Uma Revisão Sistemática sobre Avaliação de Linha de Produto de Software: Iteração Jan/2008 a Jul/2010

Edson Alves de Oliveira Junior [a]
José Carlos Maldonado [a]
Itana Maria de Souza Gimenes [b]

[a]Universidade de São Paulo (USP)
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC)
Laboratório de Engenharia de Software (LabES)
e-mail: {edsonjr,jcmaldon}@icmc.usp.br

[b]Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Departamento de Informática (DIN)
Laboratório de Engenharia de Software (LES)
e-mail: itana@din.uem.br

Resumo: A abordagem de Linha de Produto de Software (LP) vem sendo consolidada nos últimos anos como uma forma sistemática de reutilização de artefatos de software eficaz e eficiente, e que pode ser adotada por organizações com o objetivo de melhorar seus processos de software. Vários são os relatos de experiências de sucesso de empresas sobre a adoção desta abordagem. Porém, para a adoçao de LP é necessário uma forma de quantificar os esforços para tal. Uma área de pesquisa em LP ainda pouco explorada é a avaliação de LP. Assim, esta revisão sistemática tem como objetivo apresentar um estudo do estado da arte sobre avaliação de LP envolvendo os conceitos fundamentais do tema, metodologias existentes e perspectivas relacionadas, além de complementar a revisão sistemática realizada em Dezembro de 2007.

Palavras-chave: arquitetura de linha de produto, avaliação, revisão sistemática.

Abstract: *The Software Product Line approach has been consolidated in the last years as a means to systematic reuse software artifacts efficiently. Itcan be adopted by organizations that are concerned on improving its software processes. Although, the adoption of a PL requires a systematic way to quantify its effort, which can be supplied by product line evaluation, an open research area. Then, this systematic review presents a state of the art study on product line evaluation, as well its foundations, existing methodologies and related perspectives. In addition, it complements a systematic review conducted in December, 2007.*

Keywords: *product line architecture*, *evaluation*, *assessment*, *systematic review*.

Sumário

1 Introdução **1**

2 Planejamento e Condução da Revisão **3**
2.1 Planejamento da Revisão 3
2.1.1 Objetivos da Pesquisa 4
2.1.2 Questões de Pesquisa 4
2.1.3 Estratégia de Busca para Seleção de Estudos Primários 5
2.1.4 Critérios e Procedimentos para Seleção dos Estudos 5
2.1.4.1 Critérios de Inclusão 6
2.1.4.2 Critérios de Exclusão 6
2.1.4.3 Processo de Seleção Preliminar 7
2.1.4.4 Processo de Seleção Final 7
2.1.5 Extração dos Resultados 7
2.2 Condução da Revisão 8
2.2.1 Definição das Strings de Busca 8
2.2.2 Buscas Realizadas e Recuperação dos Trabalhos 9
2.2.3 Seleção Preliminar dos Trabalhos 16
2.2.4 Seleção Final dos Trabalhos 18

3 Análise dos Resultados **19**
3.1 Panorama sobre Avaliação de LP 19
3.1.1 Avaliação de Atributos de Qualidade de Arquiteturas de LP 20
3.1.1.1 Avaliação Baseada em Cenários 20
3.1.1.2 Avaliação Baseada no Método ATAM 21
3.1.1.3 Avaliação Baseada no Atributo de Qualidade Variabilidade 22
3.1.2 Avaliação Estrutural de Arquiteturas LP 24
3.1.3 Definição e Avaliação de Escopo e Teste de LP 25
3.1.3.1 Modelos de Custos e Estimativas 25
3.1.3.2 Modelos de Maturidade para Processos de LP 26
3.1.3.3 Teste de LP 27

4 Conclusão **29**

Referências **33**

Capítulo

1

Introdução

A abordagem de Linha de Produto de Software (LP) tem como objetivo principal a geração de produtos de um mesmo domínio a partir de uma infra-estrutura de referência (núcleo de artefatos) que se caracteriza por possuir similaridades e variabilidades. As similaridades garantem que produtos sejam gerados com um comportamento padrão por meio de um conjunto de características comuns. Já as variabilidades são vistas como os locais em que o comportamento de um software pode variar e, portanto, decisões de projeto podem ser tomadas, permitindo a adaptação e a geração de produtos específicos.

Várias abordagens de desenvolvimento de LP surgiram nos últimos anos. O desenvolvimento de uma LP é guiado, essencialmente, por três atividades principais (SEI, 2010), sendo elas:

- **Desenvolvimento do Núcleo de Artefatos**[1];
- **Desenvolvimento dos Produtos**[2];
- **Gerência de LP**[3].

A Figura 1.1 ilustra as atividades essenciais de construção de LP com base na iniciativa PLP (*Product Line Practice*) do SEI (*Software Engineering Institute*) (SEI, 2010).

[1]do inglês *Core Asset Development*
[2]do inglês *Product Development*
[3]do inglês *Management*

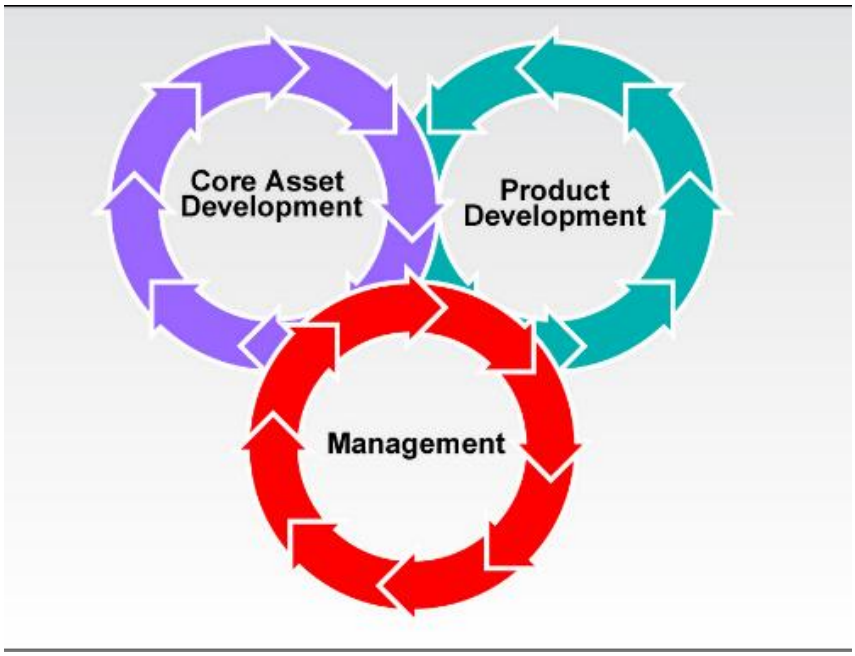

Figura 1.1: Atividades Essenciais de Linha de Produto de Software (SEI, 2010).

