim, a regra de composição inclusiva simples, envolvendo apenas 2 características (antecedente requer conseqüente), equivale, semanticamente, ao relacionamento de dependência e ao relacionamento requer da notação Odyssey-FEX e da notação de Gomaa, respectivamente.

3.3 – Definição dos Mapeamentos entre as Notações e as Perdas de Informações após Transições

O estudo comparativo possibilitou a identificação, de forma mais clara, das similaridades entre as notações. As correlações distinguiram os conceitos específicos das notações e as diferentes representações de um mesmo conceito nas três notações. Diante desse estudo, foi possível definir mapeamentos que possibilitem a interação entre as notações, ou seja, a transição de uma notação para outra, tentando evitar perdas de informações ou conflitos de semântica após a transformação.

Alguns modelos de características são representados nas próximas seções como resultado de uma análise das diferentes classes de estudo realizada para o domínio das três notações de características abordadas neste trabalho. Expressam os conceitos que são comuns a todas as notações e aqueles que são variabilidades, particularidades de cada notação. Essa modelagem foi feita utilizando-se a notação Odyssey-FEX.

3.3.1- Análise da Classe de Taxonomia das Características

Esta seção se baseia no modelo de domínio de Telefonia Móvel apresentado na Figura 10, representado utilizando-se a notação Odyssey-FEX, para exemplificar as perdas que ocorrem durante as transições.

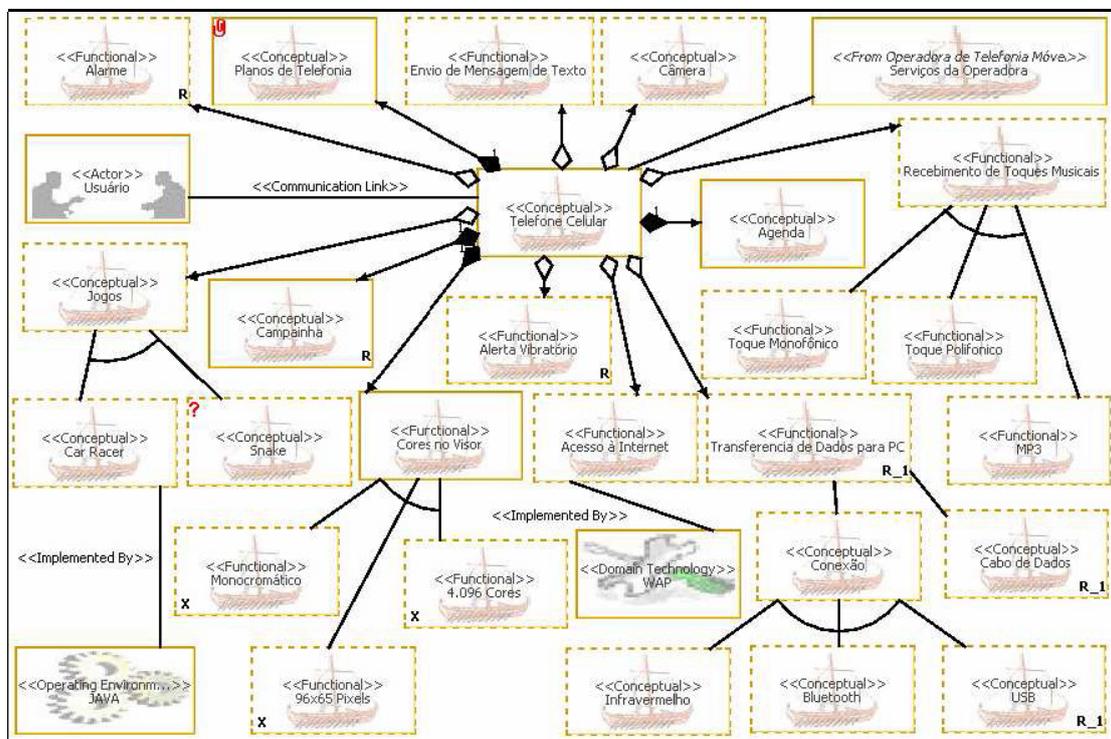


Figura 10 - Modelo do domínio de Telefonia Móvel na notação Odyssey-FEX

Referente à classe de taxonomia, o conceito de opcionalidade e obrigatoriedade foi identificado como um conceito comum às três notações, assim como o conceito de variabilidade. A diferença se encontra nas formas de representações adotadas por cada notação que foram expressas nas Tabelas 3.1 e 3.2.

Graficamente, o conceito de opcionalidade também apresenta particularidades em cada notação. Na notação Odyssey-FEX, esse conceito é representado por linhas contínuas para características mandatórias, ou tracejadas para características opcionais,

formando os retângulos que representam as características. Na notação de Czarnecki, o conceito é expresso por círculos cheios ou vazios sobre os retângulos que expressam as características, ou através da representação da cardinalidade. Na notação de Goma, esse conceito está expresso através dos estereótipos que aparecem sobre o nome das características dentro dos retângulos que as representam e estão explicados na Tabela 5.

A Figura 11 ilustra o modelo de características que representa as diferentes combinações entre os conceitos de opcionalidade e de variabilidade e suas obrigatoriedades entre as três notações.

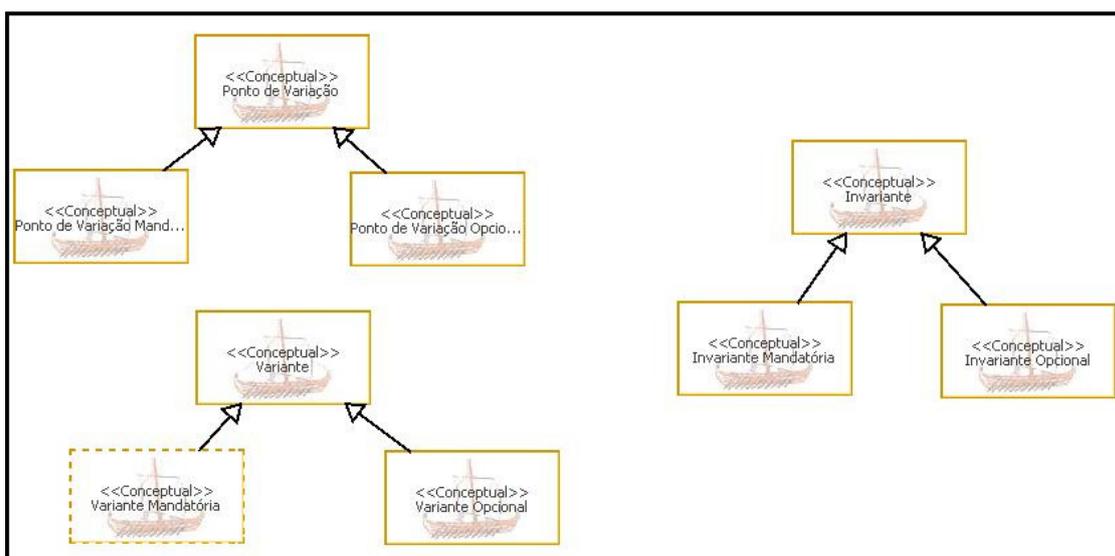


Figura 11 - Diagrama do conceito de opcionalidade e variabilidade

Pode-se notar que todas as combinações de classificações quanto à opcionalidade que envolvem características classificadas como pontos de variação são comuns às três notações. Assim, as características *Ponto de Variação*, *Ponto de Variação Mandatório* e *Ponto de Variação Opcional*, que representam ponto de variação, são obrigatórias. Quanto as características classificadas como variantes, o conceito de obrigatoriedade só está presente na notação Odyssey-FEX, o que é representado no modelo da Figura 11, através da opcionalidade da característica *Variante Mandatória*. As demais classificações são comuns às três notações, sendo representadas através das características mandatórias *Variante* e *Variante Opcional*. Assim, como para ponto de variação, as combinações de classificações quanto à opcionalidade para características invariantes também são comuns às três notações. Dessa forma, são características mandatórias, no modelo da Figura 11, a saber: *Invariante*, *Invariante Mandatória* e *Invariante Opcional*.

O mapeamento referente aos conceitos de opcionalidade e variabilidade está bem definido na Tabela 5. No entanto, vale ressaltar algumas perdas de informações que ocorrem durante a transição entre as notações. A Tabela 10 descreve as perdas referentes aos conceitos de variabilidade e opcionalidade.

Conceito	Transformação	Perda de informação
Variante mandatária	Odyssey-FEX -> Gomaa / Odyssey-FEX-> Czarnecki	Perda da informação. Mapeamento para variantes opcionais.
Cardinalidade no ponto de variação	Odyssey-FEX -> Czarnecki	Sem perda de informação
Cardinalidade de invariantes: Valor mínimo	Czarnecki -> Odyssey-FEX	Perda de informação para valores diferentes de zero e um. Mapeamento: utiliza conceito de opcionalidade.
Cardinalidade de invariantes: Valor máximo	Czarnecki-> Odyssey-FEX	Perda de informação. No mapeamento Odyssey-FEX -> Czarnecki o valor atribuído é um.
Cardinalidade no ponto de variação: valor mínimo diferente de zero ou um	Odyssey-FEX -> Gomaa / Czarnecki->Gomaa	Perda da informação. O mapeamento baseado no conceito de opcionalidade .
Cardinalidade no ponto de variação: valor máximo diferente do número de variantes do grupo ou diferente de um (mútua exclusividade)	Odyssey-FEX->Gomaa/ Czarnecki->Gomaa	Perda da informação. O mapeamento é baseado no conceito de mútua exclusividade entre as variantes, definindo a cardinalidade máxima com o valor um ou do número de variantes (não mútua-exclusividade).

Tabela 10 - Perdas referentes aos conceitos de opcionalidade e variabilidade após transição entre as notações.

As cardinalidades só são transferidas de modo completo no caso de transformação do ponto de variação da notação Odyssey-FEX para a notação de Czarnecki e vice-versa. Levando em consideração o exemplo do modelo de Telefonia Móvel da Figura 10, pode-se observar que na notação Odyssey-FEX, o conceito de cardinalidade poderia ser usado e definido nas características *Recebimento de Toques Musicais*, *Conexão*, *Cores no Visor* e *Jogos*, todas pontos de variação. Assim, caso a cardinalidade do ponto de variação *Jogos* fosse definida com valor mínimo igual a zero, por ser opcional, e valor máximo igual a dois, por ser o número de opções do grupo, essa cardinalidade seria mapeada da mesma forma para a notação de Czarnecki, sem perdas.

Nos outros casos há diversas perdas, como, por exemplo, a transição de invariantes de Czarnecki para Odyssey-FEX, que representa perda dos valores máximos das cardinalidades. Esses valores passam a ter mapeamento padrão igual a um na transição. A cardinalidade mínima só é mantida para os casos de valores iguais a zero ou a um, caso contrário o que é mapeado é apenas o conceito de opcionalidade.

Como exemplo, pode-se citar a característica *Serviços da Operadora* da Figura 10. Se, por suposição, na notação de Czarnecki essa característica invariante tivesse cardinalidade com valor mínimo igual a dois e valor máximo ilimitado, após a transição para a notação Odyssey-FEX esses valores teriam sido perdidos, sendo mapeados para o valor um. O caso do mapeamento do valor mínimo para um se deve à obrigatoriedade implícita em um valor de cardinalidade mínima superior a zero.

Essas perdas também ocorrem na transição de Czarnecki para Gomaa, onde todos os valores de cardinalidade são perdidos independente da variabilidade, já que a notação não trabalha com o conceito de cardinalidade.

A cardinalidade do ponto de variação também é perdida na transição de Odyssey-FEX para Gomaa ou de Czarnecki para Gomaa. Nestes casos, o mapeamento só leva em consideração o conceito de opcionalidade, independente dos valores atribuídos à cardinalidade mínima, que passa a ser definida com valor igual a zero para os tipos de grupo *<<zero-or-one-of-feature group>>* e *<<zero-or-more-of-feature group>>*, e igual a um para os tipos de grupo *<<exactly-one-of-feature group>>* e *<<at-least-one-of-feature group>>*, após a migração da notação de Gomaa. Na transição de volta, de Gomaa para Odyssey-FEX, ou de Gomaa para Czarnecki, o mapeamento padrão da cardinalidade máxima é um, para os tipos de grupo *<<exactly-one-of-feature group>>* e *<<zero-or-one-of-feature group>>*, representando o conceito de mútua

exclusividade entre as variantes. Este valor recebe o número de variantes do grupo, no caso dos tipos de grupos <<*zero-or-more-of-feature group*>> e <<*at-least-one-of-feature group*>>.

Utilizando o modelo da Figura 10, e admitindo uma transição para a notação de Gomaa, se, por suposição, o ponto de variação *Conexão* definisse sua cardinalidade com valor mínimo igual a dois, passando a ser mandatório, e seu valor máximo igual a três, essa informação seria perdida e o valor da cardinalidade mínima seria definido como um e o valor máximo seria o seu número de variantes, neste caso, três.

O fato da classificação de uma variante como mandatória ser uma exclusividade da notação Odyssey-FEX acarreta na perda da informação na transição para Czarnecki ou para Gomaa, onde as variantes passam a ser opcionais.

Como exemplo, caso, por suposição, a característica *Conexão* da Figura 10, fosse mandatória, com uma de suas variantes, por exemplo, *USB*, também classificada como tal, após a transição para a notação de Czarnecki ou de Gomaa, o ponto de variação continuaria como mandatório, mas a característica variante *USB* passaria a ser opcional.

Quanto às classificações que podem ser atribuídas às notações expressas na Tabela 6 muitas são perdidas após as transições. Todas as categorias, presentes na notação Odyssey-FEX, são perdidas, após a transformação para Czarnecki ou Gomaa. No caminho inverso, o mapeamento padrão é feito para a categoria de domínio conceitual ou fica a cargo do usuário a escolha das categorias durante o processo de transição.

Tomando como base o modelo da Figura 10, as classificações das características como funcionais, por exemplo, as características *Alarme*, *Recebimento de Toques Musicais* e *Acesso à Internet*, como de Tecnologia de Domínio, por exemplo, a característica *WAP*, ou de Ambiente Operacional, como, por exemplo, a característica *JAVA*, dentre outras, seriam perdidas após uma transição para a notação de Czarnecki ou para a notação de Gomaa, cabendo ao usuário restaurar essa classificação durante o processo de mapeamento de volta à notação Odyssey-FEX, ou seriam classificadas como conceituais de acordo com o mapeamento padrão.

No caso da característica parametrizada, esta é facilmente mapeada da notação de Gomaa para a notação de Czarnecki, com a associação de um atributo à característica, mas ainda neste caso há perda. As informações referentes aos valores que podem ser assumidos pelo atributo são perdidas nessa transição. No entanto, a transição

para a notação Odyssey-FEX provoca a perda de qualquer informação associada ao conceito de atributo na notação de Goma ou de Czarnecki.

Outra perda é a classificação da característica como raiz na notação de Czarnecki, após a transformação para Odyssey-FEX ou Goma, já que essas notações não mantêm esse tipo de informação. No caso da Odyssey-FEX, por não trabalhar com estruturas de árvores, e no caso de Goma, por não distinguir essa classificação.

A classificação de característica variante como característica padrão na notação de Goma, também é perdida, já que as outras notações não trabalham com o conceito de seleção padrão em um grupo onde uma de suas variantes deve ser escolhida obrigatoriamente.

De acordo com o modelo da Figura 10, caso a característica *Telefone Celular* fosse classificada como raiz na notação de Czarnecki, essa classificação seria perdida após uma transição de migração desta notação. Assim, só poderia ser restaurada pelo usuário durante o processo de transição de volta à notação ou seria classificada como solitária obrigatória, de acordo com o mapeamento padrão.

Quanto às propriedades descritas na Tabela 7, apenas o nome da característica é mapeado. As outras propriedades, exclusivas da notação Odyssey-FEX, são perdidas na transição para a notação de Czarnecki ou para a notação de Goma.

Essa perda pode ser entendida, baseada no modelo da Figura 10, com a perda das informações de característica Externa da *característica Serviços da Operadora*, de característica Organizacional da *característica Planos de Telefonia* e de característica Não-definida da *característica Snake*, após a transição de migração da notação Odyssey-FEX para outra. Essas propriedades não podem ser restauradas.

3.3.2 - Análise da Classe de Dependência e Mútua Exclusividade entre Características

A forma de representação deste conceito através de regras de composição inclusiva ou exclusiva é expressa apenas na notação Odyssey-FEX. Com isso qualquer regra de composição não é mapeada para as outras notações, levando a perda dessas informações.

Desta forma, as regras de composição inclusiva “*Alarme requer Campainha*” e “*(Transferência de Dados para PC AND USB) requer Cabo de Dados*”, e a regra de composição exclusiva “*Monocromático exclui (4.096 cores AND 96x65 Pixels)*”,

retiradas do exemplo da Figura 10, não são mapeadas para a notação de Czarnecki nem para a notação de Goma, após uma transição de migração da notação Odyssey-FEX.

A dependência expressa por uma regra de composição inclusiva simples em que antecedente e conseqüente da regra possuem apenas uma característica cada, tem a mesma semântica do relacionamento de dependência na notação Odyssey-FEX e esse relacionamento tem mapeamento na transição de Odyssey-FEX para Goma, através do relacionamento requer de Goma. No caso de Czarnecki, essa ligação é perdida.

Assim, caso as características Alarme e Campainha, da Figura 10, tivessem um relacionamento de dependência, isso seria mapeado para a notação de Goma, sendo transformado no relacionamento “*Alarme requires Campainha*”.

A regra de composição exclusiva entre variantes pode ser expressa através da cardinalidade do ponto de variação na notação Odyssey-FEX e, nesse caso, encontra mapeamento através da cardinalidade da característica que agrupa na notação de Czarnecki e o tipo de grupo na notação de Goma. Esse mapeamento vale nos dois sentidos das transições.

Assim, no caso de uma transição de migração da notação Odyssey-FEX, caso o ponto de variação *Cores no Visor*, da Figura 10, por suposição, tivesse cardinalidade com valor máximo definido igual a um, mesmo valor semântico da regra de composição exclusiva entre suas variantes, na notação de Czarnecki, essa cardinalidade seria representada e, na notação de Goma, estaria representada através do grupo com tipo definido pelo estereótipo <<exactly-one-of-feature group>>.

Os outros tipos de restrições expressos por regras de composição mais complexas ou que envolvem invariantes não são mapeados e as informações são perdidas após as transições da notação Odyssey-FEX para Czarnecki ou para Goma.

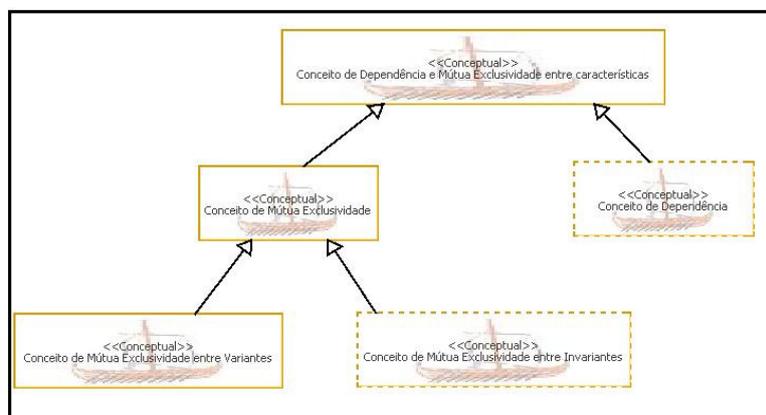


Figura 12 - Diagrama do conceito de Dependência e Mútua Exclusividade entre características

A Figura 12 representa o modelo de características do conceito de Dependência e Mútua Exclusividade entre características. Pode-se observar que o conceito de mútua exclusividade entre variantes é comum às três notações, independente da representação. O conceito de dependência é comum à notação Odyssey-FEX e à notação de Goma, mas não é expresso na notação de Czarnecki, sendo então representado no modelo como uma característica opcional.