A abordagem de LP tem sido discutida e aplicada com bastante ênfase nos últimos anos, o que permitiu a proposta de várias metodologias, conceitos e relatos de experiências sobre estudos e aplicações práticas em organizações conhecidas como é o caso da Nokia e de empresas de telecomunicações. Isso contribuiu para a melhoria das abordagens, consequentemente, impulsionou um campo bastante vasto para pesquisas na área de Engenharia de Software.

Dessa forma, a abordagem de LP possui vários temas de pesquisa em aberto, dentre eles podemos citar: avaliação de LP; modelos, custos e estimativas para adoção de LP; desenvolvimento e manutenção de LP, evolução de LP, ferramentas de automatização e derivação de produtos específicos e linguagens específicas de domínio para apoiar a geração de produtos.

Assim, esta revisão sistemática tem como objetivo apresentar o estado da arte sobre avaliação de LP, visando apoiar a concepção de um método de avaliação de arquiteturas de LP (ALP) composto por um meta-processo de avaliação, métricas e diretrizes. Além disso, esta revisão sistemática complementará o estudo bibliográfico iniciado na revisão sistemática conduzida em Dezembro de 2007 por Oliveira Junior et al. (2007).

Este documento está estruturado da seguinte maneira: o Capítulo 2 apresenta o planejamento e a condução da revisão sistemática; o Capítulo 3 apresenta os resultados obtidos com a revisão sistemática, bem como, uma análise acerca dos trabalhos coletados e estudados, enquanto o Capítulo 4 apresenta as conclusões.

Capítulo

2

Planejamento e Condução da Revisão

As revisões sistemáticas são planejadas e conduzidas seguindo um protocolo previamente definido (Biolchini et al., 2005; Kitchenham et al., 2004). O planejamento é visto como a atividade inicial do processo de revisão sistemática em que são definidas uma ou mais questões de pesquisa e a metodologia a ser empregada para conduzir tal revisão, bem como, a definição das fontes e estratégias de busca. A condução da revisão se caracteriza pela identificação, seleção e avaliação de estudos primários de acordo com critérios de inclusão e exclusão estabelecidos durante a definição do protocolo de revisão (Kitchenham, 2004).

Dessa forma, este capítulo apresenta as atividades de planejamento e de condução da revisão sistemática realizada.

2.1 Planejamento da Revisão

A atividade de planejamento da revisão sistemática foi realizada seguindo o modelo de protocolo apresentado por Biolchini et al. (2005) e Kitchenham et al. (2004). O plano elaborado é utilizado para apoiar a condução da revisão sistemática, sendo revisado por especialistas. Sugestões de ajuste foram discutidas com os revisores[1] e implementadas no plano final.

[1]Os autores agradecem às revisoras *Paula Marques Donegan* e *Erika Nina Hohn* por suas contribuições.

Nesta seção são apresentados os principais pontos definidos no planejamento da revisão em questão.

2.1.1 Objetivos da Pesquisa

- identificar e analisar as técnicas de avaliação que estão sendo aplicadas à abordagem de LP;
- identificar métricas e padrões/normas de qualidade utilizadas para apoiar as técnicas de avaliação de LP;
- identificar modelos econômicos relacionados às técnicas de avaliação de LP; e
- identificar técnicas de teste relacionadas à avaliação de LP.

2.1.2 Questões de Pesquisa

Visando alcançar os objetivos propostos da revisão foi definida uma questão principal de pesquisa, bem como, três questões secundárias, cada uma delas com seus próprios critérios de inclusão e exclusão de trabalhos.

A seguir são apresentadas cada uma das questões definidas, assim como, os itens relacionados à abrangência e à especificidade dessas.

Questão Primária: Quais técnicas de avaliação têm sido investigadas e aplicadas no contexo de linha de produto de software?

Questão Secundária 1: Quais métricas e/ou padrões/normas de qualidade vêm apoiando a avaliação de linha de produto de software?

Questão Secundária 2: Quais possíveis modelos econômicos estão relacionados às técnicas de avaliação de linha de produto de software?

Questão Secundária 3: Quais possíveis técnicas de teste estão relacionadas às técnicas de avaliação de linha de produto de software?

Os itens relacionados à abrangência e à especificidade das questões são:

- ***Intervenção***: técnicas de avaliação de software;
- ***Efeito***: análise crítica de técnicas de avaliação de LP;

- ***Aplicação***: comunidades acadêmica e/ou industrial que pesquisam ou realizam avaliações no contexo de LP;
- ***Resultados***: técnicas de avaliação aplicadas ao contexto de LP; e
- ***População***: projetos de desenvolvimento de software que adotam a abordagem de linha de produto de software, especialmente gerentes de LP preocupados em avaliar a arquitetura e os demais artefatos produzidos, assim como, em avaliar a viabilidade de modificações na LP.

2.1.3 Estratégia de Busca para Seleção de Estudos Primários

A estratégia para a busca de estudos primários foi definida com base nas fontes de busca, idiomas dos estudos e palavras-chave relacionadas. As fontes correspondem aos locais/pessoas de onde provêm os estudos, escritos em determinado(s) idioma(s) e encontrados por meio de palavras-chave bem definidas.

- **Fontes:** bases de dados eletrônicas amplamente indexadas (IEEE, ACM, SpringerLink) e busca em máquinas eletrônicas de busca (Scirus).
- **Idioma dos Estudos:** Inglês por ser o idioma internacionalmente aceito para a redação de estudos científicos. Português para considerar eventuais trabalhos relevantes desenvolvidos por pesquisadores brasileiros.
- **Palavras-Chave:** *"product line"* e *"evaluation"* (em inglês) e "linha de produto" e "avaliação" (em português) , com os seguintes termos e variações relacionadas:
  - ***product line***: *product-line*, *product family*, *product-family*, *family of products*;
  - ***evaluation***: *assessment*, *architecture assessment*, *architecture evaluation*, *architectural assessment*, *architectural evaluation*, *architectural analysis*;
  - **linha de produto**: família de produto; e
  - **avaliação**: avaliação de arquitetura, análise de arquitetura, avaliação arquitetural, análise arquitetural.

2.1.4 Critérios e Procedimentos para Seleção dos Estudos

A seguir são apresentados os critérios de inclusão e exclusão, assim como, os processos de seleção preliminar e final dos estudos.

2.1.4.1 Critérios de Inclusão

Os critérios de inclusão de estudos primários definidos para cada uma das questões de pesquisa da revisão são:

- **Questão Primária:** técnicas de avaliação de software relacionadas à abordagem de LP, publicadas a partir de 2008;
- **Questão Secundária 1:** métricas e/ou padrões/normas de qualidade que apóiam a avaliação de LP, publicadas a partir de 2008;
- **Questão Secundária 2:** modelos econômicos relacionados diretamente à abordagem de LP, publicados a partir de 2008; e
- **Questão Secundária 3:** técnicas de teste relacionadas diretamente à abordagem de LP, publicadas a partir de 2008.

2.1.4.2 Critérios de Exclusão

Os critérios de exclusão de estudos primários definidos para cada uma das questões de pesquisa da revisão são:

- **Questão Primária:** estudos sobre avaliação de software que não estão relacionados à LP, publicados até 2010;
- **Questão Secundária 1:** métricas e/ou padrões/normas de qualidade para medição de software que não seguem a perspectiva de linha de produto de software (por exemplo, métricas para desenvolvimento de produtos específicos), publicadas até 2010;
- **Questão Secundária 2:** modelos econômicos que não se caracterizam para aplicação em LP, publicados até 2010; e
- **Questão Secundária 3:** técnicas de teste que não se caracterizam para aplicação em LP, publicadas até 2010.

Além disso, deve-se considerar também como critérios de exclusão, independentemente das questões de pesquisa, os seguintes:

- estudos com menos de 06 (seis) páginas, por considerar que informações relevantes à esta revisão não são, normalmente, divulgadas nestes tipos de estudo;

- estudos recuperados de meios eletrônicos que não estejam no formato PDF (*Portable Document Format*), DOC (Processador de Texto Microsoft Word) ou ODT (Processador de Texto do *Open Office*), sendo esses os meios mais comuns de divulgação de estudos;
- estudos duplicados, encontrados anteriormente em outra(s) fonte(s); e
- estudos que não puderam ser recuperados (não-disponíveis).

2.1.4.3 Processo de Seleção Preliminar

O processo de seleção preliminar será realizado com base na construção de *strings* de busca formatadas pela combinação das palavras-chave identificadas na Seção 2.1.3. Tais *strings* serão submetidas às máquinas de busca e às bases de dados indexadas relacionadas na Seção 2.1.3 recuperando, assim, um conjunto inicial de trabalhos. Uma leitura do resumo de tais trabalhos será feita com o objetivo de identificar os trabalhos relevantes para serem lidos na íntegra com base nos critérios de inclusão e exclusão apresentados, para a identificação dos trabalhos mais relevantes.

2.1.4.4 Processo de Seleção Final

A seleção final avaliará a qualidade dos trabalhos por meio de uma leitura completa dos estudos pré-selecionados com o objetivo de considerar ou descartar os resultados apresentados por cada um possibilitando, assim, na fase seguinte, a redação de uma anáise crítica ressaltando a avaliação de linha de produto de software e todos os conceitos e questões relacionadas na Seção 2.1.2.

2.1.5 Extração dos Resultados

Durante a leitura na íntegra dos trabalhos selecionados serão extraídos alguns dados relevantes. Os principais dados a serem coletados são:

- **origem**: organização/universidade e autores do trabalho;
- **ano**: ano de publicação do trabalho;
- **visão geral do trabalho**: breve análise do trabalho apresentando os pontos mais importantes;
- **originalidade da proposta**: se o trabalho é original ou se é uma extensão baseada em algum outro trabalho já desenvolvido;

- **métrica(s)**: métrica(s) de avaliação indicada(s)/sugerida(s) no trabalho;
- **técnica(s) de teste**: técnica(s) de teste relacionada(s) ao trabalho; e
- **modelo(s) econômico(s)**: modelo(s) econômico(s) relacionado(s) ao trabalho.

Após a leitura completa dos trabalhos selecionados será elaborado um relatório com o objetivo de sintetizar as análises críticas com relação ao tema da revisão. O relatório será composto de sínteses dissertativas, assim como tabelas e gráficos ilustrativos mostrando as diferenças entre as técnicas de avaliação identificadas no contexto de linha de produto de software.

2.2 Condução da Revisão

A revisão sistemática foi conduzida por um período de três meses sendo realizada de maio/2010 a Julho/2010. Foram recuperados 175 trabalhos que foram submetidos às etapas de seleção preliminar, seleção final e extração dos resultados. As seções a seguir apresentam as atividades realizadas na condução da revisão sistemática, bem como, a estratégia utilizada na construção das *strings* de busca e os resultados das buscas em cada uma das fontes definidas.

A condução da revisão sistemática foi realizada de acordo com as seguintes etapas:

- Definição das *strings* de busca;
- Aplicação das *strings* de busca e recuperação dos trabalhos nas fontes definidas;
- Seleção preliminar dos trabalhos; e
- Seleção final dos trabalhos.

As seções seguintes apresentam cada uma dessas etapas detalhadamente.

2.2.1 Definição das Strings de Busca

A definição das *strings* de busca foi realizada com a combinação dos sinônimos das palavras-chave identificadas na Seção 2.1.3. Para tanto, foram utilizados os operadores lógicos “e” (AND) e “ou” (OR) como segue:

```
software

AND

(product-line OR product line OR product-family OR product family
OR family of products)

AND

(assessment OR
architecture assessment OR architectural assessment OR evaluation
OR architecture evaluation OR architectural evaluation
OR architectural analysis)
```

2.2.2 Buscas Realizadas e Recuperação dos Trabalhos

A seguir são apresentadas as buscas realizadas por meio da aplicação das *strings* definidas para cada uma das fontes.