3.3.3 – Análise da Classe de Relacionamentos

Com relação aos relacionamentos, muitos são perdidos, principalmente os relacionamentos da UML incorporados à notação Odyssey-FEX, que não encontram representação nas outras notações e outros, específicos da notação, como o “Implementado por” e Ligação de Comunicação. A notação de Czarnecki só destaca como relacionamento o de referência, que visa associar dois diagramas. Apesar disso, apresenta ligações entre suas características e expressa propriedades entre elas através das cardinalidades. A notação de Goma apresenta dois tipos de relacionamentos: o relacionamento requer e o relacionamento mutuamente inclusivo.

Assim, como exemplos de relacionamentos que não seriam mapeados após uma migração da notação Odyssey-FEX, encontrados na Figura 10, pode-se destacar o relacionamento “ImplementadoPor” entre as características *CarRacer* e *JAVA* e entre as características *Acesso à Internet* e *WAP*, o relacionamento Ligação de Comunicação entre as características *Usuário* e *Telefone Celular* e outros relacionamentos como os de composição e agregação que podem ser visualizados na Figura 10 e indicam a relação entre a característica *Telefone Celular* e as demais características. Esses relacionamentos seriam mapeados apenas como uma ligação entre as características na notação de Czarnecki e como o relacionamento requer na notação de Goma.

Outro tipo de ligação comum nas três notações é a ligação entre ponto de variação e suas variantes, mesmo que não citada explicitamente como relacionamento entre as características. Na notação Odyssey-FEX, essa ligação é representada pelo relacionamento Alternativo.

Como exemplos de relacionamentos Alternativos presentes na Figura 10, que serão mapeados como ligações entre os pontos de variação e suas variantes na notação de Czarnecki e na notação de Goma após a transição da notação Odyssey-FEX, estão os relacionamentos entre as características *Cores no Visor* e suas variantes

Monocromático, 96x65 Pixels, 4.096 Cores; Conexão e suas variantes Infravermelho, Bluetooth, USB; Jogos e suas variantes Car Racer, Snake, e a característica Recebimento de Toques Musicais e suas variantes Toque Monofônico, Toque Polifônico e MP3.

Como existem ligações entre todas as características modeladas em um diagrama, foi importante a definição de um mapeamento padrão para os relacionamentos, mesmo que representasse perda de informações, já que as transições ficam limitadas às representações disponíveis em determinada notação. A Tabela 11 representa esses mapeamentos.

Transições: Odyssey-FEX -> Czarnecki / Odyssey-FEX -> Goma		
Odyssey-FEX	Czarnecki	Goma
Composição	Ligação comum entre as características	Relacionamento requer
Agregação	Ligação comum entre as características	Relacionamento requer
Generalização	Ligação comum entre as características	Relacionamento requer
Associação	Ligação comum entre as características	Relacionamento requer
Alternativo	Ligação entre ponto de variação e variantes	Ligação entre ponto de variação e variantes
Implementado por	Ligação comum entre as características	Relacionamento requer
Dependência	Ligação comum entre as características	Relacionamento requer
Transições: Goma -> Odyssey FEX / Goma -> Czarnecki		
Odyssey-FEX	Czarnecki	Goma
2 relacionamentos dependência	Ligação comum entre as características	Relacionamento mutuamente inclusivo
Dependência	Ligação comum entre as características	Relacionamento requer
Transições: Czarnecki -> Odyssey-FEX / Czarnecki -> Goma		
Odyssey-FEX	Czarnecki	Goma
Associação	Ligação comum entre as características	Relacionamento requer
Associação	Relacionamento de referência	Relacionamento requer

Tabela 11 - Mapeamentos dos relacionamentos

3.4 – Considerações Finais

O resultado do estudo realizado e representado neste capítulo foi a base para a incorporação da notação de CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e da notação definida em GOMAA (2004) ao ambiente Odyssey, antes estruturado apenas com a notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006), e portanto limitado aos conceitos e propriedades oferecidos por esta notação. O objetivo do estudo era identificar as principais propriedades de cada notação que fornecem o suporte para realizar a modelagem das características de um domínio. Além disso, foi possível determinar um mapeamento dos conceitos que possuem a mesma semântica dentre as três notações e um mapeamento padrão para aqueles que não possuem correlações.

Com os resultados obtidos, através do estudo comparativo, foi possível propor uma solução para a flexibilização do ambiente Odyssey às três diferentes notações de características para a modelagem de variabilidades, disponibilizando ao usuário a possibilidade de escolha da notação que melhor atenda aos requisitos envolvidos na modelagem. Essa adaptação do ambiente exigiu uma preparação de sua estrutura para representar cada notação individualmente com suas diferenças e particularidades. Outro aspecto relevante foi a inserção da possibilidade de migração de uma notação para outra dentro do ambiente. Essas transições devem tratar os conceitos comuns e aqueles restritos a cada notação, levando em consideração a parte semântica e também as diferentes representações relativas a cada notação. O mapeamento de conceitos e propriedades resultantes do estudo, descrito na seção 3.3, foi de grande importância para disponibilizar essas transições no ambiente Odyssey, tentando evitar perdas de informações e, sobretudo, conflitos semânticos. As atividades envolvidas no processo de implementação deste trabalho, com as alterações e adaptações do ambiente, são detalhadas no Capítulo 4.

Capítulo IV

Implementação da Flexibilização para Representação de Características no Ambiente Odyssey

4.1 – Introdução

Inicialmente, as três notações abordadas neste trabalho foram estudadas separadamente e suas características principais destacadas no Capítulo 2. O Capítulo 3 descreveu a base de construção da estrutura deste projeto, relatando o estudo comparativo entre as três notações e apresentando um mapeamento entre as suas principais propriedades e representações.

Vale ressaltar que a utilização destas notações deve ser suportada por um ferramental automatizado para auxiliar o processo de construção e integração dos modelos de características e outros artefatos a eles relacionados na modelagem de domínio. A possibilidade de escolha da notação, baseada em diferentes fatores, como uma maior adequação à necessidade da equipe envolvida com a modelagem, torna um ambiente de reutilização mais flexível. Sendo também interessante, ainda que com perda de informação, a disponibilidade de transição, de forma automática, entre as diferentes notações dentro do ambiente.

Dentro desse contexto, este capítulo se dedica a apresentação do ambiente de reutilização Odyssey (ODYSSEY, 2008), que foi estendido para incorporar duas novas notações para a modelagem de características, a notação de CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e a notação de GOMAA (2004), além da possibilidade de transição entre elas. A nova estrutura do ambiente visa possibilitar extensões em trabalhos futuros, flexibilizando a incorporação de novas notações.

O capítulo encontra-se estruturado da seguinte forma: a seção 4.2 descreve o ambiente Odyssey, como o contexto em que o trabalho foi realizado; a seção 4.3 descreve a implementação e as adaptações realizadas com o objetivo de viabilizar a incorporação das novas notações ao ambiente e a transição entre elas, de acordo com o exposto no Capítulo 3; a seção 4.4 apresenta um exemplo de utilização do ambiente estendido; e, por fim, a seção 4.5 abrange considerações finais sobre a implementação realizada durante esse trabalho.

4.2 – O Ambiente Odyssey

O ambiente Odyssey (ODYSSEY, 2008) é uma infra-estrutura de reutilização baseada em modelos de domínio. Contempla atividades do desenvolvimento de software *para* reutilização, processo de Engenharia de Domínio (ED), e atividades do desenvolvimento *com* reutilização, processo de Engenharia de Aplicação (EA), com foco no reaproveitamento e adaptação dos componentes do domínio à aplicação. Essa infra-estrutura foi implementada utilizando-se a linguagem Java (SUN, 2008).

A estrutura interna do Odyssey apresenta níveis diferentes de abstração. O recorte do domínio, i.e., a seleção dos componentes reutilizáveis, delimita o escopo de informações do domínio que corresponde às especificações da aplicação. Esse recorte é feito selecionando-se contextos, que têm por objetivo situar o domínio em relação ao seu escopo, limites, relacionamentos com outros domínios de aplicação e principais atores envolvidos (BRAGA, 2000), representando sub-domínios, e características, ambos representam níveis de modelo mais abstratos, de acordo com BRAGA (2000) e MILER (2000). Outros artefatos relacionados, como classes, casos de uso e componentes, são selecionados através de rastros, que são ligações entre os elementos dos diferentes níveis de abstração. Esses diferentes níveis de abstração podem ser visualizados na árvore semântica do Odyssey, que se encontra destacada na Figura 13.

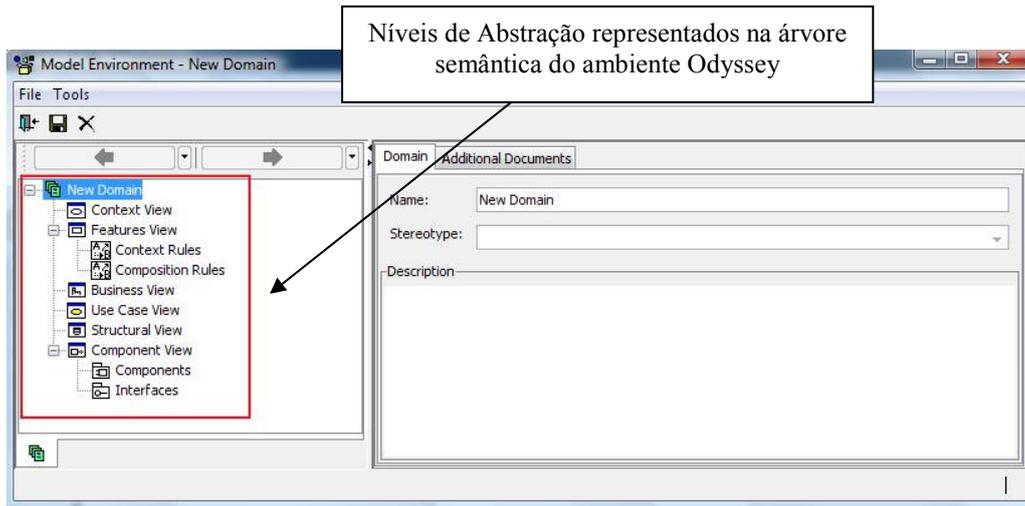


Figura 13 - Árvore semântica com níveis de abstração no ambiente Odyssey

Esta infra-estrutura vem sendo implementada desde 1997 (WERNER *et al.*, 1999). Desde então, várias ferramentas foram sendo introduzidas com o objetivo de apoiar os processos de ED e EA, tornando o ambiente mais completo. No entanto,

surgiram problemas de escalabilidade e desempenho, devido ao tamanho do ambiente. Desta forma, após uma análise focada na identificação das funcionalidades básicas de um ambiente de reutilização e as funcionalidades que só seriam utilizadas de acordo com a necessidade do usuário, passou a ser disponibilizada, desde 2003, uma versão reestruturada, denominada *Odyssey Light* (MURTA *et al.*, 2004b). Esta representa um conjunto de funcionalidades básicas, disponíveis através do *kernel* do ambiente. As funcionalidades secundárias são disponibilizadas através de *plug-ins*. Essa estrutura pode ser visualizada na Figura 14.

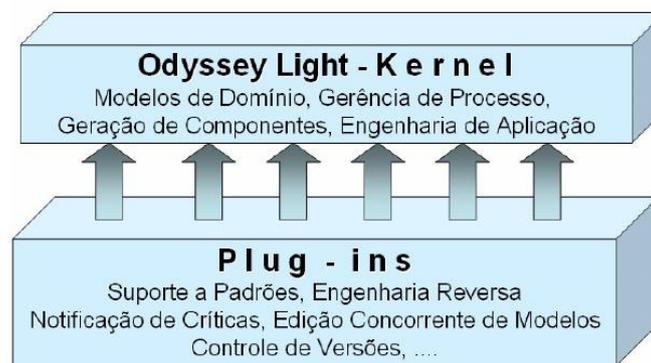


Figura 14 - Infra-estrutura do Odyssey

O ambiente disponibiliza seus próprios processos de reutilização para ED, como Odyssey-DE (BRAGA, 2000), e CBD-Arch-DE (BLOIS *et al.*, 2004), e para EA, Odyssey-EA (MILER, 2000). Outras ferramentas, que apóiam, de forma automatizada, as diferentes etapas definidas em um processo de reutilização e que atuam como *plug-ins* do Odyssey (Figura 14), podem ser citadas como: ferramentas para a documentação de componentes (MURTA *et al.*, 2001), especificação e instanciação de arquiteturas específicas de domínios (XAVIER, 2001), apoio à engenharia reversa (VERONESE *et al.*, 2002), ferramenta de notificação de críticas em modelos UML (DANTAS *et al.*, 2001), suporte a padrões de projeto (DANTAS *et al.*, 2002), ferramentas de modelagem e execução de processos (MURTA *et al.*, 2002), ferramenta para controle de versões de modelos (OLIVEIRA *et al.*, 2004), apoio à edição concorrente de modelos (LOPES *et al.*, 2004), ferramenta de transformação de modelos (MAIA *et al.*, 2005), entre outras.

O ambiente foi construído utilizando uma notação para modelagem de características, proposta no contexto do processo de Engenharia de Aplicação do ambiente, denominado Odyssey-EA, que foi proposta por MILER (2000). Esta notação foi estendida através do trabalho desenvolvido por OLIVEIRA (2006), que integrou ao

ambiente a notação Odyssey-FEX, detalhada na seção 2.3.1 do Capítulo 2 deste trabalho.

A estrutura de representação de notações de modelagem de características no Odyssey se divide em pacotes responsáveis pela representação conceitual e pela visualização das notações. A estrutura semântica representa os conceitos das notações e é sobre a qual foi direcionado o maior volume de trabalho e, portanto, encontra-se detalhada na seção 4.2.1. As outras estruturas, Léxica e de Apresentação, ficam responsáveis pela representação gráfica. A parte Léxica refere-se à representação gráfica de cada elemento e a de Apresentação se destina às interfaces gráficas de configuração dos elementos semânticos.

4.2.1 – Estrutura Semântica do Ambiente Odyssey

A estrutura interna do ambiente Odyssey pode ser visualizada através do diagrama de classes representado na Figura 15, que contempla o conjunto de classes com maior relevância para este projeto, representando o *kernel* do ambiente.

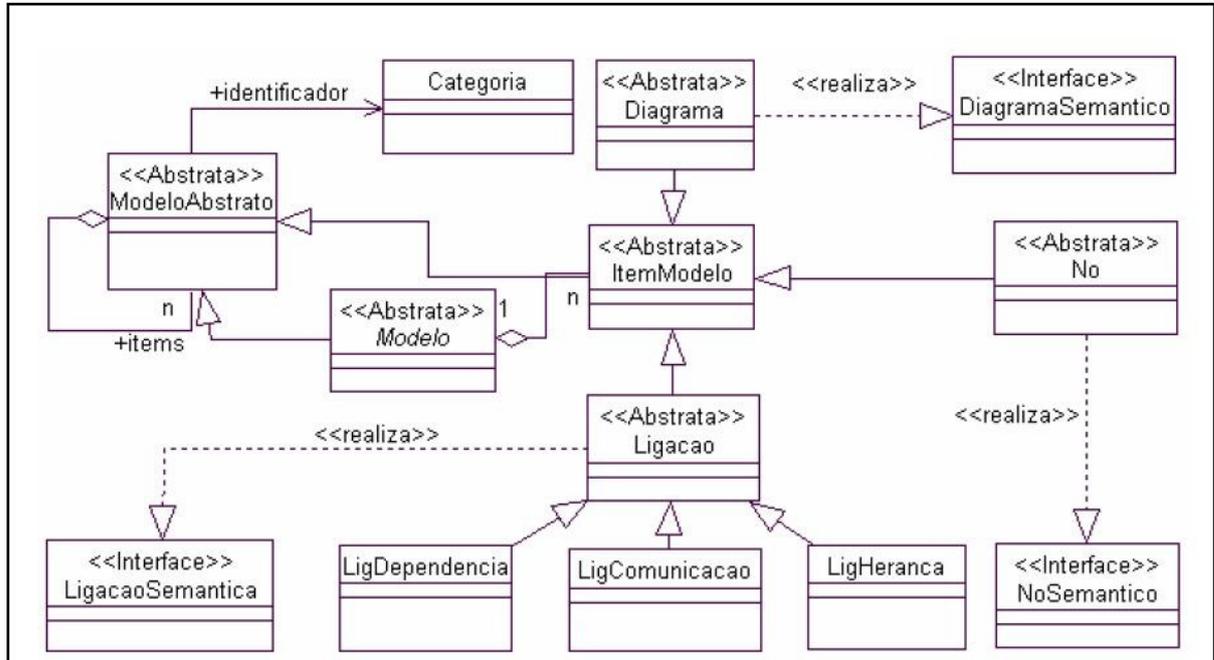


Figura 15 - Representação Interna do Ambiente Odyssey: Kernel

O Ambiente Odyssey possui uma representação interna organizada hierarquicamente através de uma árvore semântica de objetos. Cada objeto corresponde a um elemento de modelagem, chamado *ModeloAbstrato*, como mostra a Figura 15.

A organização da árvore semântica é feita através de categorias de modelos. No Odyssey, foram definidas as seguintes categorias: Contextos, Características, Casos de Usos, Tipos de Negócio, Classes, Interfaces e Componentes. Essa representação é realizada através das classes *Modelo* e *Categoria*, que podem ser identificadas na Figura 15, como classes ligadas a classe *ModeloAbstrato*.

Cada modelo é composto por diferentes itens de modelagem, instâncias da classe *ItemModelo*, que representam pacotes, diagramas, nós e ligações específicos à categoria do modelo, que são elementos das subclasses de *ItemModelo*, i.e., *Diagrama*, *Ligacao* e *No*, todas identificadas na Figura 15. A partir de um destes elementos, é possível percorrer a árvore hierarquicamente através das relações entre os objetos, com o intuito de obter informações relativas ao domínio.

A classe abstrata *No* é uma superclasse para elementos como classes, casos de uso, características, componentes, etc, e a classe *Ligacao*, representa as relações entre os diversos nós, tais como Herança, Associação, etc. A classe *NoCaracterística* representa uma característica genérica, uma superclasse para as diferentes categorias de características existentes. As categorias propostas na notação Odyssey-FEX são representadas separadamente por classes de modelos, como as classes *NoCaracterísticaTecnicaImplementacional*, *NoCaracterísticaTecnologiaDominio*, *NoCaracterísticaAmbienteOperacional*, e *NoCaracterísticaDominio* que tem como subclasses *NoCaracterísticaConceitual* e *NoCaracterísticaFuncional*, suas especificações. Todas podem ser visualizadas na Figura 16.

O mesmo pode ser notado quanto à classe *Ligacao*. Sendo esta uma generalização para os tipos de ligações presentes no *kernel* do Odyssey, tem extensões para representar os relacionamentos *Alternativo*, *ImplementadoPor* e *LigaçãodeComunicação* da notação Odyssey-FEX, que são representados por classes. Essas classes podem ser identificadas na Figura 16.