O gráfico da Figura 2.1 mostra a porcentagem de estudos primários recuperados por fonte.

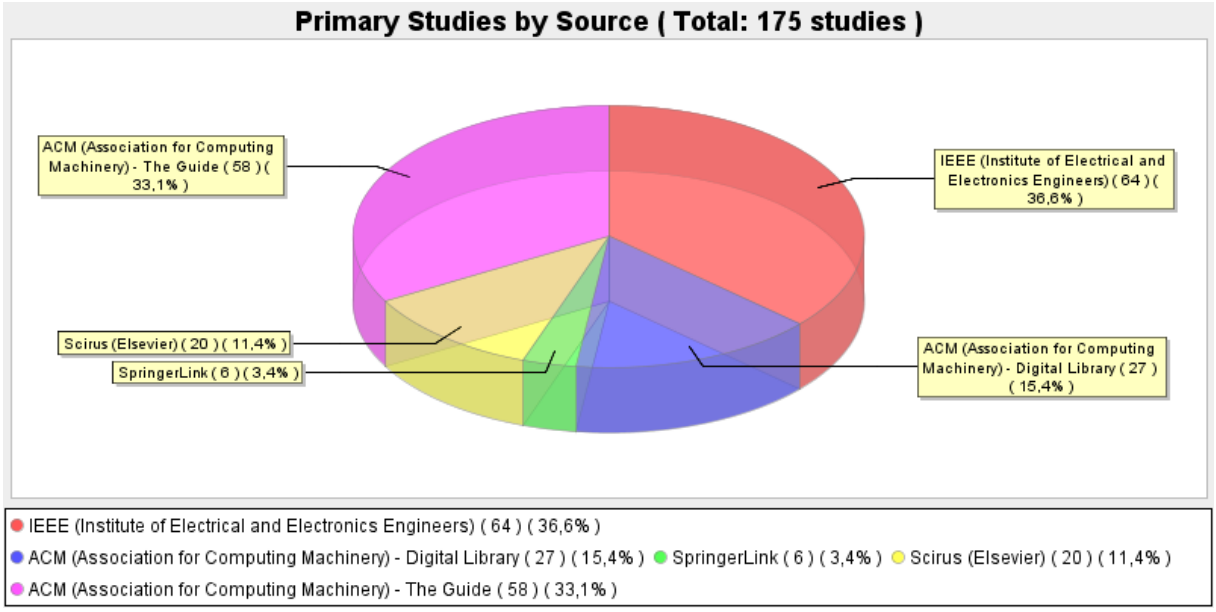

Figura 2.1: Estudos Primários Recuperados por Fonte.

Busca na IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)

A busca na IEEE (2010) foi realizada em 05/05/2010 por meio da aplicação da *string* de busca definida na Seção 2.2.1, ligeiramente modificada, ao mecanismo de busca avançada da IEEE.

A busca avançada da IEEE está disponível no endereço eletrônico `http://ieeexplore.ieee.org/search/advsearch.jsp` em que é possível fazer dois tipos de busca: por palavras-chave, frases e expressões booleanas (operadores *AND* e *OR*) ou por expressões booleanas (*Command Search*). Além disso, é possível definir o ano e onde a busca será realizada como, por exemplo, periódicos, anais de eventos, normas IEEE (*standards*) e livros.

Assim, optou-se pelo uso de expressão booleana, uma vez que a *string* de busca já estava definida, restringindo a busca entre os anos de 2008 a 2010. A seguir é apresentada a *string* de busca modificada para o mecanismo avançado da IEEE.

```
((software AND (product-line OR product line OR product-family OR
product family OR family of products) AND (assessment OR
architecture assessment OR architectural assessment OR evaluation OR
architecture evaluation OR architectural evaluation OR
architectural analysis)))
```

A *string* de busca foi aplicada juntamente com o parâmetro *metadata*, que indica a busca em todos os campos possíveis dos trabalhos publicados na IEEE. As demais opções de busca ficaram preenchidas como padrão (*default*) do mecanismo de busca, como mostra a Figura 2.2. Foram obtidos 64 trabalhos, todos eles disponíveis no formato PDF, representando 36,6% do total de trabalhos recuperados.

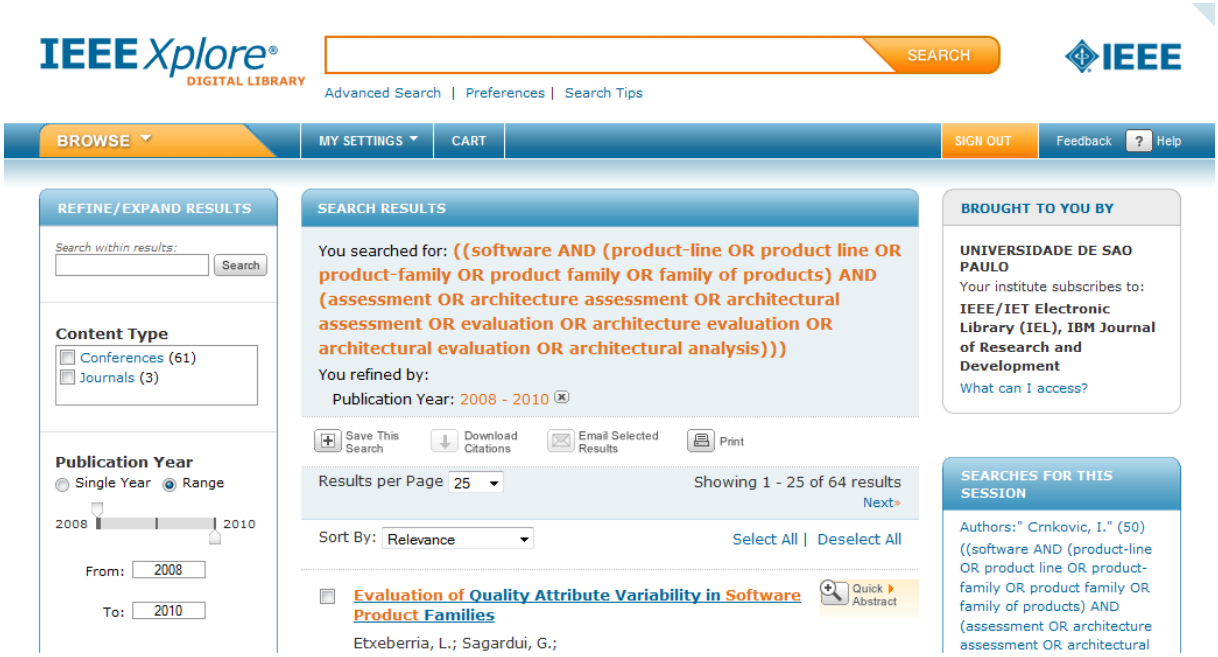

Figura 2.2: Busca Realizada no Mecanismo Avançado *IEEE Xplore* (IEEE, 2010).

Busca na ACM (*Association for Computing Machinery*)

A busca na ACM (2010) foi realizada em 10/05/2010 por meio da aplicação da *string* de busca definida na Seção 2.2.1, ligeiramente modificada, ao mecanismo de busca avançada da ACM.

A busca avançada da ACM está disponível no endereço eletrônico `http://portal.acm.org/advsearch.cfm` em que é possível fazer a busca na biblioteca digital (*The ACM Digital Library*) e no guia de referências (*The Guide*). A biblioteca digital disponibiliza os trabalhos na íntegra no formato PDF, enquando o guia serve somente como uma referência de trabalhos, incluindo os da biblioteca digital, em outras fontes sem disponibilizá-los. Para ambas as opções a *string* de busca submetida foi a mesma. Além disso, é possível definir ainda em que local do trabalho a *string* será avaliada como, por exemplo, resumo ou título, e o ano de publicação.

Assim, a busca foi realizada tanto na biblioteca digital como no guia da ACM. A seguir é apresentada a *string* de busca modificada para o mecanismo avançado da ACM.

```
(
(Abstract:software)

 and

(Abstract:"product-line" or Abstract:"product line" or
Abstract:"product-family" or Abstract:"product family" or
Abstract:"family of products")
)

 and

(Abstract:"assessment" or Abstract:"architecture assessment" or
Abstract:"architectural assessment" or Abstract:"evaluation" or
Abstract:"architecture evaluation" or
Abstract:"architectural evaluation" or
Abstract:"architectural analysis")
```

Como pode ser observado na *string*, a busca foi realizada no resumo (*abstract*) dos trabalhos. As demais opções de busca ficaram preenchidas como padrão (*default*) do mecanismo de busca, como mostra a Figura 2.3.

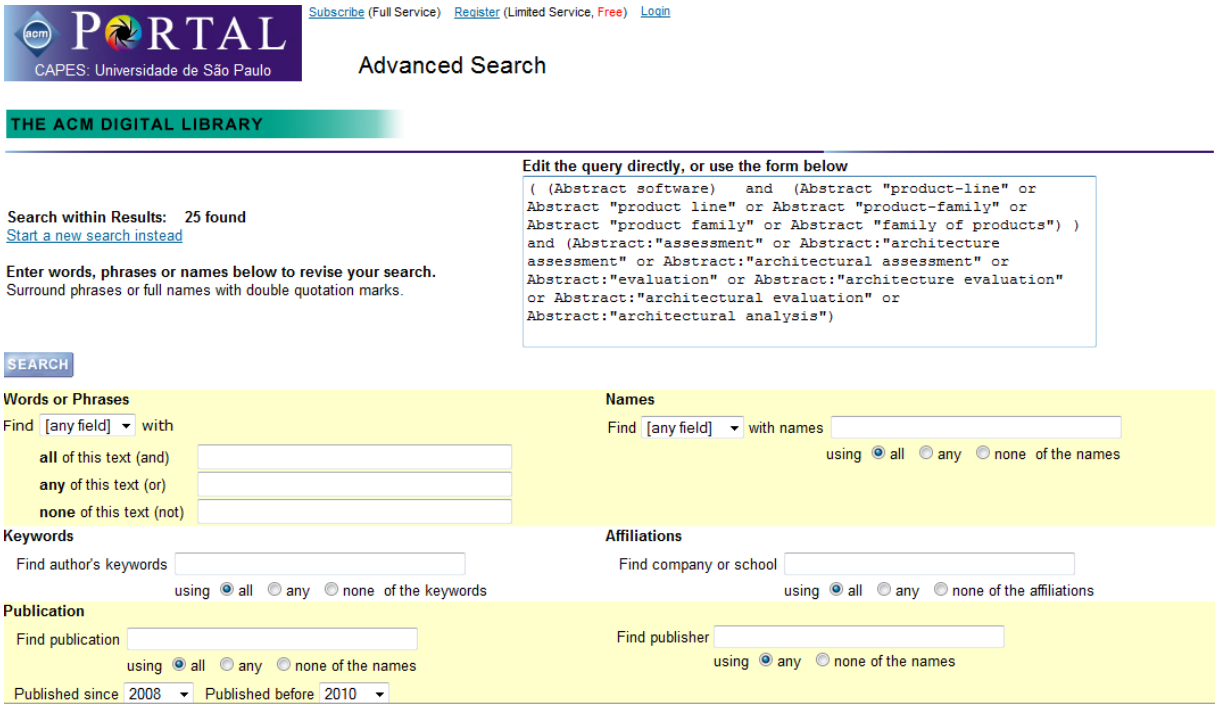

Figura 2.3: Busca Realizada no Mecanismo Avançado da ACM (ACM, 2010).

Foram obtidos 27 trabalhos na biblioteca digital, todos eles disponíveis em formato PDF, representando 15,4% dos trabalhos recuperados, e 58 trabalhos no guia da ACM, representando 33,1% do total de trabalhos recuperados.

Dos 58 trabalhos do guia, 29 foram encontrados também na biblioteca digital. Desses 58, 29 não estavam disponíveis. Dessa forma, foi necessário buscá-los em outras fontes de pesquisa como o site do Google, por exemplo. Assim, 23 dos 29 trabalhos puderam ser recuperados, enquanto 06 não estavam disponíveis.

Assim, somente 29 dos 58 trabalhos do guia da ACM foram avaliados estando estes disponíveis e não sendo encontrados em outras fontes (*ACM Digital Library* e IEEE).