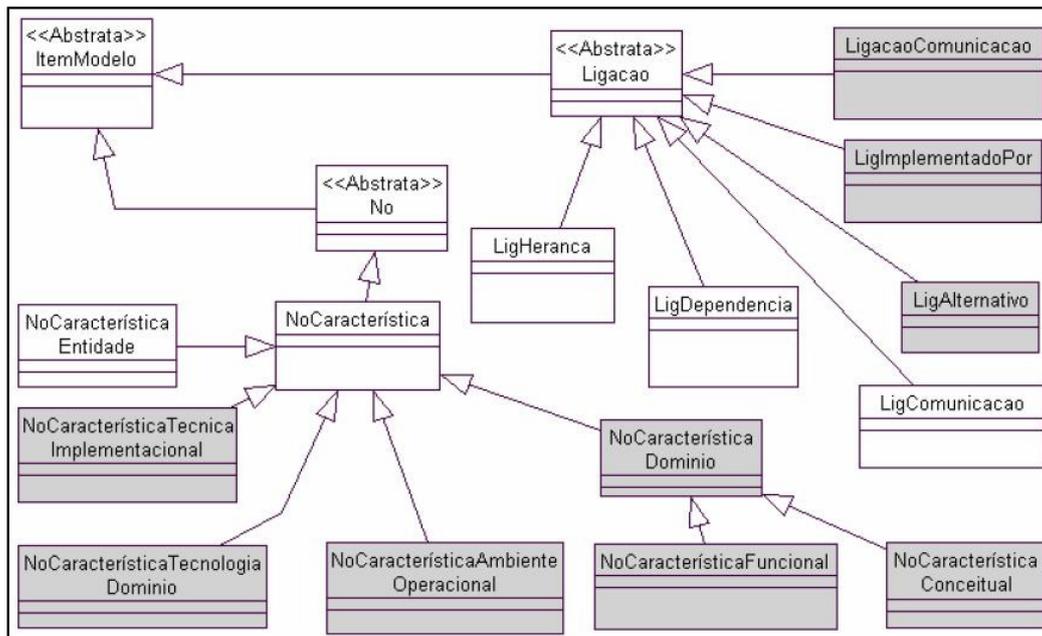


Figura 16 - Estrutura interna do Odyssey de acordo com a notação Odyssey-FEX

4.3 – Implementação

O ambiente Odyssey, assim como outros ambientes, apresentava-se com uma estrutura fixa, baseada em apenas uma notação para a modelagem de características, ou seja, a notação Odyssey-FEX. Dessa maneira, a incorporação de outras notações ao ambiente fez-se necessária com o objetivo de flexibilizá-lo.

O maior volume de trabalho concentrou-se no nível de características, denominado, no Odyssey, “*Features View*”, que pode ser visualizado na árvore semântica do Odyssey na Figura 13. Já no que se refere ao metamodelo da notação Odyssey-FEX, dividido nos Pacotes Principal, Relacionamento e Regras de Composição, as maiores alterações ocorreram no Pacote Principal (*Core*), que é composto de características e seus diversos tipos, bem como seus atributos, suas propriedades essenciais como nome, tipo de variabilidade e opcionalidade. O objetivo consistiu em realizar as adaptações para criar uma estrutura que permitisse ao ambiente dar suporte à modelagem de características provendo diferentes notações, à escolha do usuário, de forma flexível e suscetível à possibilidade de extensões futuras. Essas adaptações são detalhadas a seguir.

4.3.1 – Descrição das Alterações na Estrutura Semântica do Ambiente Odyssey

A estrutura do ambiente Odyssey foi refatorada com o objetivo de criar uma base com os elementos comuns entre as notações. Essa solução apresenta uma melhor estruturação dos conceitos dentro do ambiente, definindo uma fronteira clara entre as particularidades de cada notação e uma base conceitual de compartilhamento de similaridades.

Para que a incorporação da notação CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e da notação de GOMAA (2004) fosse viável, a estrutura semântica do ambiente Odyssey, visualizada na Figura 15 e na Figura 16, precisou ser alterada e estendida. A classe *NoCaraterística* foi substituída pela classe *FeatureBase*, que passou a agregar os conceitos comuns às três notações, como o conceito de variabilidade e o conceito de opcionalidade.

A implementação se baseou no *State Pattern*, que permite a um objeto alterar seu comportamento quando o seu estado interno muda (GAMMA, 2000), como mostra a Figura 17. Assim, a classe *FeatureBase* guarda uma instância do estado corrente, aqui chamado de perfil, que representa a notação que está sendo utilizada naquele momento dentro do ambiente Odyssey. O número de perfis corresponde ao número de notações que serão representadas no ambiente, e cada um agrega as particularidades de cada notação, ou seja, seus comportamentos específicos. A classe *PerfilNotation* corresponde a uma interface de encapsulamento do comportamento comum associado aos perfis.

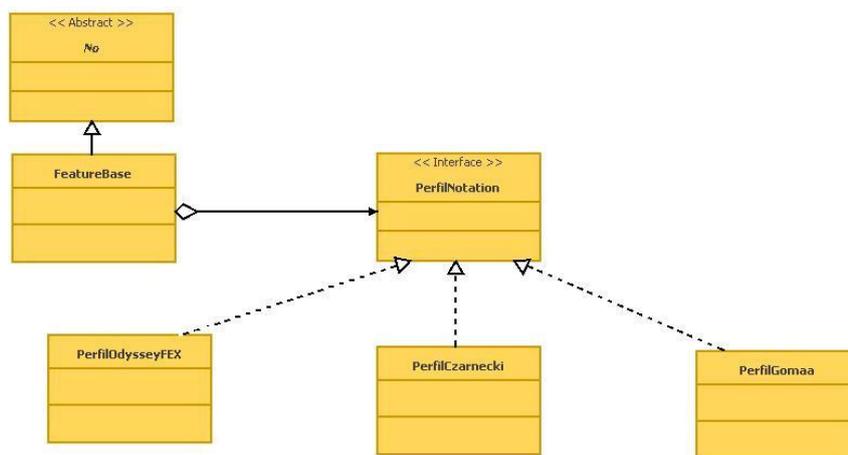


Figura 17 - Alteração na estrutura interna do ambiente Odyssey para incorporação das novas notações

Pode-se visualizar na Figura 17, os diferentes perfis, de cada notação, representados pelas subclasses de *PerfilNotation*, i.e., *PerfilOdysseyFEX*, *PerfilCzarnecki* e *PerfilGomaa*.

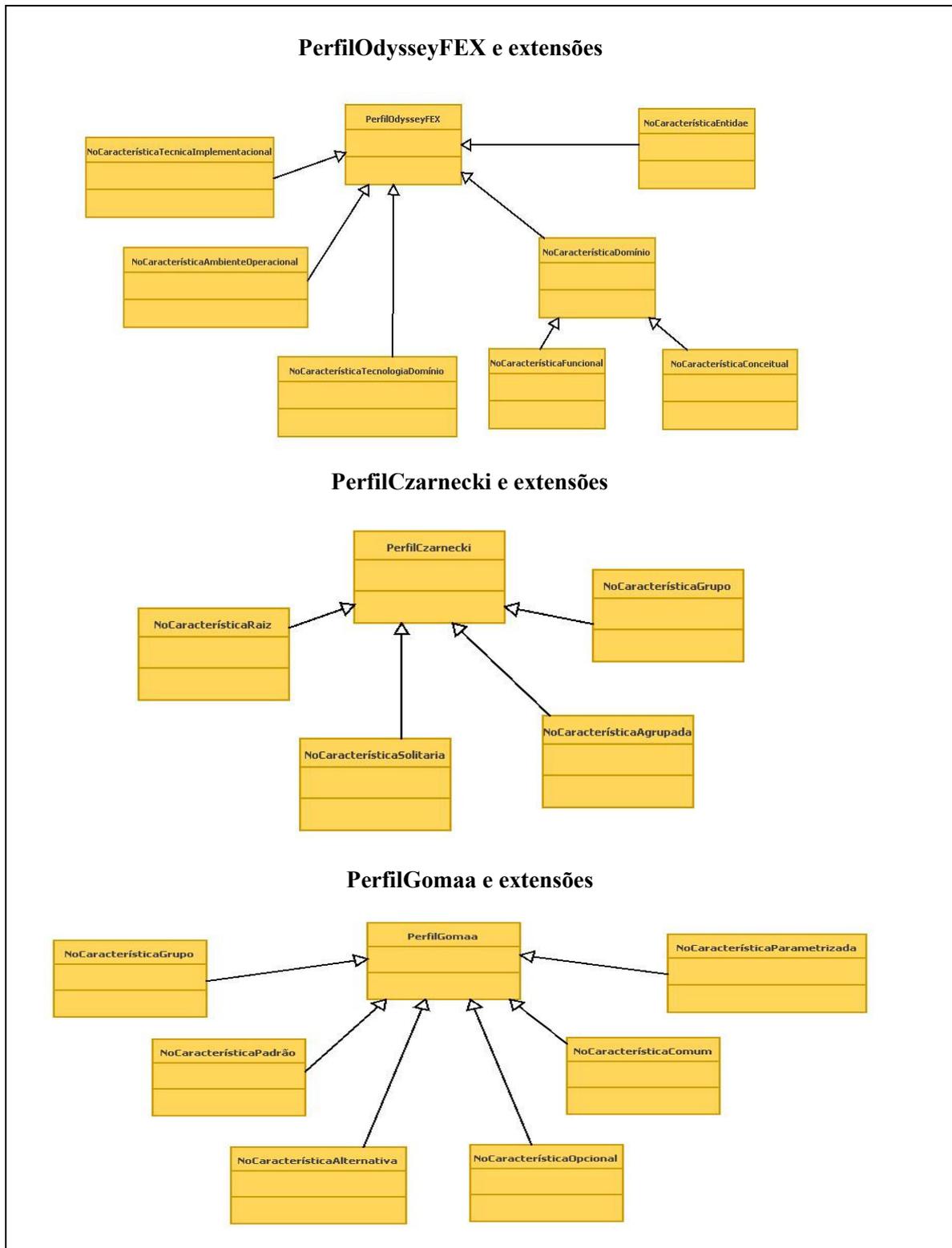


Figura 18 - Estrutura semântica alterada do ambiente Odyssey

A classe *FeatureBase*, visualizada na Figura 17, guarda uma instância de uma das subclasses de perfis que define o estado corrente e é uma extensão da classe *No*, já anteriormente presente no ambiente Odyssey.

O *PerfilOdysseyFEX* guarda informações relativas apenas a notação Odyssey-FEX, como as suas categorias de classificação, as propriedades como característica organizacional, não-definida e externa, os valores de cardinalidades, dentre outros. O *PerfilCzarnecki* guarda informações como valores de cardinalidade, tipo e valor de atributo, particularidades da notação definida em CZARNECKI *et al.* (2004, 2005). E por último, o *PerfilGomaa* guarda as informações referentes a notação definida por GOMAA (2004), como valor padrão e tipo de parâmetro, tipo do grupo da característica, dentre outras particularidades da notação. Cada perfil possui como extensão os diferentes tipos de características disponíveis na determinada notação. Como pode-se notar na Figura 18, o *PerfilOdysseyFEX* possui as classes *NoCaracterísticaTecnicaImplementacional*, *NoCaracterísticaAmbienteOperacional*, *NoCaracterísticaTecnologiaDomínio*, *NoCaracterísticaEntidade* e *NoCaracterísticaDomínio*, que possui como especificações as classes *NoCaracterísticaFuncional* e *NoCaracterísticaConceitual*, como a representação das diferentes categorias presentes na notação. Já o *PerfilCzarnecki* possui como subclasses: *NoCaracterísticaRaiz*, *NoCaracterísticaSolitaria*, *NoCaracterísticaAgrupada* e *NoCaracterísticaGrupo*, e o *PerfilGomaa* as subclasses, *NoCaraterísticaComum*, *NoCaraterísticaOpcional*, *NoCaraterísticaParametrizada*, *NoCaraterísticaAlternativa*, *NoCaraterísticaPadrão* e *NoCaraterísticaGrupo*.

4.3.2 – Descrição das Representações das Notações no Ambiente Odyssey

Esta seção se dedica a apresentar detalhes de funcionalidades que foram adaptadas ou incluídas no ambiente Odyssey para suportar a representação das três notações abordadas. A representação das três notações só pode ser alcançada com as alterações nas três estruturas de representação de notações de modelagem de características do Odyssey: estrutura Semântica, Léxica e de Apresentação. São descritas como as configurações das características podem ser realizadas, de acordo com os conceitos presentes em cada notação e da representação no ambiente.

4.3.2.1 – Padrão de Domínio das Características

No ambiente Odyssey, foi definido um padrão de documentação, denominado padrão de domínio (MILER, 2000), em que as características são detalhadas. Esse padrão pode ser visualizado através da aba “*Feature*”, onde se encontram os campos destinados à definição da característica. A Figura 19 apresenta a janela do padrão de domínio de uma característica seguindo a taxonomia da notação Odyssey-FEX, após a realização deste trabalho.

Pode-se notar na Figura 19, que o campo referente à classificação quanto à categoria não permite edição, estando de acordo com o tipo de característica previamente criada. As definições de propriedades da Odyssey-FEX, como característica não-definida, organizacional, externa e as classificações referentes à opcionalidade e à variabilidade também podem ser configuradas através do padrão de domínio.

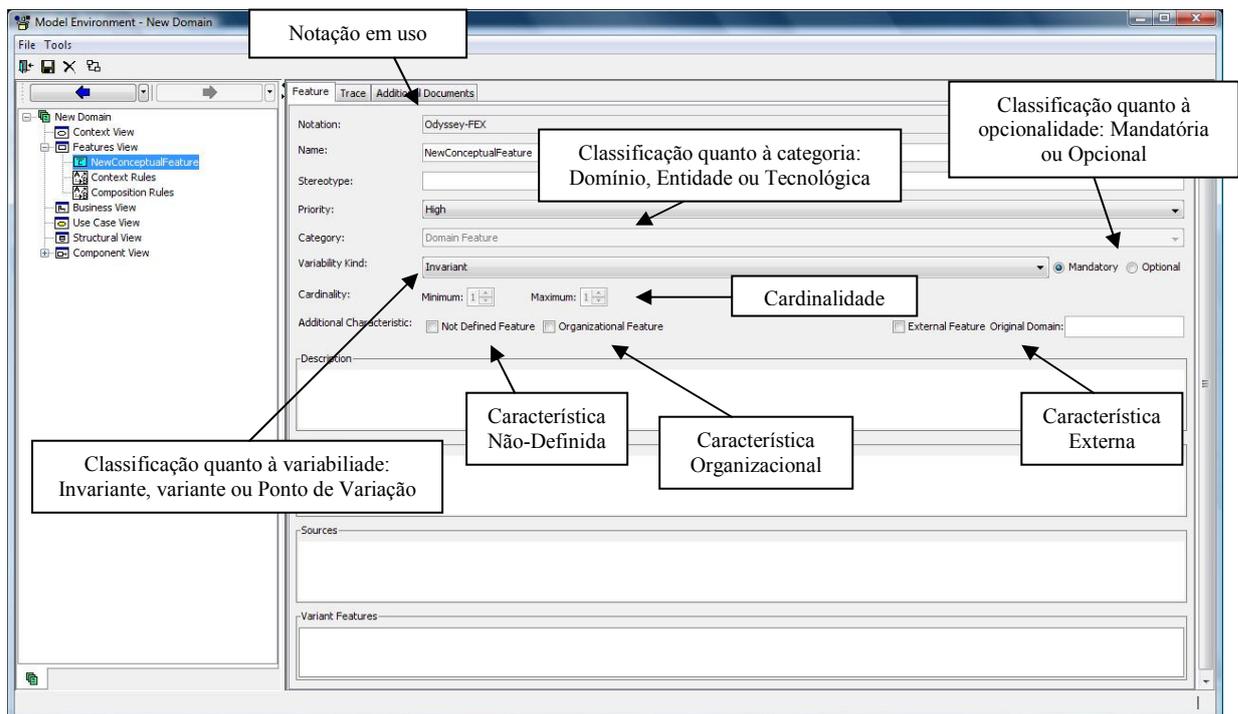


Figura 19 - Padrão de domínio de característica seguindo a notação Odyssey-FEX

Caso a característica seja um ponto de variação, também, é possível visualizar as variantes correspondentes no campo “*Variant Features*” do padrão de domínio, que pode ser identificado na Figura 19. É possível, através do padrão de domínio, fornecer

outras informações a respeito da característica, como Nome, Prioridade, Descrição, Sinônimos e Fontes, e estabelecer a rastreabilidade de uma característica, i.e., estabelecer uma ligação da característica com os demais artefatos do domínio, tais como tipos de negócio, casos de uso, componentes, etc., ponto central do processo de Engenharia de Aplicação. Essa ligação de rastreabilidade é definida através da aba “Trace” visualizada ao lado da aba “Feature”, na Figura 19.

Vale ressaltar que a cardinalidade, acrescentada na notação Odyssey-FEX neste trabalho, é configurada pelo painel de padrão de domínio, mas só poderá ser editada no caso da característica ser classificada como ponto de variação. O valor da cardinalidade mínima é automaticamente atualizado de acordo com a classificação quanto à opcionalidade, mantendo uma coerência entre as informações, como apresentado na Figura 20, onde encontram-se exemplos de intervalos que podem ser definidos, como o $\langle 1..1 \rangle$, para pontos de variação definidos como mandatórios e com mútua exclusividade entre suas variantes e $\langle 0..1 \rangle$, para pontos de variação opcionais e também com mútua exclusividade entre suas variantes, dentre outros, a critério do usuário.

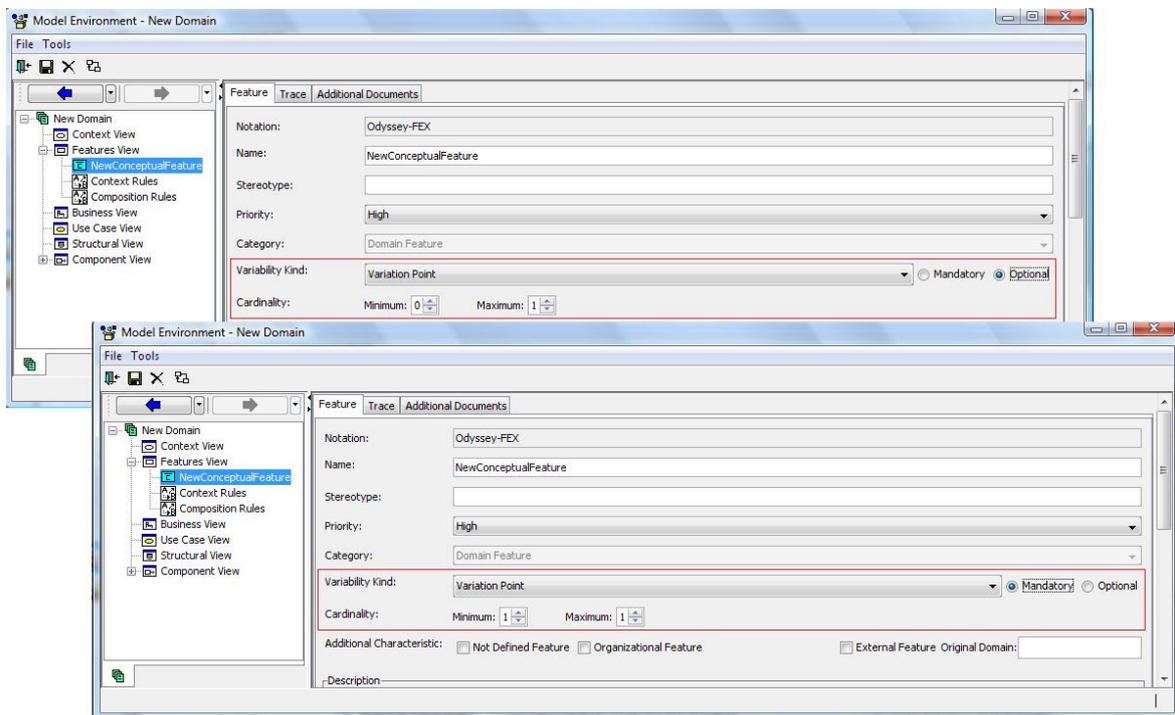


Figura 20 - Cardinalidade no ponto de variação de acordo com a classificação de opcionalidade

O padrão de documentação, i.e., o padrão de domínio do ambiente Odyssey, também sofreu adaptações para contemplar a taxonomia de cada uma das outras notações, i.e., as notações CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e GOMAA (2004). Dessa forma, alterações no padrão de domínio foram realizadas para refletir as propriedades

referentes a cada notação, ou seja, o padrão de domínio se molda à notação em uso, apresentando na tela apenas os conceitos presentes na notação.

A Figura 21 apresenta o padrão de domínio que representa os conceitos da notação definida em CZARNECKI *et al.* (2004, 2005). Nele podem ser configurados os valores das cardinalidades referentes à característica e também pode ser associado um atributo, editando seu tipo e valor padrão.

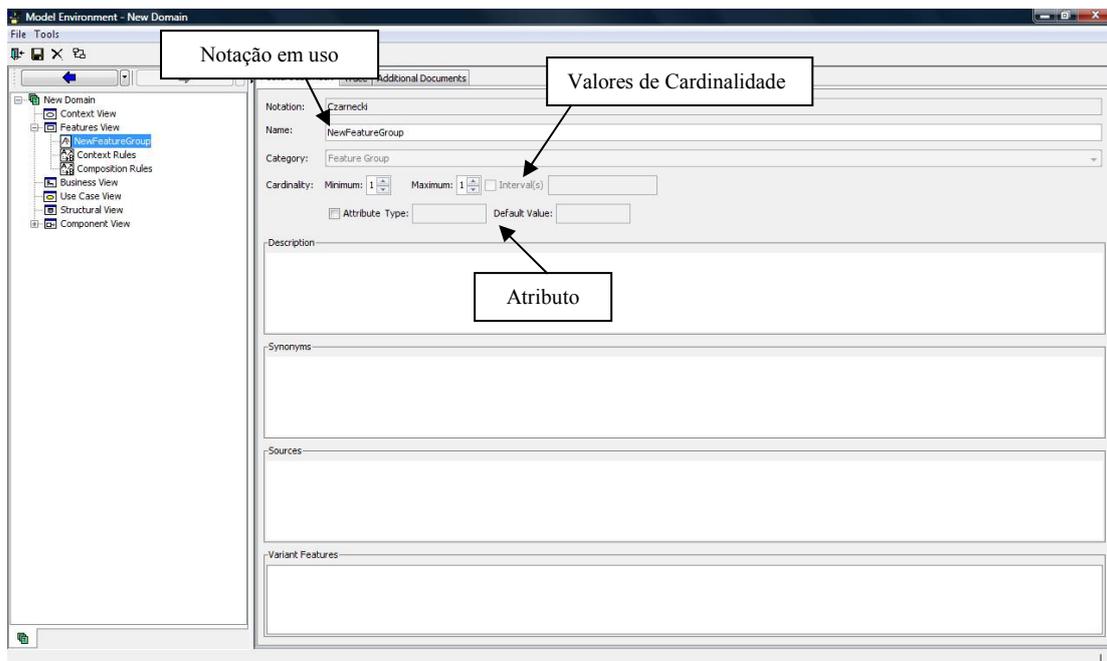


Figura 21 - Padrão de domínio de característica seguindo a notação de Czarnecki

Os valores referentes à cardinalidade só poderão ser editados no caso de características que representam ponto de variação ou características solitárias, sendo que neste último caso eles podem ser configurados através de um ou múltiplos intervalos, o que pode ser visualizado na Figura 22. A edição se dá ou pelo campo *Interval(s)* ou através dos campos *Minimum* e *Maximum*.

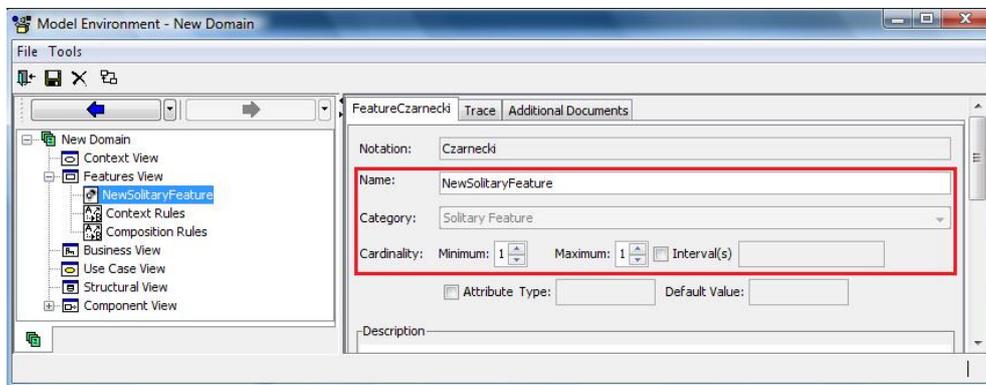


Figura 22 - Campos para configuração da cardinalidade de uma característica solitária

No caso de características agrupadas ou características raiz, valores padrão de cardinalidades são definidos e não são editáveis, como pode ser visto na Figura 23. Para características agrupadas, os valores são configurados como zero para cardinalidade mínima e um para cardinalidade máxima. Já no caso de características raízes, os valores são configurados como um para cardinalidade mínima e um para a cardinalidade máxima. Essas configurações se devem ao fato da notação de Czarnecki só permitir a definição dos valores de cardinalidades para características classificadas como solitárias ou características que representam um grupo de características. Os valores mínimo e máximo iguais a um para características raiz, se deve ao fato de serem características obrigatórias representando o domínio, e no caso do valor mínimo igual 0 e valor máximo igual a um, para características agrupadas, se deve ao fato de serem características opcionais e a seleção das opções de um grupo ser realizada de forma excludente. Esses valores foram obtidos como resultado do estudo da notação descrito na seção 2.3.2 do Capítulo 2.

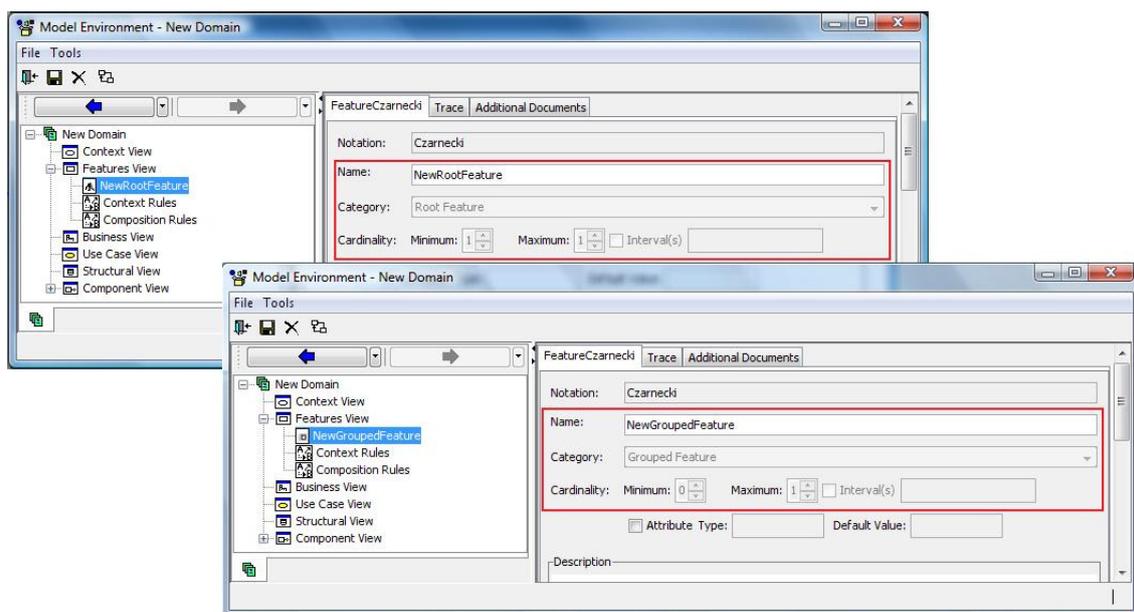


Figura 23 - Valores das cardinalidades de características raiz e agrupada

A Figura 24 apresenta o padrão de domínio referente à notação definida por GOMAA (2004). Nesta tela, podem ser configurados o tipo de grupo e a característica padrão associada a característica que representa um ponto de variação. A definição de qual das variantes pode ser uma característica padrão só é permitida para grupos de características em que a escolha de uma de suas variantes é obrigatória, ou seja, *<<exactly-one-of-feature group>>* e *<<at-least-one-of-feature group>>*. O parâmetro

de configuração também pode ser configurado, no caso de características parametrizadas. Para os outros tipos de características, essas opções não podem ser editadas.

Vale ressaltar que uma alteração no tipo do grupo pode ser refletida no modelo do domínio, já que a classificação de suas variantes é modificada para manter a semântica e a coerência entre o tipo do grupo e o tipo de suas variantes. Assim, a atualização é feita com a classificação das variantes como opcionais, no caso dos tipos de grupo *at-least-one-of-feature-group* e *zero-or-more-of-feature-group*, ou como alternativas, no caso dos tipos de grupo *exactly-one-of-feature-group* e *zero-or-one-of-feature-group*. O mesmo acontece com a alteração da característica escolhida como característica padrão. Neste caso, a variante que deixou de ser a característica padrão passa a ter a classificação de acordo com o tipo de grupo a qual pertence. Ambos os processos são feitos de forma automática, eliminando o esforço do usuário de fazer as atualizações e mantendo a consistência do modelo.

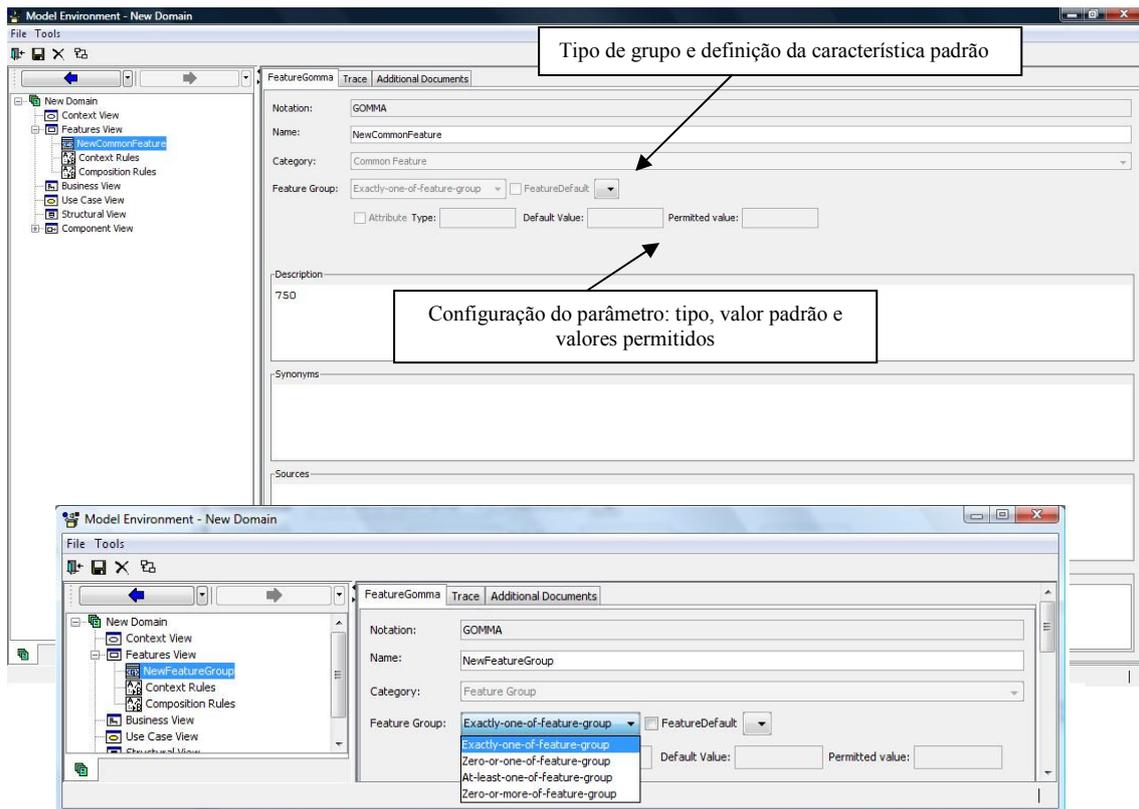


Figura 24 - Padrão de domínio de característica seguindo a notação de Gomma e opções de tipos de grupo

4.3.2.2 – Diagramador de Características

A estrutura léxica do ambiente Odyssey é formada por diagramas específicos a cada modelo representado no ambiente. Esses modelos são construídos segundo uma ferramenta de diagramação, denominada Editor de Diagramas.

Um painel específico representa cada categoria de diagrama (ex. Diagrama de Classe, Diagrama de Caso de Uso, Diagrama de Característica), onde o desenho do diagrama léxico encontra-se apresentado. Para todo item de modelo semântico, existe zero ou mais itens léxicos, nós e arestas que formam os desenhos dos diagramas. Mas cada item léxico está associado a um único item semântico e a todas as suas propriedades. São os elementos léxicos que determinam a concordância com a representação segundo a especificação da linguagem UML (OMG, 2008), ou a especificação de cada notação de variabilidade adotada no ambiente.

A janela do diagramador de característica do Odyssey pode ser visualizada na Figura 25, seguindo a taxonomia da notação Odyssey-FEX. Identifica-se, à esquerda, a árvore de itens semânticos instanciados e, à direita, o diagrama que representa essas características (nós) e suas ligações (arestas). Sua exibição está relacionada ao item semântico *Features Diagram*, selecionado na árvore.

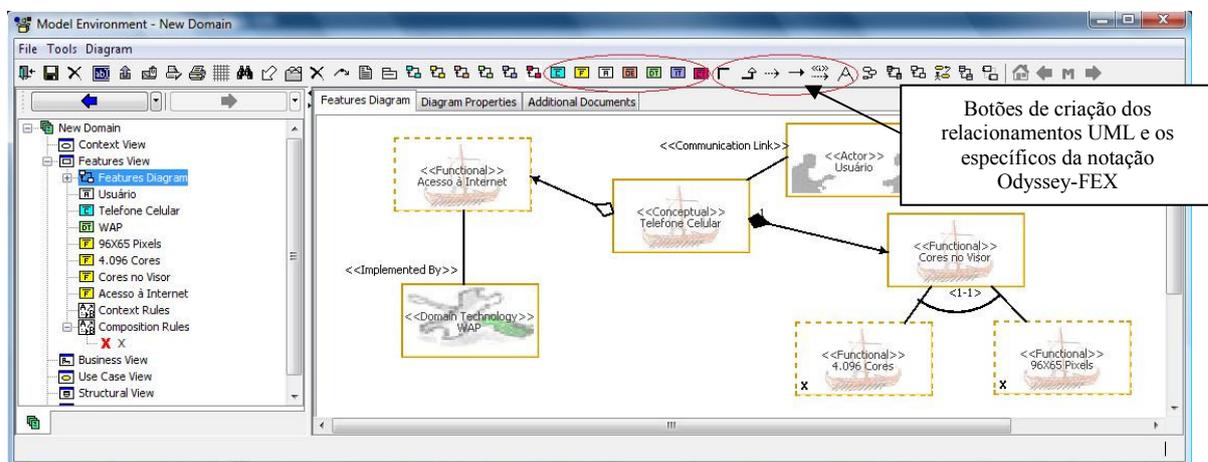
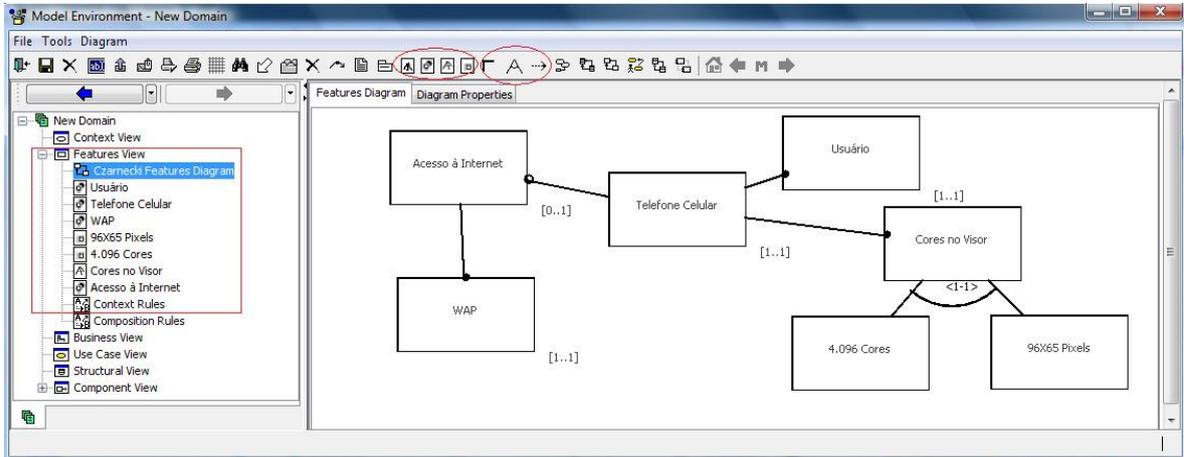


Figura 25 - Janela do Diagramador de Característica na notação Odyssey-FEX

Na parte superior da janela, encontra-se a barra de ferramentas que auxilia o processo de modelagem. Nesta barra, encontram-se as ações necessárias para a construção do modelo, como as ações relativas à criação das ligações entre características. Essas ligações, tanto semânticas como léxicas, só podem ser manipuladas através do diagramador, já que não possuem representação na árvore

semântica do Odyssey. Essa barra se adapta dinamicamente à categoria do item selecionado na árvore e da notação que se encontra em uso. Esta transformação pode ser visualizada na Figura 26.

Notação de Czarnecki



Notação de GOMAA

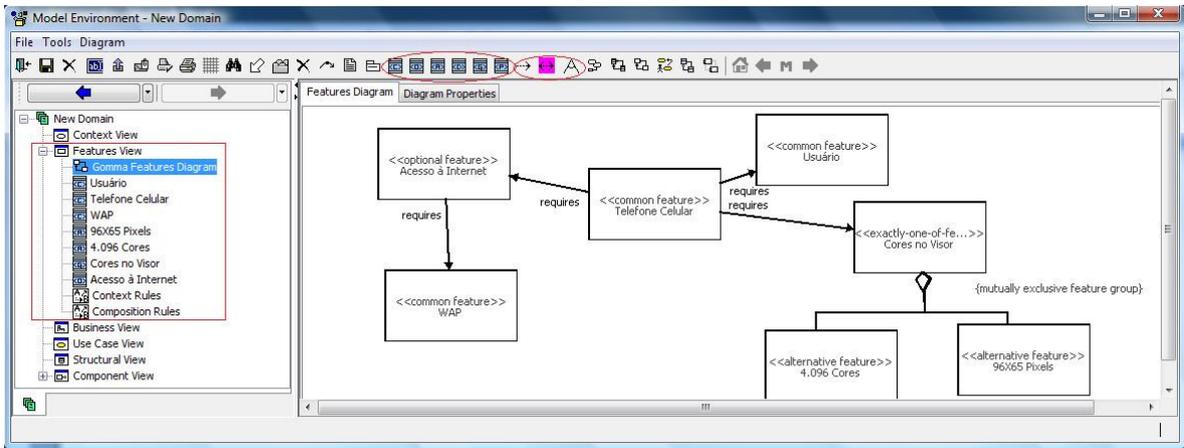


Figura 26 - Diferenças entre as barras de ferramentas correspondentes a notação de Czarnecki e a notação de Gomaa

4.3.2.3 – O Processo de Transição

O processo de transição visa mapear os conceitos entre duas notações envolvidas no procedimento, uma atual e a outra a notação destino da transição. Essa atividade pode gerar perda de conceitos referentes a particularidades em uma notação que não encontram representação na outra.