Busca na SpringerLink

A busca na SpringerLink (2010) foi realizada em 20/05/2010 por meio da aplicação da *string* de busca definida na Seção 2.2.1, ligeiramente modificada, ao mecanismo de busca da SpringerLink.

A busca avançada na SpringerLink está disponível no endereço eletrônico `http://www.springerlink.com` em que é possível utiliar os termos procurados em conjunto com os operadores lógicos AND e OR.

Porém, um dos grandes problemas da SpringerLink é a sua limitação na quantidade de caracteres da *string* de busca. Dessa forma, a *string* de busca original foi adaptada para o mecanismo da SpringerLink, sendo alguns termos removidos. A seguir é apresentada a *string* de busca modificada para o mecanismo avançado da SpringerLink.

```
su:(software) AND su:("product-line" OR "product line"
OR "product-family" OR "product family" OR
"family of products") AND su:("assessment" OR "evaluation")
```

Como pode ser observado na *string*, a busca foi realizada no resumo (*su* do inglês *summary*) dos trabalhos. As demais opções de busca ficaram preenchidas como padrão (*default*) do mecanismo de busca, como mostra a Figura 2.4.

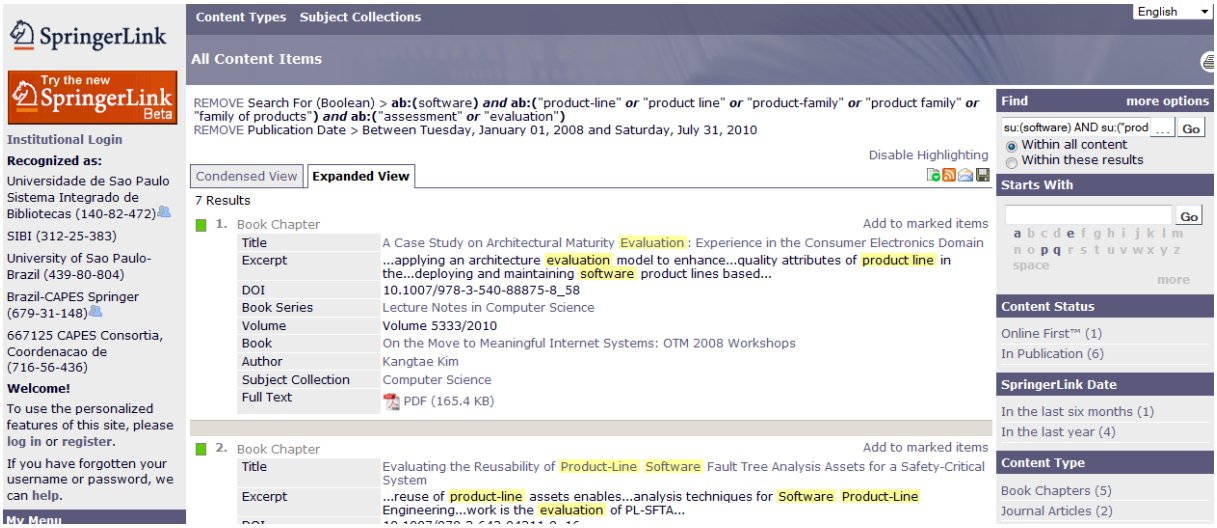

Figura 2.4: Busca Realizada no Mecanismo Avançado da SpringerLink (SpringerLink, 2010).

Foram retornados 06 trabalhos, representando 3,4% do total de trabalhos recuperados, sendo que todos estavam disponíveis na íntegra no formato PDF. Nenhum dos trabalhos foi encontrado em outras fontes de busca (*ACM Digital Library*, *ACM The Guide* e IEEE).

Busca na Scirus (Elsevier)

A busca na Scirus (2010) foi realizada em 05/06/2010 por meio da aplicação da *string* de busca definida na Seção 2.2.1, ligeiramente modificada, ao mecanismo de busca da Scirus.

A busca avançada da Scirus está disponível no endereço eletrônico `http://www.scirus.com/srsapp/advanced/index.jsp` em que é possível fazer a busca de trabalhos disponíveis

na íntegra. Além disso, é possível definir ainda em que local do trabalho a *string* será avaliada como, por exemplo, o ano de publicação e o formato dos trabalhos (PDF, HTML, DOC ou formato livre).

A seguir é apresentada a *string* de busca modificada para o mecanismo avançado da Scirus.

```
software AND ("product-line" OR "product line" OR "product family"
OR "product-family" OR "family of products") AND ("assessment" OR
"architecture assessment" OR "architectural assessment" OR
"evaluation" OR "architecture evaluation" OR "architectural
evaluation" OR "architectural analysis")
```

Como pode ser observado na *string*, a busca foi realizada no texto completo dos trabalhos. As demais opções de busca ficaram preenchidas como segue:

- ***Information types:*** *abstracts*, *articles*, *books* e *theses and presentations*;
- ***File formats:*** *pdf* e *doc*;
- ***Content sources:*** *all*; e
- ***Subject areas:*** *computer science* e *engineering, energy and technology.*

Foram retornados 20 trabalhos em *journals*, todos eles disponíveis no formato PDF, representando 11,4% do total de trabalhos recuperados. A Figura 2.5 apresenta o mecanismo de busca avançada da Scirus, bem como os critérios disponíveis para a busca.

Figura 2.5: Busca Realizada no Mecanismo Avançado da Scirus (Scirus, 2010).

2.2.3 Seleção Preliminar dos Trabalhos

Nesta etapa foram lidos os resumos de todos os trabalhos recuperados na etapa anterior conforme o planejamento apresentado na seção 2.1. O gráfico da Figura 2.6 mostra a porcentagem de estudos selecionados (9,1%) e não-selecionados (90,9%) para a leitura na íntegra.