Neste trabalho, o processo de transição se baseou no estudo comparativo realizado entre as três notações abordadas e o mapeamento definido como resultado do estudo, ambos detalhados no Capítulo 3.

Este processo é realizado através de botões localizados na barra de ferramentas, visíveis ao usuário do Odyssey ao se selecionar “*Features View*” na árvore semântica, como pode ser visualizado na Figura 27. Para cada notação de características em uso, ficam disponibilizadas na barra de ferramentas as ações de transição para as outras notações representadas no ambiente.

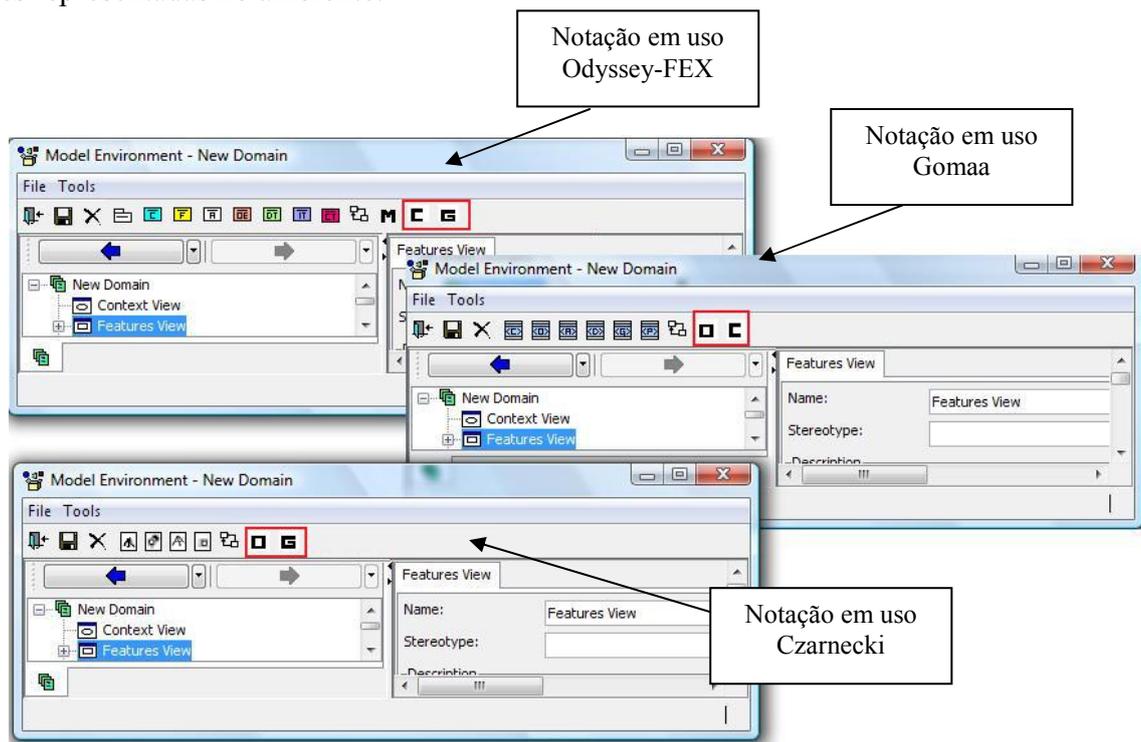


Figura 27 - Botões de transição entre as notações no ambiente Odyssey

O processo de mapeamento é dividido em três etapas. Após clicar na opção de mapeamento, uma tela é exibida informando quais as possíveis perdas que irão ocorrer e quais os mapeamentos padrões que serão realizados. Na continuidade do procedimento, é dada ao usuário a possibilidade de interação com o processo, alterando opções de mapeamento padrão. Nesta etapa, o usuário pode selecionar quais características irão pertencer a um determina categoria da notação Odyssey-FEX, ou quais serão classificadas como características raiz na notação de Czarnecki, ou quais serão classificadas como parametrizadas em Gomaa, dependendo do processo de transição em andamento. Outras opções de mapeamento não podem ser modificadas.

A última etapa consiste em informar ao usuário que não há possibilidade de retornar ao modelo na notação inicial da transição, caso o procedimento seja concluído. Finalizado o processo, o ambiente se molda para que a nova notação torne-se o estado atual de modelagem. Desta forma, é apresentado o novo modelo transformado e todas as opções para modelagem utilizadas na notação escolhida na transição.

Vale ressaltar que existe a possibilidade de restaurar o modelo na notação inicial, mas isso fica a cargo do usuário que precisaria salvar o modelo na respectiva notação antes de realizar a transição e depois abri-lo com o ambiente na notação inicial.

Todo o processo de transição entre as diferentes notações pode ser observado e acompanhado através do desenvolvimento do exemplo de utilização descrito na seção 4.4, a seguir.

4.4 - Exemplo de Utilização

Este exemplo foi realizado no ambiente de reutilização Odyssey, adaptado dentro do contexto deste trabalho, para suportar a flexibilidade de escolha entre diferentes notações para a modelagem de características. O objetivo deste exemplo consiste em descrever a modelagem de um domínio, neste caso o domínio de Telefonia Móvel, suas diferentes representações dentro de cada notação envolvida no projeto, e as transformações ocorridas após a transição entre as notações, baseadas nos mapeamentos definidos ao longo deste trabalho.

4.4.1 - Descrição do Domínio de Telefonia Móvel

Para auxiliar o leitor no entendimento dos conceitos presentes em um modelo de características, é descrito parte do domínio de Telefonia Móvel, que será utilizado ao longo deste exemplo. Este domínio foi brevemente descrito na seção 2.3.1, como base para exemplificação dos conceitos existentes na notação Odyssey-FEX. Nesta seção, o domínio encontra-se melhor explicado para guiar o mapeamento entre os conceitos das três notações abordadas neste trabalho após o processo de transição entre elas. Esta descrição foi feita após análise de informações oferecidas por alguns fabricantes de aparelho celular por OLIVEIRA (2006).

Este domínio abrange conceitos e funcionalidades que podem estar presentes em um software desenvolvido para um telefone celular. Levando em consideração a grande diversidade de modelos de telefones celulares, o objetivo é descrever as funcionalidades e os conceitos intrínsecos, que estão presentes em todos os tipos de software desenvolvidos para este domínio. Dentre estes pode-se citar: *Campainha*, que representa o toque do telefone, *Agenda*, onde são armazenados números de telefones, *Chamada Telefônica*, que é a funcionalidade de se efetuar uma ligação, e *Caixa Postal*, onde mensagens de Voz são deixadas para o usuário. Todos são conceitos e funcionalidades mandatórias. Alguns conceitos apresentam alternativas, dando ao usuário a opção de escolha na hora da compra, sendo denominados ponto de variação, e suas alternativas, variantes. Como exemplo, pode-se citar o conceito de *Cores no Visor*, que depende do tipo de visor do aparelho celular e tem como variantes as opções “monocromático” ou “colorido”.

Outros conceitos opcionais representam diferenciais e são encontrados em apenas alguns aparelhos. Dentre estes podem ser citados: *Câmera Fotográfica*, *Alarme*, *Acesso à Internet*, *Envio de Mensagens de texto*, como e-mail e recados, *Jogos e Recebimento de toques musicais*, que representam a funcionalidade de alteração do tipo de campainha, reproduzindo-se um toque especial, como uma música conhecida, geralmente oferecido pela operadora de telefonia móvel. Os dois últimos representam pontos de variação. Como variantes dos toques musicais pode-se citar, como exemplos, tipos *monofônicos*, *polifônicos* ou *MP3*. No caso dos jogos, existe uma variedade deles que podem estar presentes em um ou outro aparelho de telefone celular. Como exemplo, tem-se o *Car Racer*, que é um jogo de corrida de carros, o *Snake*, jogo cujo objetivo é guiar uma cobra para que seja alimentada, e outros.

Embora não visíveis em um aparelho celular, outros conceitos são importantes no desenvolvimento de um software de telefonia. Como exemplo, tem-se a tecnologia *JAVA* e a tecnologia *WAP* (Wireless Application Protocol), que é um padrão internacional aberto para aplicativos que utilizam comunicação sem fio e está relacionado como o acesso à Internet. Alguns aparelhos celulares oferecem a funcionalidade de *Transferência de dados para um computador pessoal (PC)*, sendo necessário para isso algum tipo de conexão, que constitui um ponto de variação, tendo como variantes os seguintes exemplos: a) *Bluetooth*, que é uma tecnologia que permite que uma conexão sem fio de curto alcance seja estabelecida com outro dispositivo compatível (celulares, laptops, câmeras digitais); b) *Infravermelho*, que faz a

comunicação sem fio, por meio de sinais de luz que são captados por um sensor instalado no destinatário; e c) conexão via *USB (Universal Serial Bus)*, que é uma interface de comunicação entre um computador e um dispositivo compatível, como um aparelho celular, câmera digital ou impressora. No entanto, uma conexão via USB necessita de um *Cabo de Dados* compatível para efetuar a transferência dos dados (NOKIA, 2005).

Pode-se também adicionar os *Planos de Telefonia*, que influenciam na organização das funcionalidades de um telefone celular, determinando quais dessas estarão disponíveis para o usuário, de acordo com o contrato estabelecido com este, e os *Serviços de Operadoras* que embora possam ser classificados como parte do domínio de Operadoras de Telefonia Móvel, tem uma estreita relação com o domínio de Telefonia Móvel, aqui detalhado.

4.4.2 - Realização do Exemplo de Utilização

O objetivo do exemplo é demonstrar a representação do modelo do domínio de Telefonia Móvel nas diferentes notações e como isso pode ser realizado no ambiente Odyssey. Para isso, serão seguidos os seguintes passos: 1) modelagem do domínio de Telefonia Móvel utilizando a notação Odyssey-FEX; 2) demonstração das etapas para realizar a transição para a notação de Czarnecki e visualização dos resultados no ambiente Odyssey; 3) demonstração das etapas para realizar a transição, a partir da transição anterior, para a notação de Goma e visualização dos resultados no ambiente Odyssey; 4) exposição dos resultados obtidos após a realização do exemplo.

1) Modelagem do domínio de Telefonia Móvel utilizando a notação Odyssey-FEX

Após a análise realizada sobre o domínio de Software para Telefonia Móvel, um modelo de características foi construído utilizando-se a notação Odyssey-FEX. Esse modelo tenta refletir as principais funcionalidades e conceitos discutidos na seção 4.4.1, que foram representados através de características visando refletir as propriedades do domínio antes definido. O resultado da modelagem pode ser visualizado na Figura 28, onde pode ser observado o modelo representado na notação Odyssey-FEX e a estrutura

do ambiente voltada a suportar essa notação, com as representações referentes a seus diferentes tipos de características, relacionamentos e regras de composição.

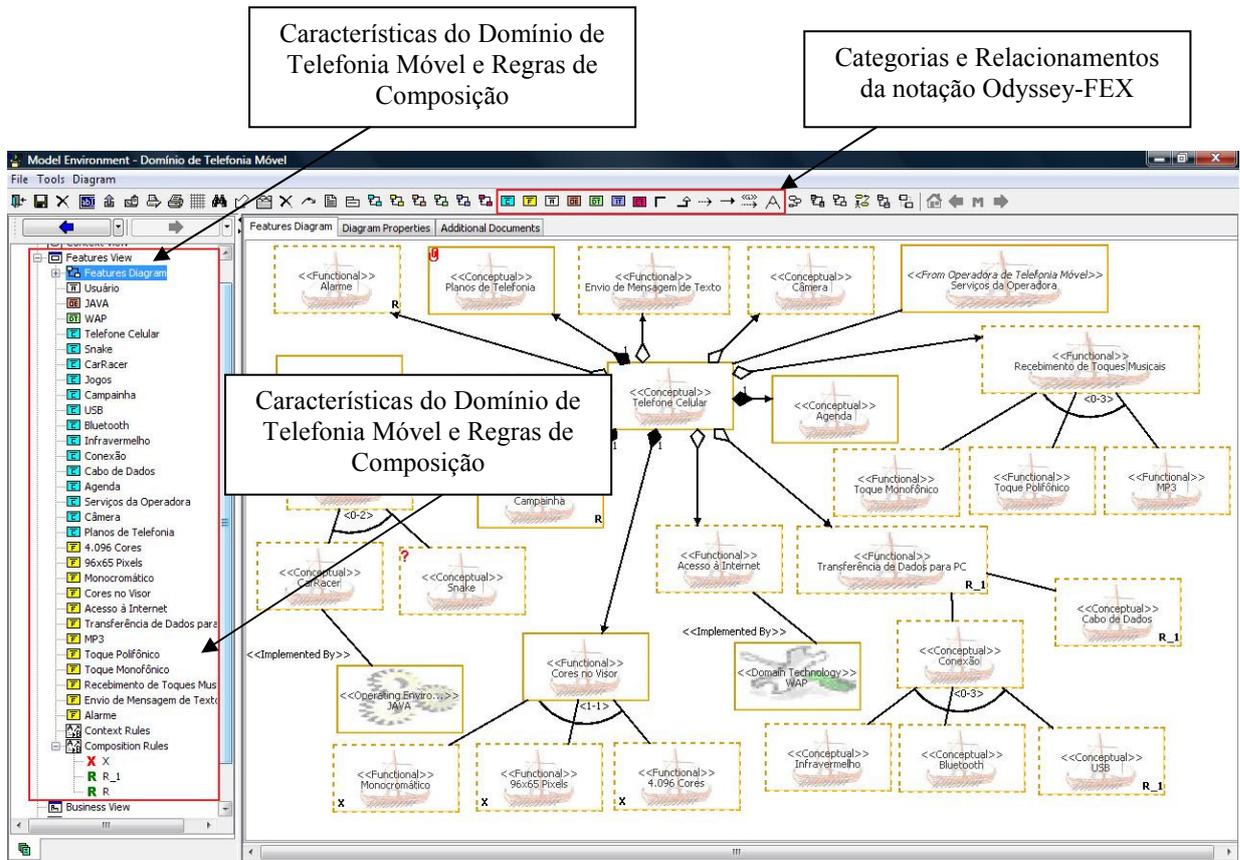


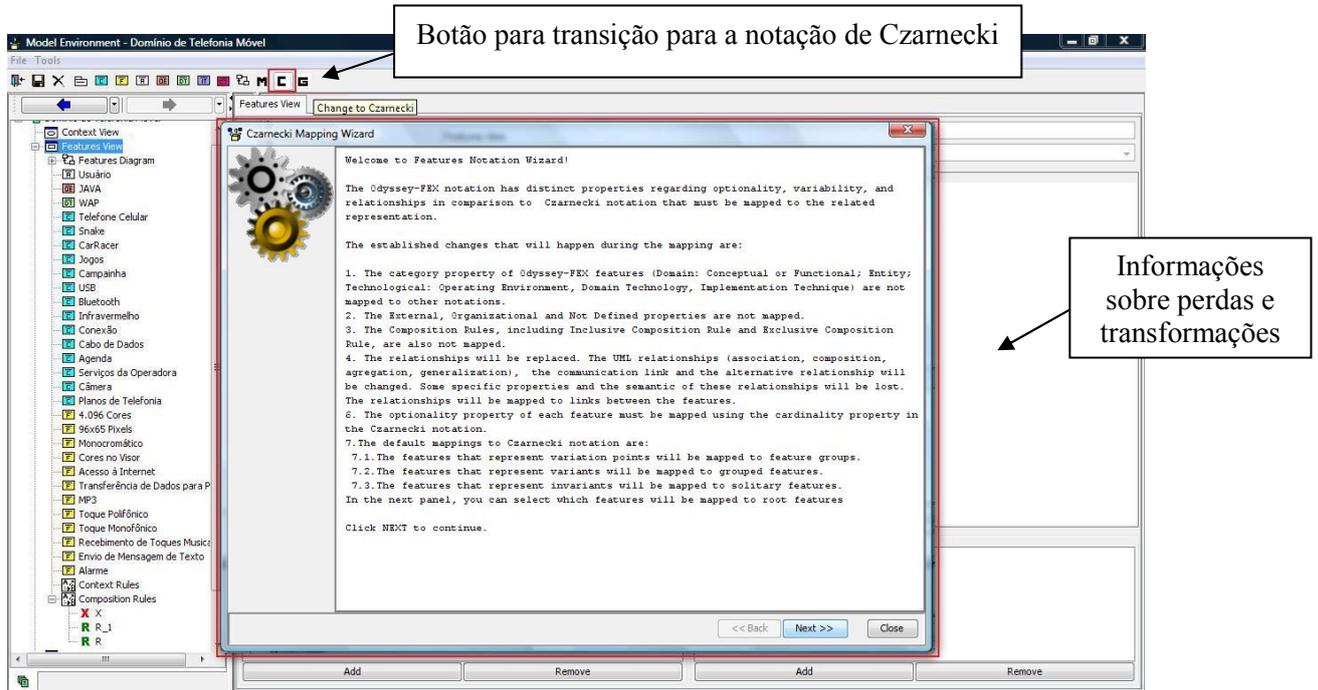
Figura 28 - Modelo do domínio móvel representado na notação Odyssey-FEX e ambiente Odyssey estruturado para modelagem utilizando a notação Odyssey-FEX

- 2) Demonstração das etapas para realizar a transição para a notação de Czarnecki e visualização dos resultados no ambiente Odyssey

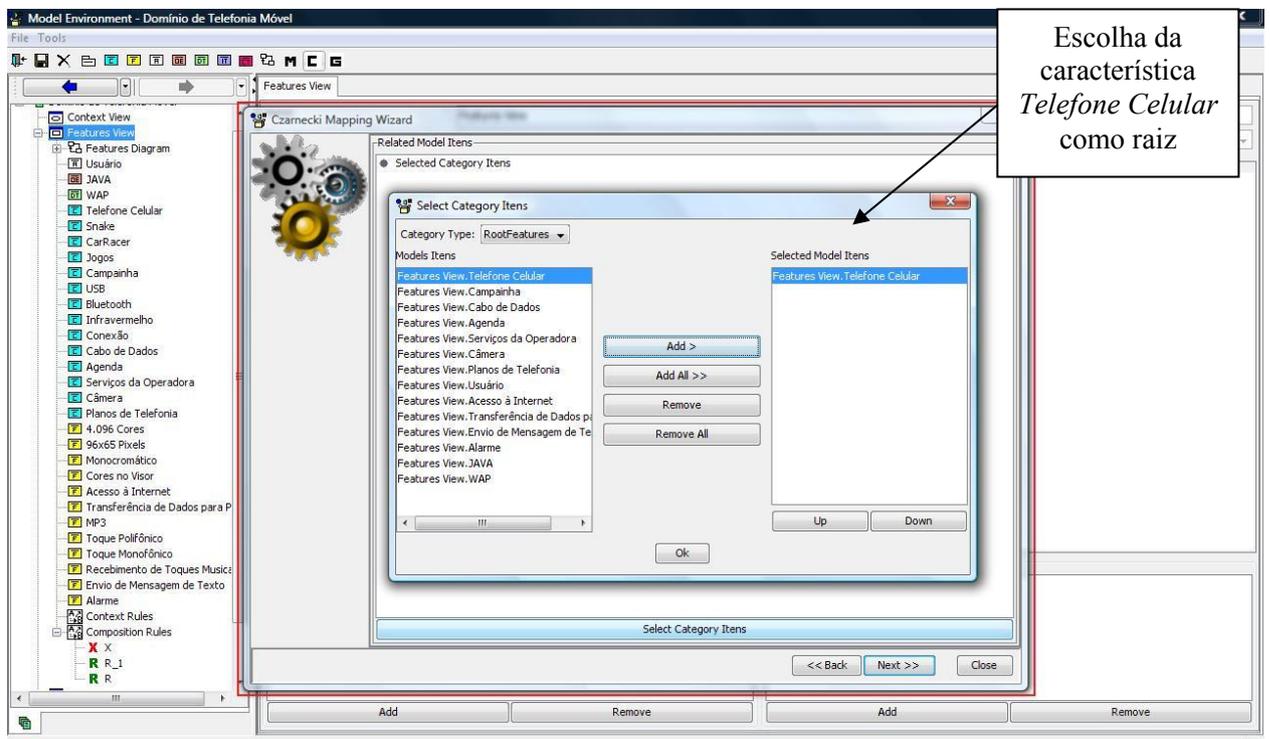
Após a modelagem na notação Odyssey-FEX, realizou-se uma transição para a notação de Czarnecki. Durante o processo, o usuário do ambiente Odyssey foi informado das possíveis perdas e transformações que iriam ocorrer após a migração, identificada pela etapa 1 na Figura 29. A seguir, na etapa 2 da Figura 29, foi fornecida ao usuário a opção de escolha de quais características deveriam ser mapeadas como características raiz na notação de Czarnecki, que são aquelas que representam um conceito central, a raiz do diagrama. Todas as características classificadas como invariantes são listadas para escolha do usuário, que pode selecionar quantas desejar para essa classificação como característica raiz. No nosso exemplo, a característica *Telefone Celular* é escolhida, por representar o domínio como um todo. Dela partem as ligações para as outras características do modelo. O processo é finalizado após informe

ao usuário da perda do modelo anterior, que será transformado para a notação escolhida, etapa 3 da Figura 29.

Etapa 1: Informações sobre perdas e transformações



Etapa 2: Escolha das características que serão mapeadas como características raiz



Etapa 3: Informação de finalização do processo com perda do modelo representado na notação anterior, i.e., notação Odyssey-FEX

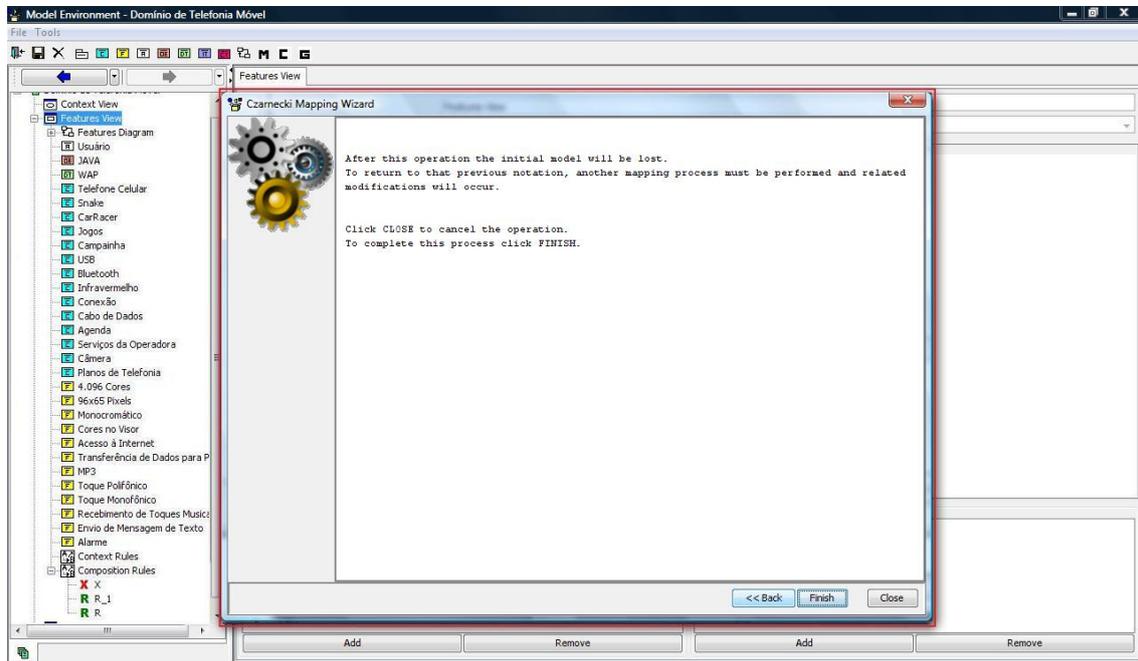


Figura 29 - Visualização das diferentes etapas do processo de transição para a notação de Czarnecki

Após a transição, o ambiente Odyssey passou a ter sua estrutura de modelagem de característica dando suporte à notação de Czarnecki. A transformação pode ser observada na Figura 30, onde são representados os diferentes tipos de características e relacionamentos agora disponíveis, e o novo modelo, agora representado na notação de Czarnecki. Com relação ao modelo do domínio de Telefonia Móvel, podem ser notadas importantes diferenças. Todas as classificações referentes às categorias da notação Odyssey-FEX foram perdidas, passando agora a classificação nos três tipos presentes na notação de Czarnecki, i.e., características raiz, solitária e agrupada. Os relacionamentos também foram perdidos, sendo mapeados para simples ligações entre as características e ligações entre os pontos de variação e suas variantes.

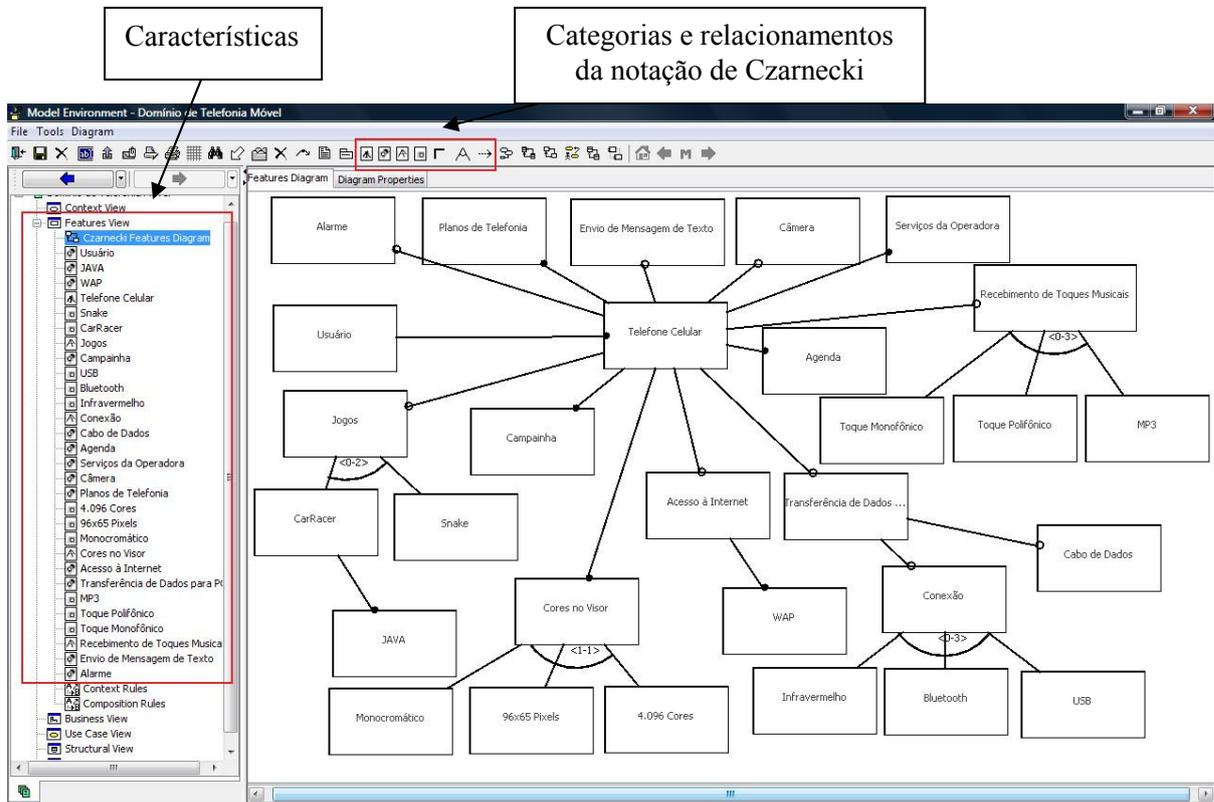


Figura 30 - Modelo do domínio móvel representado na notação de Czarnecki e ambiente Odyssey estruturado para modelagem utilizando a notação de Czarnecki

Pode-se também notar a perda das Regras de Composição. Apesar de estar visível no ambiente, como um item da árvore semântica destacada na Figura 31, esta opção para modelagem fica restrita a notação Odyssey-FEX e o usuário é informado desta particularidade ao tentar acessá-la. Essa restrição pode ser visualizada na Figura 31.

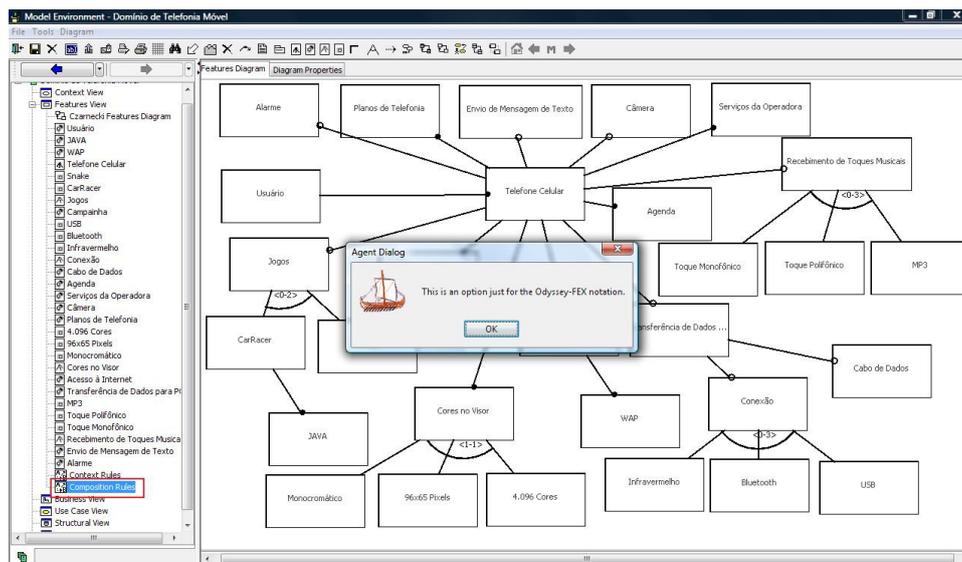
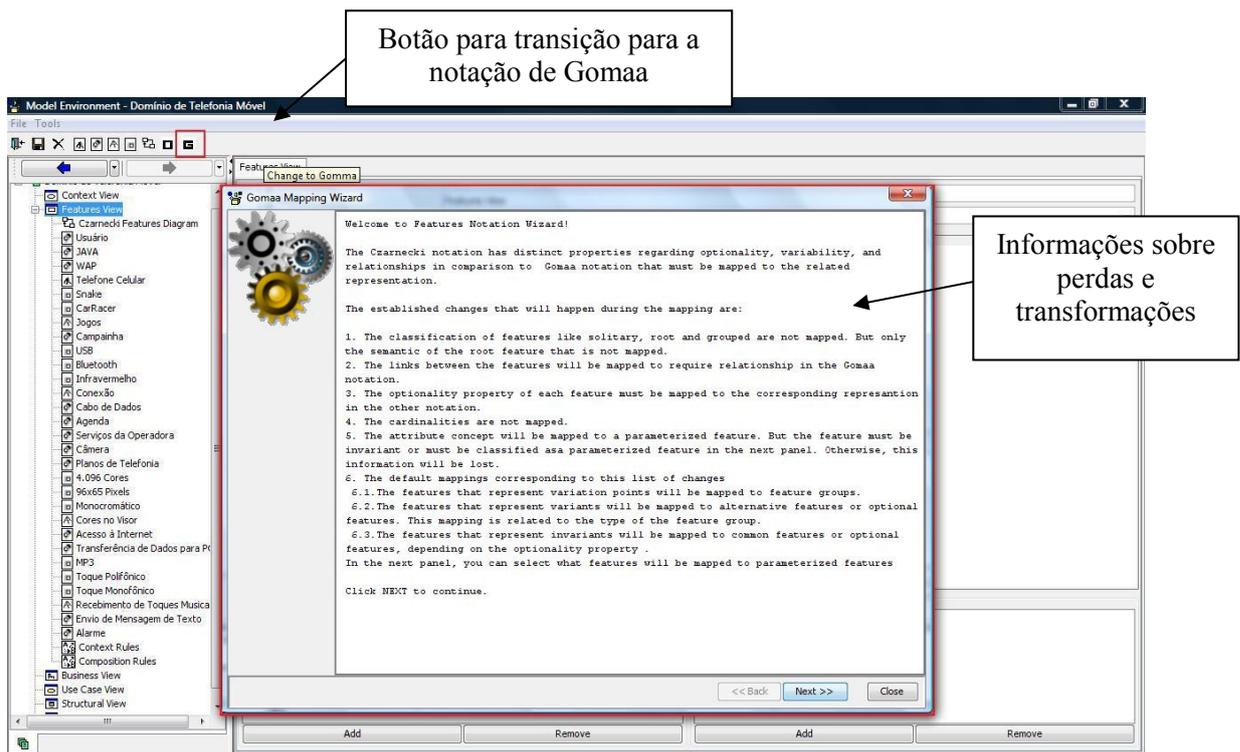


Figura 31 - Regras de Composição – Uso restrito à notação Odyssey-FEX

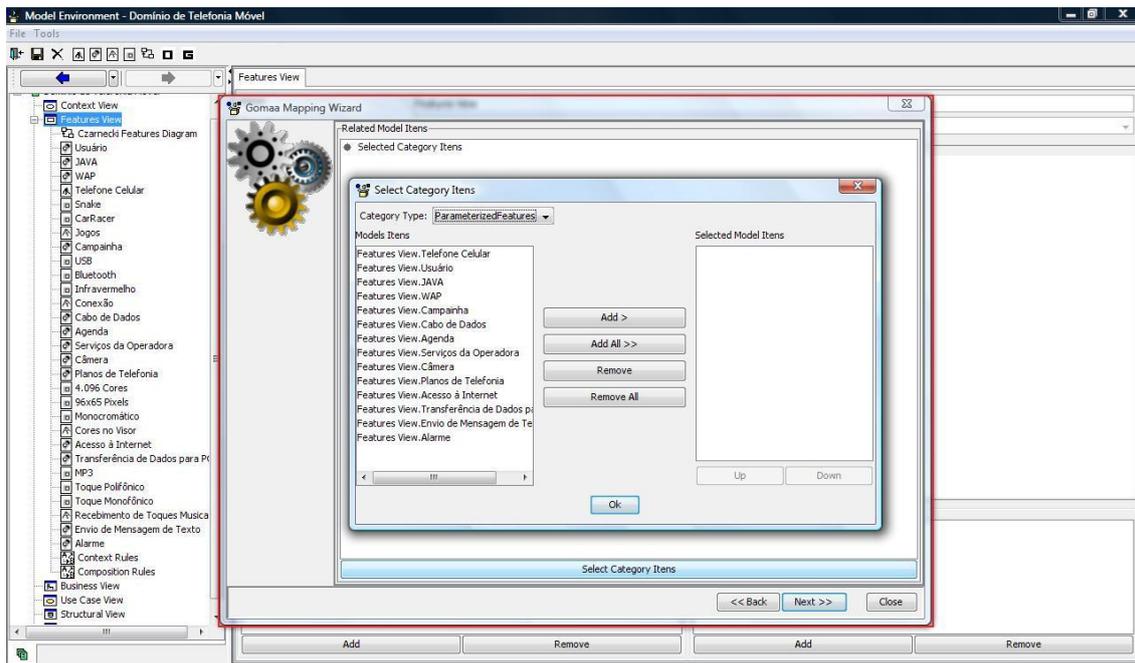
3) Demonstração das etapas para realizar a transição para a notação de Gomma e visualização dos resultados no ambiente Odyssey

Para trabalhar com a notação de Gomma, basta realizar o processo de transição, que envolve a etapa 1, da Figura 32, fornecendo-se informações das possíveis perdas e transformações que irão ocorrer após a migração e, a seguir, a etapa de interação com o usuário para escolha de quais características deverão ser mapeadas como características parametrizadas na notação de Gomma. No nosso exemplo, não há características que passaram por essa escolha. O processo é finalizado após informe ao usuário da perda do modelo anterior, que será transformado para a notação escolhida. Todas as etapas são visualizadas na Figura 32.

Etapa 1: Informações sobre perdas e transformações



Etapa 2: Escolha das características que serão mapeadas como características parametrizadas



Etapa 3: Informação de finalização do processo com perda do modelo representado na notação anterior, i.e., notação de Czarnecki

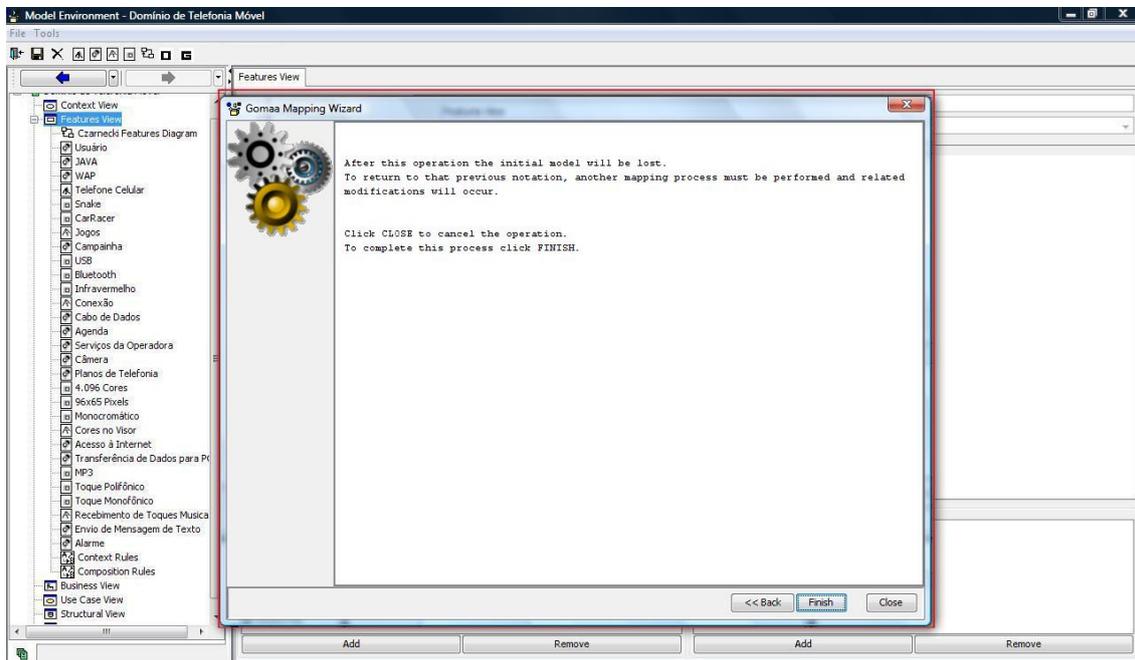


Figura 32 - Visualização das diferentes etapas do processo de transição para a notação de Gomma

Neste processo, também ocorre a adaptação do ambiente Odyssey para dar suporte à modelagem utilizando a notação de Gomma. Essas alterações podem ser observadas na Figura 33, junto ao modelo do domínio de Telefonia Móvel representado

na notação. Pode-se notar a transformação das características, agora classificadas de acordo com os tipos disponíveis na notação de Goma, i.e., características comuns, opcionais, alternativas, parametrizadas, e grupos de características. Os relacionamentos também foram modificados, sendo mapeados para o relacionamento requer e simples ligações entre os grupos de características e suas opções de escolhas.