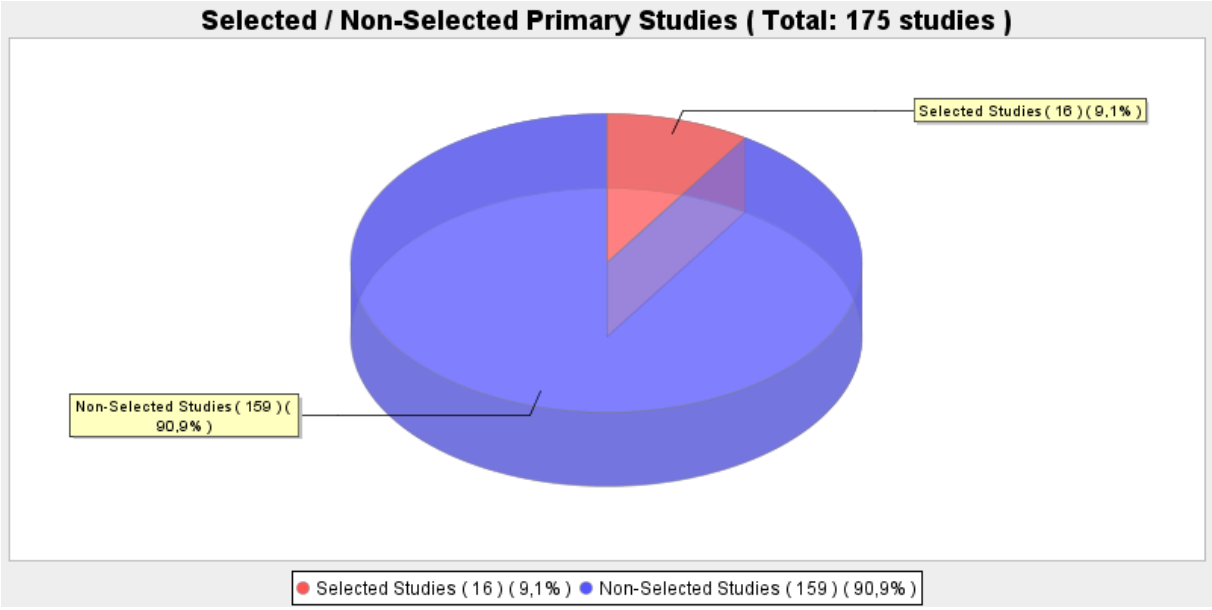

Figura 2.6: Trabalhos Selecionados e Não-Selecionados para Leitura na Íntegra.

Assim, os itens a seguir apresentam os 16 trabalhos selecionados para leitura na íntegra, representando 9,1% do total de trabalhos recuperados.

IEEE

Dos 64 trabalhos recuperados na IEEE, somente 9 (nove) foram selecionados para a leitura na íntegra, os quais são listados a seguir:

1. *Evaluation of Quality Attribute Variability in Software Product Families* (Etxeberria e Sagardui, 2008a);
2. *Extending ATAM to Assess Product Line Architecture* (Kim et al., 2008b);
3. *InCoME: Integrated Cost Model for Product Line Engineering* (Nobrega et al., 2008);
4. *Variability Driven Quality Evaluation in Software Product Lines* (Etxeberria e Sagardui, 2008b);
5. *A Case Study on SW Product Line Architecture Evaluation: Experience in the Consumer Electronics Domain* (Kim et al., 2008a);
6. *Analyzing Structure-based Techniques for Test Coverage on a J2ME Software Product Line* (Silva e Soares, 2009);
7. *Specification-Based Testing for Software Product Lines* (Kahsai et al., 2008);
8. *Automated Test Data Generation on the Analyses of Feature Models: A Metamorphic Testing Approach* (Segura et al., 2010); e
9. *Using GQM for Testing Design Patterns in Real-Time and Embedded Systems on a Software Production Line* (Bernardo et al., 2009).

ACM - Digital Library

Dos 27 trabalhos recuperados na ACM - Digital Library, somente 1 (um) foi selecionado para a leitura na íntegra, listado a seguir:

1. *Gathering Current Knowledge About Quality Evaluation in Software Product Lines* (Montagud e Abrahão, 2009).

ACM - The Guide

Dos 58 trabalhos recuperados na ACM - The Guide, somente 1 (um) foi selecionado para a leitura na íntegra, o qual é listado a seguir:

1. *Variability Assessment in Software Product Families* (Deelstra et al., 2009).

SpringerLink

Dos 6 trabalhos recuperados na SpringerLink, 3 (três) foram selecionados para a leitura na íntegra, os quais são listados a seguir:

1. *A Case Study on Architectural Maturity Evaluation: Experience in the Consumer Electronics Domain* (Kim, 2008);
2. *An Organizational Maturity Model of Software Product Line Engineering* (Ahmed e Capretz, 2010b); e
3. *A Business Maturity Model of Software Product Line Engineering* (Ahmed e Capretz, 2010a).

Scirus (Elsevier)

Dos 20 trabalhos recuperados na Scirus, somente 2 (dois) foram selecionados, os quais são listados a seguir:

1. *Fuzzy Inference System for Software Product Family Process Evaluation* (Ahmed et al., 2008); e
2. *Software Performance Tuning of Software Product Family Architectures: Two Case Studies in the Real-Time Embedded Systems Domain* (Rosso, 2008).

2.2.4 Seleção Final dos Trabalhos

Após a completa leitura dos 16 trabalhos selecionados na etapa anterior foi possível avaliar a qualidade efetiva de cada um deles com relação às questões do estudo.

Assim, dos 16 trabalhos lidos na íntegra, nenhum foi rejeitado por não estar de acordo com as expectativas e os objetivos do estudo em questão.

Dessa forma, todos os 16 trabalhos foram considerados, sendo que a seção a seguir apresenta uma análise crítica dos resultados obtidos com a leitura na íntegra dos estudos.

Capítulo

3

Análise dos Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a condução da revisão sistemática, de acordo com os objetivos e questões de pesquisa propostos. Ressalta-se que a revisão teve como objetivo identificar os trabalhos que envolvem a avaliação de LP.

A leitura na íntegra dos 16 trabalhos, ao final selecionados, permitiu analisar o estado da arte no que diz respeito à avaliação de LP. Foram identificados vários métodos de avaliação, métricas de apoio à avaliação, bem como modelos econômicos e abordagens que contemplam LP como um todo.

A seguir é apresentado um panorama a respeito do estado da arte sobre o assunto em questão.