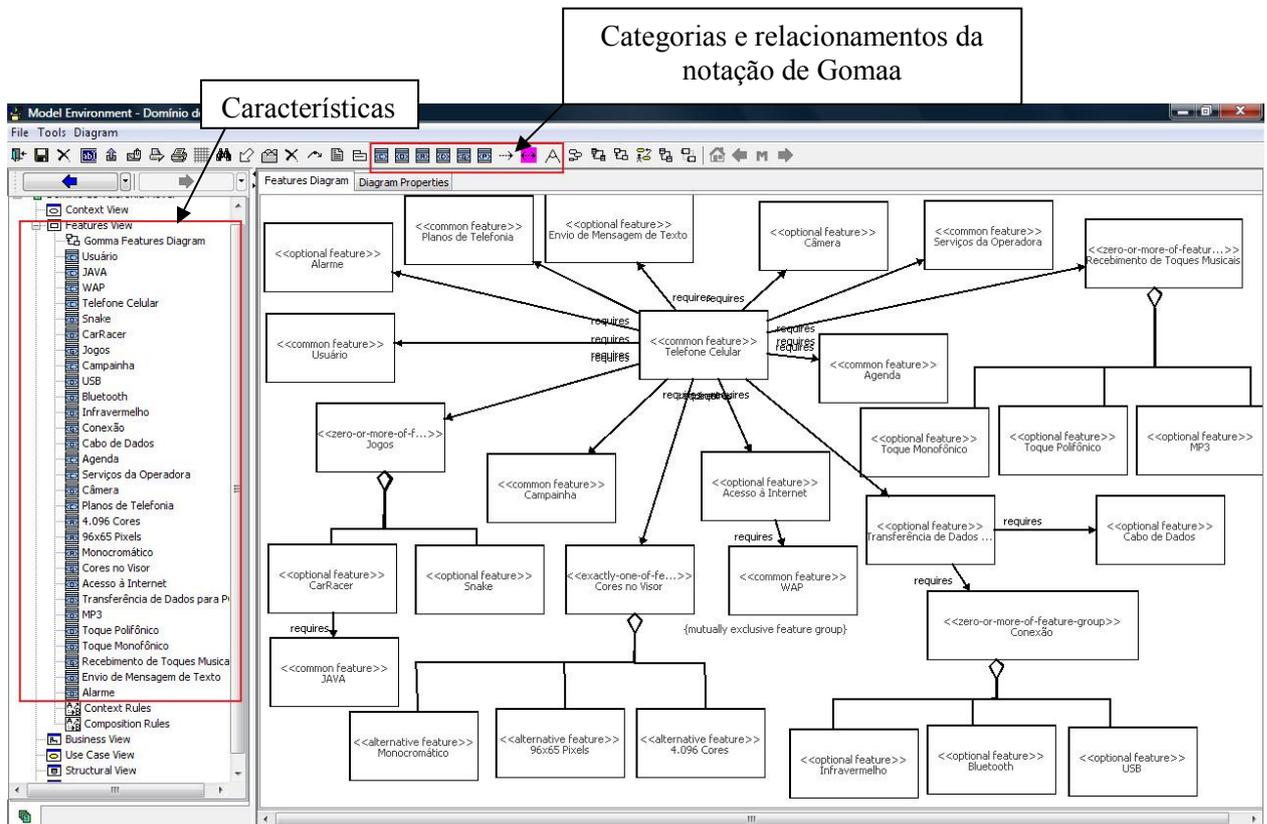


Figura 33 - Modelo do domínio móvel representado na notação de Goma e ambiente Odyssey estruturado para modelagem utilizando a notação de Goma

4) Exposição dos resultados obtidos após a realização do exemplo

Algumas das transformações, entre os diferentes tipos de características, que ocorreram após as transições entre as notações podem ser visualizadas na Tabela 12. Para cada característica, estão descritas as suas diversas formas de classificação, partindo de uma modelagem na notação Odyssey-FEX, seguida de uma transição para a notação de Czarnecki e, por último, para a notação de Goma.

Característica	Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Telefone Celular	Característica Conceitual, Invariante e Mandatória	Característica Raiz	Característica Comum
Alarme	Característica Funcional, Invariante, Opcional	Característica Solitária com cardinalidade [0,1]	Característica Opcional
Planos de Telefonia	Característica Conceitual, Invariante, Mandatória, Organizacional	Característica Solitária com cardinalidade [1,1]	Característica Comum
Recebimento de Toques Musicais	Característica Funcional, Ponto de Variação, Opcional com cardinalidade <0,3>	Grupo de característica com cardinalidade <0,3>	Grupo de característica com estereótipo <<zero-or-more-of-feature group>>
Toque Monofônico	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
Toque Polifônico	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
MP3	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
Cores no Visor	Característica Funcional, Ponto de Variação, Mandatório com cardinalidade <1,1>	Grupo de característica com cardinalidade <1,1>	Grupo de característica com estereótipo <<exactly-one-of feature group>
Monocromático	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Alternativa
96x65 Pixels	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Alternativa
4.096 Cores	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Alternativa

Tabela 12- As representações de algumas características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições

Quanto aos relacionamentos, pode-se notar a perda de semântica que ocorre após as transições da notação Odyssey-FEX para Czarnecki e, posteriormente, para a notação

de Goma, na Tabela 13. Esta tabela descreve as características envolvidas e as diferentes representações nas notações para algumas relações mantidas entre características do modelo da Figura 28.

Características envolvidas no relacionamento	Odyssey-FEX	Czarnecki	Goma
Telefone Celular e Usuário	Ligação de Comunicação	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Alarme	Agregação	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Planos de Telefonia	Composição	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Serviços da Operadora	Associação	Ligação	Relacionamento requer
Recebimento de Toques Musicais e variantes (Monofônico, Polifônico e MP3)	Alternativo	Ligação entre Recebimento de Toques Musicais e suas características agrupadas (Monofônico, Polifônico e MP3)	Ligação entre Recebimento de Toques Musicais e suas características opcionais (Monofônico, Polifônico e MP3)
Acesso à Internet e WAP	Implementado Por	Ligação	Relacionamento requer

Tabela 13 - As representações dos relacionamentos entre as características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições

Quanto ao conceito de Regras de Composição, pode-se notar que as regras não são mapeadas após uma migração da notação Odyssey-FEX, já que é uma particularidade da notação. No entanto, a dependência entre duas características, expressa por uma Regra de Composição Inclusiva simples, também é refletida através do relacionamento de dependência, o que permite que a semântica seja mapeada da notação Odyssey-FEX para a notação de Goma, mas perdida em uma transição para a notação de Czarnecki, que não abrange esse conceito. Outro exemplo de Regra de Composição que tem alguma representação é a exclusiva entre as variantes de um ponto de variação. Neste caso, a semântica não é mapeada pela regra, mas sim pela cardinalidade máxima do ponto de variação definida igual a um da notação Odyssey-FEX para Czarnecki e de Czarnecki para Goma. No caso de uma migração da notação de Goma, esse conceito é mapeado através do tipo de grupo que reflete essa mútua exclusividade, i.e., o *<<exactly-one-of-feature group>>* e *<<zero-or-one-of-feature group>>*.

Características envolvidas na Regra de Composição	Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Alarme e Campanha	Regra de Composição Inclusiva: “Alarme requer Campanha” (marcação R no modelo)	Informação perdida	Informação perdida
Transferência de Dados para PC, Cabo de Dados e USB	Regra de Composição Inclusiva: “(Transferência de Dados para PC AND USB) requer Cabo de Dados” (marcação R_1 no modelo)	Informação perdida	Informação perdida
Monocromático, 96x65 Pixels e 4.096 Cores	Regra de Composição Exclusiva : “Monocromático exclui (4.096 cores AND 96x65 Pixels)” (marcação X no modelo)	Informação transferida e representada através da cardinalidade do ponto de variação	Informação transferida através da cardinalidade do ponto de variação e representada pelo tipo de grupo <<exactly-one-of-feature group>>

Tabela 14 - As representações da semântica das regras de composição entre as características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições

O exemplo de utilização é complementado pelo Anexo I e pelo Anexo II, onde encontram-se as tabelas de todos os mapeamentos descritos anteriormente, para todas as características e relacionamentos presentes no domínio de Telefonia Móvel.

Algumas observações valem ser ressaltadas quanto às transições. A ordem com que as diferentes transições entre as três notações são realizadas não afeta o resultado quando se trata de características invariantes que não incluem o conceito de atributo. Neste caso, as perdas e transformações seguem as relatadas na Tabela 12, independente da ordem com que as transições sejam feitas. Até a categoria de classificação na notação Odyssey-FEX, ou seja, uma dentre as categorias de domínio, entidade ou tecnológica, pode ser restaurada através da escolha do usuário durante o processo de migração para a notação. Uma perda, que não é descrita na Tabela 12, é a alteração dos valores de cardinalidades das características solitárias da notação de Czarnecki. Por exemplo, supondo que a característica *Serviços da Operadora* fosse definida com valores de cardinalidade iguais a [2..4], na notação de Czarnecki, esta informação seria perdida para as outras notações, onde apenas o conceito de obrigatoriedade seria mapeado criando uma característica invariante mandatória na notação Odyssey-FEX e uma

característica comum na notação de Goma. Caso fosse necessário retornar à notação de Czarnecki, a cardinalidade seria igual a [1..1].

No caso de características invariantes com atributo definido, na notação de Czarnecki e na notação de Goma, a ordem das transições gera diferentes resultados. Esta informação é mapeada caso a transição seja realizada entre essas notações, pois caso envolva a notação Odyssey-FEX ela é perdida, já que a notação não trabalha esse conceito. Assim, como exemplo, pode-se supor que se a característica *Planos de Telefonia*, do modelo da Figura 28, fosse uma característica solitária, que tivesse como atributo o tipo *Int* e algum valor default definido, por exemplo, o valor 1, na notação de Czarnecki, essas informações seriam mapeadas para a notação de Goma como uma característica parametrizada, o que também é válido no caso inverso, mas seriam perdidas numa transição para a notação Odyssey-FEX. A notação de Goma, também, permite configurar um intervalo de valores válidos, que seria perdido após a migração da notação. Note que para características que não são invariantes, como características agrupadas e características que representam grupos na notação de Czarnecki, esse conceito não é mapeado para a notação de Goma, pois a prioridade de mapeamento é para os outros conceitos envolvidos, como o conceito de variabilidade e opcionalidade. Assim, ainda utilizando o exemplo anterior, caso a característica *Planos de Telefonia* fosse definido como um ponto de variação com um atributo definido, essa informação seria perdida, pois seria mapeado para um grupo de características na notação de Goma.

Para características variantes, a perda ocorre quanto ao conceito de obrigatoriedade presente apenas na notação Odyssey-FEX. Desta forma, caso alguma variante fosse mandatória na notação Odyssey-FEX, ela passaria a ser opcional após uma migração.

Quanto a características classificadas como pontos de variação, não há perda de informação quanto aos valores das cardinalidades, caso a migração seja feita da notação Odyssey-FEX para a notação de Czarnecki, ou do mesmo modo no caso inverso. Caso a transição seja feita para a notação de Goma, esses valores são perdidos. Como exemplo, pode-se citar a característica *Conexão*, do modelo da Figura 28, que caso possuísse um valor máximo diferente do seu número máximo de variantes, teria essa informação alterada para o número de variantes que possui ao retornar à notação Odyssey-FEX após uma migração para a notação de Goma.

4.5 – Considerações Finais

Um ambiente voltado à reutilização, que disponibilize uma estrutura mais flexível quanto a escolha de notações para a modelagem de variabilidades, é de grande importância para auxiliar neste processo, pois essa escolha, baseada em diferentes fatores, acaba por refletir a maior adequação de uma notação às necessidades de uma equipe de desenvolvimento. Assim, o objetivo deste trabalho consistiu em flexibilizar o ambiente Odyssey, ambiente de modelagem baseado em reutilização, fornecendo a possibilidade de escolha, inicialmente, entre três notações para a modelagem de características e a transição entre as notações.

As adaptações realizadas na estrutura interna do ambiente visaram incorporar duas novas notações, a notação definida em CZARNECKI *et al.* (2004, 2005) e a notação definida por GOMAA (2004), ao ambiente antes estruturado de forma fixa, disponibilizando apenas a notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006). Essas adaptações foram realizadas de maneira a possibilitar a extensão em trabalhos futuros, através da incorporação de novas notações. A arquitetura desenvolvida durante o desenvolvimento deste trabalho foi concebida visando esta extensão. Uma melhor explicação a respeito desta possibilidade de incorporação de novas notações pode ser encontrada no Capítulo 5, nos tópicos das seções 5.1 e 5.2, que tratam das contribuições e oportunidades de trabalho futuro. A transição entre as notações, também disponibilizada após a realização do trabalho, foi baseada em um estudo comparativo detalhado entre as notações, visando minimizar as perdas de informações relevantes e evitar inconsistência.

A análise das funcionalidades disponibilizadas nas ferramentas de modelagem realizada na seção 2.4 do Capítulo 2 deste trabalho, constatou a falta de ferramental que auxilie o desenvolvedor no processo de modelagem, estando as ferramentas com uma estrutura engessada oferecendo apenas uma notação e limitações na visualização dos modelos de características. A ausência de flexibilidade de escolha de uma notação que esteja de acordo com os requisitos de modelagem e seja de conhecimento da equipe de desenvolvimento, pode acarretar prejuízos em todo o processo de desenvolvimento, por não atender as necessidades e exigir um esforço adicional de adaptação à notação imposta pelo ambiente.

Assim, este capítulo se dedicou a descrição da implementação com o intuito de viabilizar os objetivos deste trabalho, ressaltando as adaptações necessárias na estrutura

interna do ambiente Odyssey, tanto em nível de modelo conceitual como no funcionamento do sistema, para apoio automatizado na representação das notações e na possibilidade de transição entre elas.

5.1 – Considerações Finais

Algumas técnicas dentro da linha de estudo de reutilização de software, como Engenharia de Domínio (ED), e uma de suas vertentes, i.e., a Linha de Produtos de Software (LP), visam efetivar o processo de reutilização de forma sistemática em todas as fases de desenvolvimento. Ambas as técnicas mencionadas incorporam no processo uma fase de análise de domínio (AD), que tem como objetivo a coleta de informações e conhecimento sobre uma coleção de sistemas, visando explicitar seu conjunto de variabilidades, i.e., suas similaridades e diferenças. É importante a representação desse conhecimento através de modelos, tendo como uma das formas de representação a modelagem de características. Essa modelagem pode ser realizada utilizando-se diferentes notações, onde a escolha da notação mais apropriada é influenciada por diversos fatores, como o maior conhecimento e familiaridade da equipe, popularização de uma determinada notação, disponibilidade de ambiente de desenvolvimento que suporte a notação, ou maior adequação com requisitos que atendam às necessidades de modelagem.

Outro aspecto a ser observado é a necessidade da modelagem ser suportada por um ambiente de desenvolvimento. Atualmente, as ferramentas e ambientes disponibilizados apresentam diversas deficiências e acabam por não atender as necessidades do usuário. Uma das deficiências está na ausência de oportunidade de escolha de uma notação mais adequada, estando a modelagem limitada aos conceitos e propriedades oferecidos por uma única notação adotada no ambiente, e a visualização limitada a parte gráfica disponibilizada no ambiente.

Este capítulo trata das conclusões atingidas com este trabalho. Na seção 5.2, são descritas as contribuições atingidas com o desenvolvimento deste projeto e, na seção 5.3, são descritas algumas oportunidades para trabalhos futuros que foram identificadas ao longo do desenvolvimento.

5.2 – Contribuições

Com o objetivo de minimizar as limitações encontradas nos ambientes atuais e auxiliar desenvolvedores na tarefa de modelagem, foi apresentada neste trabalho a proposta de flexibilização de um ambiente de suporte ao desenvolvimento baseado em reutilização a diferentes notações de características para a modelagem de variabilidade. Ao final da pesquisa, foram alcançadas contribuições como as listadas a seguir:

- *Definição das relações de conceitos entre as notações Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006), de Czarnecki (CZARNECKI et al., 2004) (CZARNECKI et al., 2005) e de GOMAA (2004).*

A partir da análise das notações, foi possível estabelecer um conjunto de similaridades e particularidades entre as notações. Como resultado do estudo comparativo foram ressaltados os aspectos comuns e específicos das notações e se tornou viável o mapeamento desses conceitos, identificando suas equivalências e sugerindo mapeamentos padrões em caso de não existir representação direta do conceito em outra notação.

- *Flexibilização do ambiente Odyssey (ODYSSEY, 2008).*

A partir do estudo da estrutura do ambiente de reutilização Odyssey e das notações abordadas neste trabalho, foi possível ampliar as opções de notações para a modelagem de características no ambiente. Através desse trabalho, foram incorporadas as notações de Czarnecki (CZARNECKI et al., 2004) (CZARNECKI et al., 2005) e de GOMAA (2004) ao ambiente Odyssey, e também, foi possível disponibilizar a transição entre as notações. A estrutura adotada visou criar condições para extensões futuras com a incorporação de novas notações. Essa estrutura foi feita de forma organizada com classes bem definidas, que envolveram a criação de uma base com as propriedades semânticas comuns às três notações e aonde cada notação possui seu próprio pacote que abrange os conceitos que são elementos específicos da notação.

- *Oportunidade de escolha de notação para modelagem de característica no contexto de reutilização.*

O trabalho demonstra a viabilidade da multiplicidade de notações para modelagem em um ambiente de reutilização, oferecendo ao usuário a possibilidade de escolha mediante seus critérios de adequação, como conhecimento, popularidade, familiaridade, dentre outros.

- *Cardinalidades na notação Odyssey-FEX.*

O conceito de cardinalidade não era utilizado para características, seus pontos de variação e variantes no ambiente Odyssey. O ambiente encontrava-se estruturado de maneira fixa, por disponibilizar apenas uma notação para modelagem de características, i.e., a notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006) que não cobria cardinalidades representadas por intervalos fixos (ex. 0..3, 1..4). Apenas as cardinalidades 0..1, 1..1, 1..n, 1..n, poderiam ser inferidas no ambiente Odyssey, mas somente através da combinação de classificações de variabilidade, e regras de composição exclusivas, como descritos na Tabela 15. Neste trabalho, esse conceito foi inserido de fato na notação Odyssey-FEX, que passou a se utilizar de cardinalidades em pontos de variação. As cardinalidades são representadas através da definição de um intervalo, em que o valor mínimo e máximo são determinados, ou seja, podem ser representadas através de intervalos fixos (por exemplo, 0..3, 1..4, 0..1, 1..1).

0..1	representada pela característica opcional;
1	representada pela característica mandatória, ou por um ponto de variação mandatório com variantes mutuamente exclusivas
0..n	representada pelo ponto de variação opcional, quando suas variantes não são mutuamente exclusivas
1..n	representada pelo ponto de variação mandatório quando suas variantes não são mutuamente exclusivas

Tabela 15 - Cardinalidades inferidas no ambiente Odyssey antes da realização deste trabalho

5.3 – Limitações e Trabalhos Futuros

Algumas limitações e necessidades de extensões foram identificadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, consideradas oportunidades para trabalhos futuros, como se segue.

- *O processo de Engenharia de Aplicação (EA) através de ligações de rastreabilidade estabelecidas no Odyssey para as novas notações incorporadas*

No ambiente Odyssey, o processo de EA utiliza os conceitos de rastreabilidade existente entre os artefatos construídos no domínio. A partir da seleção de contextos e características, é possível realizar um recorte no domínio, trazendo todos os elementos que são rastreáveis a partir deles. Assim, as propriedades e relacionamentos dos artefatos reutilizados são mantidos da mesma forma que foram especificados no modelo do domínio, possibilitando que, posteriormente, ajustes sejam feitos para refletir outros detalhes, específicos da aplicação. Alguns mecanismos foram criados, dentro do ambiente, para auxiliar o usuário nesse processo. Pode-se citar os mecanismos de mapeamentos para Casos de Uso, Classes e Tipos de Negócio a partir de características. No entanto, esses mecanismos são baseados nos conceitos e representações adotados na notação Odyssey-FEX, como as categorias de classificações de características, os relacionamentos, as regras de composição e outros conceitos, referentes à modelagem de características, que não encontram mapeamento completo, i.e., com a mesma semântica, nas outras notações. A avaliação destes processos, para adaptação às outras notações, pode ser vista como oportunidade de trabalho futuro.

- *Um processo mais interativo de transição entre as notações*

O processo de transição entre as notações realizado neste trabalho é baseado no mapeamento de conceitos definido pelo estudo descrito no Capítulo 3. Neste processo, a interação com o usuário é limitada. Podem ser realizadas apenas as escolhas referentes às diferentes categorias de classificação disponibilizadas nas notações, como as categorias de domínio, entidade e tecnológica da notação Odyssey-FEX, a categoria de característica raiz da notação de Czarnecki e a

classificação como característica parametrizada em Goma. Poderia ser feita uma avaliação para analisar a importância de disponibilizar ao usuário a oportunidade de selecionar qual tipo do relacionamento deve estar presente entre as características ou outras particularidades de alguma notação representada no ambiente Odyssey, como por exemplo, no caso da notação Odyssey-FEX, que oferece diferentes tipos de relacionamentos que não são cobertos pelo mapeamento padrão como agregação, composição, Implementado por, Ligação de Comunicação, dentre outros.

- *Verificação da consistência das regras de composição entre variantes com a cardinalidade do ponto de variação*

Este trabalho inclui o acréscimo do conceito de cardinalidade para pontos de variação na notação Odyssey-FEX, onde se pode definir um intervalo determinando o número mínimo e máximo de variantes que podem ser selecionadas como alternativas do grupo. No entanto, uma limitação se deve ao fato de não ser realizada, de forma automática, a verificação de consistência entre a cardinalidade definida no ponto de variação e possíveis regras de composição existentes entre suas variantes, ficando essa avaliação a cargo do usuário.

Dentro do ambiente Odyssey, encontra-se disponível um mecanismo de críticas, denominado Oráculo (DANTAS *et al.*, 2001), que é uma ferramenta auxiliar à ferramenta de diagramação do ambiente. O Oráculo monitora a inclusão, remoção e edição de elementos em modelos no ambiente baseado nas regras de boa formação de um modelo, como, por exemplo, aquelas extraídas do metamodelo da notação Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006). A fim de suportar a verificação da consistência entre a cardinalidade definida no ponto de variação e possíveis regras de composição existentes entre suas variantes, poderia ser realizado um trabalho futuro que incluísse essa verificação dentro do Oráculo. Outra oportunidade de trabalho é verificar a necessidade de adaptação do conjunto de regras de boa formação para atender a modelagem de características através das outras notações representadas no ambiente, além da notação Odyssey-FEX.

- *Incorporação de outras notações ao ambiente Odyssey*

Novas extensões poderão ser feitas a partir da base de similaridades resultante do estudo realizado neste trabalho com as notações Odyssey-FEX (OLIVEIRA, 2006), de Czarnecki (CZARNECKI *et al.*, 2004) (CZARNECKI *et al.*, 2005) e de GOMMA (2004). Esse fato exige que a cada incorporação de uma notação, um estudo preliminar seja realizado entre as notações já incorporadas ao ambiente e a nova notação, para definir suas características comuns e suas particularidades e avaliar se a base de similaridades deve ser alterada. A definição dos elementos específicos da nova notação faz-se necessária para definir o pacote semântico que representa as particularidades da nova notação. Cada notação também terá pacotes com elementos na parte léxica, de apresentação e de diagramação com suas representações específicas.

Referências Bibliográficas

- [ANTKIEWICZ, M., CZARNECKI, K., 2004], “**FeaturePlugin: Feature Modeling Plug-In for Eclipse.**” In: OOPSLA’04 Eclipse Technology eXchange (ETX) Workshop, pp. 67-72, Vancouver, British Columbia, Canada, Oct. 24-28.
- [ARANGO, G., PRIETO-DIAZ, R., 1991], “**Introduction and Overview: Domain Analysis Concepts and Research Direction**”. In G.Arango, R.P.-D.A. (eds), Domain Analysis and Software Systems Modeling, IEEE Computer Society Press, pp. 9-25.
- [ATKINSON *et al.*, C., 2002], “**Component-Based Product Line Engineering with UML**”, Addison-Wesley, 2002.
- [BLOIS, A.P., BECKER, K., WERNER, C.M.L., 2004], “**Um Processo de Engenharia de Domínio com foco no Projeto Arquitetural Baseado em Componentes**”. In: IV Workshop de Desenvolvimento Baseado em Componentes, pp. 15-20, João Pessoa, Paraíba, Brasil, Setembro.
- [BOSCH, J., 2004], “**Software Variability Management**”. In: Proceedings of the 26th International Conference on Software Engineering (ICSE’04), pp. 720-721, Scotland, UK.
- [BRAGA, R.M.M., 2000], “**Busca e Recuperação de Componentes em Ambientes de Reutilização de Software**”, Tese de DSc., COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- [CECHTICKY, V., PASETTI, A., ROHLIK, O., *et al.*, 2004], “**XML-based feature modelling**”. In: Software Reuse: Methods, Techniques and Tools: 8th 117 International Conference, ICSR, Proceedings, v. 3107, pp. 101–114, Madrid, Spain, July.
- [CZARNECKI, K., EISENECKER, U.W., 2000], “**Generative programming: Methods, Tools, and Applications**”, Addison-Wesley, Boston, MA.
- [CZARNECKI, K., HELSEN, S., EISENECKER, U., 2004], “**Staged Configuration using feature models**”. In: Software Product Lines: Third International Conference, SPLC 2004, Proceedings, v. 3154, pp. 266-283, Boston, MA, USA, August 30-September 2.
- [CZARNECKI, K., HELSEN, S., EISENECKER, U.W., 2005], “**Formalizing cardinality based feature models and their specialization**”, Software Process: Improvement and Practice, v.10, n.1 (March), pp. 7-29.
- [DANTAS, A.R., CORREA, A.L., WERNER, C.M.L., 2001], “**Oráculo: Um Sistema de Críticas para a UML**”. In: XV Simposio Brasileiro de Engenharia de Software - SBES, Caderno de Ferramentas, pp. 398-403, Rio de Janeiro, RJ , Brasil.

- [DANTAS, A.R., VERONESE, G.O., CORREA, A.L., *et al.*, 2002], "Suporte a Padrões no Projeto de Software". In: XVI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, pp. 450-455, Gramado, RS, Brasil, Outubro.
- [FRAKES, W.B., KYO KANG, K., 2005], "Software Reuse Research: Status and Future", IEEE Transactions on Software Engineering, v. 31, n.7, 2005.
- [GAMMA, E., HELM, R., JOHNSON, R., VLISSIDES, J., 2000], "Padrões de projeto: soluções reutilizáveis de software orientado a objetos", Bookman, 2000.
- [GOMAA, H., 2004], "Designing Software Product Lines with UML: From Use Cases to Pattern-Based Software Architectures", Addison-Welsey, 2004.
- [GRISS, M.L., FAVARO, J., D'ALESSANDRO, M., 1998] , "Integrating feature modelling with the RSEB". In: Proceedings of Fifth International Conference on Software Reuse - ICSR5, pp. 76-85 Victoria, British Columbia, Canada.
- [KANG, K.C., COHEN, S.G., HESS, J.A., *et al.*, 1990], "Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) – Feasibility Study", Software Engineering Institute (SEI), CMU/SEI-90-TR-21
- [KANG, K.C., LEE, J., DONOHOE, P., 2002], "Feature – Oriented Product Line Engineering", IEEE Software, v.9, n.4 (Jul/August 2002), pp 58-65.
- [KRUEGER, C.W., 1992], "Software Reuse", ACM Computing Surveys, v.24, n.2 (June), pp. 131-183.
- [LÉDECZI, A., MARÓTI, M., VÖLGYESI, P.], "The Generic Modeling Environment", In: Institute for Software Integrated Systems, Vanderbilt University, Nashville, USA.
- [LEE, K., KANG, K.C., LEE, J., 2002], "Concepts and Guidelines of Feature Modeling for Product Line Software Engineering". In: Software Reuse: Methods, Techniques, and Tools : 7th International Conference, ICSR-7, Proceedings pp. 62 - 77, Austin, TX, USA, April.
- [LOPES, M.A.M., MANGAN, M.A.S., WERNER, C.M.L., 2004], "MAIS: Uma Ferramenta de Percepção para apoiar a Edição Concorrente de Modelos de Análise e Projeto". In: XVIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, Sessão de Ferramentas, pp. 61-66, Brasília, DF, Brasil, Outubro.
- [MAIA, N.E.N., BLOIS, A.P.B., WERNER, C.M., 2005], "Odyssey-MDA: Uma Ferramenta para Transformação de Modelos UML". In: XIX Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, Sessão de Ferramentas, Uberlândia, MG, Brasil, Outubro.
- [MASSEN, T.V.D., LICHTER, H., 2002], "Modeling Variability by UML Use Case Diagrams". In: Proceedings REPL02 - International Workshop on Requirements Engineering for Product Lines, pp. 19-31, Essen, Germany, September, 2002.

- [MILER, N., 2000], “**A Engenharia de Aplicações no Contexto da Reutilização baseada em Modelos de Domínio**”. Dissertação de M.Sc, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- [MURTA, L.G.P., BARROS, M.O., WERNER, C.M.L., 2001], “**FrameDoc: Um Framework para a Documentação de Componentes Reutilizáveis**”. In: IV International Symposium on Knowledge Management/Document Management (ISKM/DM'2001), pp. 241-259, Curitiba, PR, Brasil, Agosto.
- [MURTA, L.G.P., BARROS, M.O., WERNER, C.M.L., 2002], “**Charon: Uma Ferramenta para a Modelagem, Simulação, Execução e Acompanhamento de Processos de Software**”. In: XVI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, pp. 366-371, Gramado, RS, Outubro.
- [MURTA, L.G.P., VASCONCELOS, A.P.V., BLOIS, A.P.T.B., *et al.*, 2004b], “**Run-time Variability through Component Dynamic Loading**”. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software. Caderno de Ferramentas, pp. 67-72, Brasília, DF, Brazil, outubro.
- [NORTHROP, L., 2002], “**SEI’s Software Product Line Tenets**”, IEEE Software, v.19, n. 4 (July/August, 2002), pp. 32-40.
- [ODYSSEY, 2008], “**Odyssey SDE Homepage**”. In: <http://reuse.cos.ufrj.br/odyssey>.
- [OLIVEIRA, H., MURTA, L.G.P., WERNER, C.M.L., 2004], “**Odyssey-VCS: Um Sistema de Controle de Versões Para Modelos Baseados no MOF**”. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, Sessão de Ferramentas, pp. 85-90, Brasília, DF, Brasil, Outubro
- [OLIVEIRA, R.F., 2006], “**Formalização e Verificação de Consistência na Representação de Variabilidades**”, Dissertação de M.Sc., COPPE Sistemas, UFRJ, Rio de Janeiro.
- [OMG, 2008], “**Unified Modeling Language Specification Version2.0**”. In: <http://www.omg.org/>
- [RIEBISCH, M., BÖLLERT, K., STREITFERDT, D., *et al.*, 2002], “**Extending Feature Diagrams with UML Multiplicities**”. In: Proceedings of 6th Conference on Integrated Design & Process Technology, pp. 1-7, Pasadena, California, USA, June.
- [SIMOS, M., ANTHONY, J., 1998], “**Weaving the Model Web: A Multi-Modeling Approach to Concepts and Features in Domain Engineering**”. In: Proceedings of 5th International Conference of Software Reuse (ICSR-5), pp. 94-102, Vitória, Canadá, June.
- [SUN, 2008], “**Java Technology**”. In: <http://www.java.sun.com>.

- [TRACZ, W., 1994], “**Software Reuse Myths Revisited**”. In: 16th International Conference on Software Engineering, Sorrento, Itália, 1994
- [VERONESE, G.O., NETTO, F.J., CORREA, A., *et al.*, 2002], “**ARES – Uma Ferramenta de Engenharia Reversa Java-UML**”. In: XVI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software - Caderno de Ferramentas, pp. 347-352, Gramado, RS, Outubro.
- [WERNER, C., MATTOSO, M., BRAGA, R., *et al.*, 1999], “**Odyssey: Infra-estrutura de reutilização Baseado em Modelos de Domínios**”. In: Caderno de Ferramentas do XIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, pp. 17-20, Florianópolis, outubro.
- [WERNER, C.M.L., BRAGA, R.M.M., 2000], “**Desenvolvimento baseado em Componentes**”. Anais do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, Minicursos, João Pessoa, PB, Brasil, outubro, 2000, pp. 297-329.
- [XAVIER, J.R., 2001], “**Criação e Instanciação de Arquiteturas de Software Específicas de Domínio no Contexto de uma Infra-Estrutura de Reutilização**”, Dissertação de M.Sc., COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- [XPATH, 2008], “**World Wide Web Consortium. XML Path Language 2.0**”, 2008. In: <http://www.w3.org/TR/xpath20/>.

Exemplo de Utilização – Tabela Categorias Características

Característica	Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Telefone Celular	Característica Conceitual, Invariante e Mandatória	Característica Raiz	Característica Comum
Usuário	Característica de Entidade, Invariante, Mandatória	Característica Solitária com cardinalidade [1,1]	Característica Comum
Alarme	Característica Funcional, Invariante, Opcional	Característica Solitária com cardinalidade [0,1]	Característica Opcional
Planos de Telefonia	Característica Conceitual, Invariante, Mandatória, Organizacional	Característica Solitária com cardinalidade [1,1]	Característica Comum
Envio de Mensagem de Texto	Característica Funcional, Invariante, Opcional	Característica Solitária com cardinalidade [0,1]	Característica Opcional
Câmera	Característica Conceitual, Invariante, Opcional	Característica Solitária com cardinalidade [0,1]	Característica Opcional
Serviços da Operadora	Característica Conceitual, Invariante, Mandatória, Externa	Característica Solitária com cardinalidade [1,1]	Característica Comum
Recebimento de Toques Musicais	Característica Funcional, Ponto de Variação, Opcional com cardinalidade <0,3>	Grupo de característica com cardinalidade <0,3>	Grupo de característica com estereótipo <<zero-or-more-of-feature group>>
Toque Monofônico	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
Toque Polifônico	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
MP3	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
Agenda	Característica Conceitual, Invariante, Mandatória	Característica Solitária com cardinalidade [1,1]	Característica Comum

Tabela 1 – As representações das características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições

Característica	Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Transferência de Dados para PC	Característica Funcional, Invariante, Opcional	Característica Solitária com cardinalidade [0,1]	Característica Opcional
Cabo de Dados	Característica Conceitual, Invariante, Opcional	Característica Solitária com cardinalidade [0,1]	Característica Opcional
Conexão	Característica Conceitual, Ponto de Variação, Opcional com cardinalidade <0,3>	Grupo de característica com cardinalidade <0,3>	Grupo de característica com estereótipo <<zero-or-more-of-feature group>>
Infravermelho	Característica Conceitual, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
Bluetooth	Característica Conceitual, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
USB	Característica Conceitual, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
Acesso à Internet	Característica Funcional, Invariante, Opcional	Característica Solitária com cardinalidade [0,1]	Característica Opcional
WAP	Característica de Tecnologia de Domínio, Invariante, Mandatória	Característica Solitária com cardinalidade [1,1]	Característica Comum
Cores no Visor	Característica Funcional, Ponto de Variação, Mandatório com cardinalidade <1,1>	Grupo de característica com cardinalidade <1,1>	Grupo de característica com estereótipo <<exactly-one-of feature group>
Monocromático	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Alternativa
96x65 Pixels	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Alternativa
4.096 Cores	Característica Funcional, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Alternativa

Tabela 1 – As representações das características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições (Cont. 1)

Característica	Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Campainha	Característica Conceitual, Invariante, Mandatória	Característica Solitária com cardinalidade [1,1]	Característica Comum
Jogos	Característica Conceitual, Ponto de Variação, Opcional com cardinalidade <0,2>	Grupo de característica com cardinalidade <0,2>	Grupo de característica com estereótipo <<zero-or-more-of-feature group>>
CarRacer	Característica Conceitual, Variante, Opcional	Característica Agrupada	Característica Opcional
Snake	Característica Conceitual, Variante, Opcional, Não-Definida	Característica Agrupada	Característica Opcional
JAVA	Característica de Ambiente Operacional, Invariante, Mandatória	Característica Solitária com cardinalidade [1,1]	Característica Comum

Tabela 1 – As representações das características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições (Cont. 2)

Exemplo de Utilização – Tabela Relacionamentos

Características envolvidas no relacionamento	Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Telefone Celular e Usuário	Ligação de Comunicação	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Alarme	Agregação	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Planos de Telefonia	Composição	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Envio de Mensagem de Texto	Agregação	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Câmera	Agregação	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Serviços da Operadora	Associação	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Recebimento de Toques Musicais	Agregação	Ligação	Relacionamento requer
Recebimento de Toques Musicais e variantes (Monofônico, Polifônico e MP3)	Alternativo	Ligação entre Recebimento de Toques Musicais e suas características agrupadas (Monofônico, Polifônico e MP3)	Ligação entre Recebimento de Toques Musicais e suas características opcionais (Monofônico, Polifônico e MP3)
Telefone Celular e Agenda	Composição	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Transferência de Dados para PC	Agregação	Ligação	Relacionamento requer
Transferência de Dados para PC e Cabo de Dados	Associação	Ligação	Relacionamento requer
Transferência de Dados para PC e Conexão	Associação	Ligação	Relacionamento requer
Conexão e suas variantes (Infravermelho, Bluetooth e USB)	Alternativo	Ligação entre Conexão e suas características agrupadas (Infravermelho, Bluetooth e USB)	Ligação entre Conexão e suas características opcionais (Infravermelho, Bluetooth e USB)
Telefone Celular e Acesso à Internet	Agregação	Ligação	Relacionamento requer
Acesso à Internet e WAP	Implementado Por	Ligação	Relacionamento requer

Tabela 1 – As representações dos relacionamentos entre as características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições

Características envolvidas no relacionamento	Odyssey-FEX	Czarnecki	Gomaa
Telefone Celular e Cores no Visor	Composição	Ligação	Relacionamento requer
Cores no Visor e suas variantes (Monocromático, 96x65 Pixels e 4.096 Cores)	Alternativo	Ligação entre Cores no Visor e suas características agrupadas (Monocromático, 96x65 Pixels e 4.096 Cores)	Ligação entre Cores no Visor e suas características opcionais (Monocromático, 96x65 Pixels e 4.096 Cores)
Telefone Celular e Campainha	Composição	Ligação	Relacionamento requer
Telefone Celular e Jogos	Agregação	Ligação	Relacionamento requer
Jogos e suas variantes (CarRacer e Snake)	Alternativo	Ligação entre Jogos e suas características agrupadas (CarRacer e Snake)	Ligação entre Jogos e suas características opcionais (CarRacer e Snake)
CarRacer e JAVA	Implementado Por	Ligação	Relacionamento requer

Tabela 1 – As representações dos relacionamentos entre as características do modelo de domínio de Telefonia Móvel nas três notações após as transições (Cont.)