3.1 Panorama sobre Avaliação de LP

Com a leitura na íntegra dos trabalhos selecionados foi possível identificar um panorama sobre avaliação de LP. Esse panorama é apresentado na forma de um agrupamento dos estudos com relação aos seus objetivos, identificados, a princípio, como sendo:

- **Avaliação de Atributos de Qualidade de Arquiteturas de LP:** estudos que contemplam a avaliação de determinados atributos de qualidade de arquiteturas de

LP como, por exemplo: desempenho, manutenibilidade, estensibilidade, reusabilidade, confiabilidade, portabilidade e interoperabilidade;

- **Avaliação Estrutural de Arquiteturas de LP:** estudos que contemplam a avaliação de arquiteturas de acordo com a sua estrutura em termos de métricas para componentes, interfaces, assinaturas de métodos, utilização de serviços, entre outras;

- **Definição e Avaliação de Escopo de LP:** estudos que contemplam a análise de riscos e benefícios, adoção e melhoria do processo de LP, modelos econômicos e de estimativas, entre outros.

Montagud e Abrahão (2009) apresentam um revisão sistemática extremamente importante para este trabalho. Eles apontam os 39 estudos recuperados sobre avaliação de qualidade de LP dos últimos 10 anos. Desses 39 estudos, 23 foram recuperados ambos por esta revisão (2008-2010) e a revisão conduzida em 2007 por Oliveira Junior et al. (2007). Apesar da revisão sistemática conduzida por Montagud e Abrahão (2009) ser mais abrangente, inclusive no que diz respeito à *string* de busca, percebe-se que as revisões de 2007 e 2008-2010 foram planejadas e conduzidas de forma correta, sendo efetivas na busca pelos estudos. Assim, as revisões de 2007 e 2008-2010 podem contribuir para a realizada por Montagud e Abrahão (2009) e vice-versa.

A seguir é apresentada uma breve análise sobre os estudos classificados de acordo com o panorama apresentado.

3.1.1 Avaliação de Atributos de Qualidade de Arquiteturas de LP

A literatura sobre avaliação de atributos de qualidade de arquiteturas de LP contempla várias metodologias e técnicas que vão desde a utilização de **cenários**, passando pela aplicação do método **ATAM (*Architecture Tradeoff Analysis Method*)** até avaliações de ALP com base no **atributo de qualidade variabilidade**.

3.1.1.1 Avaliação Baseada em Cenários

Rosso (2008) utiliza cenários para realizar avaliações de desempenho e eficiência de gerenciamento de memória dinâmica da ALP de uma LP da Nokia. Dois estudos de caso são apresentados. Uma discussão a respeito de análises de *trade-off* entre desempenho e manutenibilidade em ALP também é apresentada. O autor apresenta também um método para o ajuste de desempenho para ALP baseado em cenários, sendo as suas principais etapas:

1. seleção dos cenários-chave de desempenho;
2. estabelecimento dos objetivos de desempenho e preparação de um plano de simulação;
3. executação das simulações e modelos de desempenho;
4. avaliação dos resultados da simulação e modelos de desempenho; e
5. realização de análises de *trade-off* para LP.

O primeiro estudo de caso concentrou-se no ajuste de desempenho do núcleo de artefatos e suas características mais importantes. O segundo concentrou-se na eficiência do gerenciamento de memória dinâmica e no impacto de características multimídia na ALP.

3.1.1.2 Avaliação Baseada no Método ATAM

Avaliações de ALP baseadas na extensão do método ATAM são fortemente baseados em cenários e casos de uso.

Kim et al. (2008b) apresentam o método EATAM (*Extended ATAM*) para avaliar ALP. O EATAM analisa os pontos de variação de atributos de qualidade usando modelagem de características, criando cenários de variabilidade para a derivação dos pontos de variação. Para isso, a tag PLUC (*Product Line Use Cases*) é utilizada. Assim, análises de *trade-off* são realizadas entre os cenários de variabilidade com relação à ALP. Os autores ainda identificam quatro atributos de qualidade essenciais para uma LP: modificabilidade, escalabilidae, portabilidade e extensibilidade. A Figura 3.1 ilustra o método EATAM e os principais atributos de qualidade avaliados.

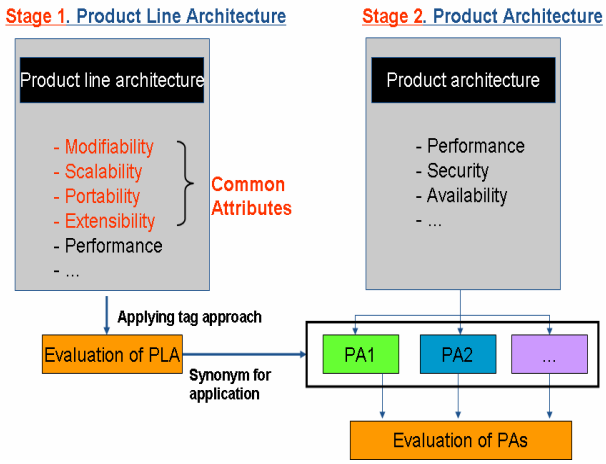

Figura 3.1: Método EATAM (Kim et al., 2008b).

3.1.1.3 Avaliação Baseada no Atributo de Qualidade Variabilidade

Deelstra et al. (2009); Etxeberria e Sagardui (2008a,b) apresentam avaliações de ALP com base em variabilidade, já que o gerenciamento de variabilidade é a chave para a evolução de uma LP em resposta às mudanças de mercado.

Deelstra et al. (2009) apresenta o método COSVAM (*COVAMOF Software Variability Assessment Method*) para a avaliação de variabilidade de LP. O processo de avaliação do COSVAM é composto pelas seguintes atividades:

1. identificar os objetivos da avaliação:
   (a) identificar o contexto;
   (b) definir as saídas da avaliação;
   (c) selecionar o escopo da avaliação;
   (d) identificar a equipe de avaliação; e
   (e) planejar a avaliação.
2. especificar as variabilidades fornecidas:
   (a) identificar e obter fontes de informações para as variabilidades fornecidas;
   (b) identificar pontos de variação;
   (c) unificar os pontos de variação;
   (d) identificar variantes; e
   (e) determinar realizações e dependências.
3. especificar as variabilidades requeridas:
   (a) identificar e obter fontes de informações para as variabilidades requeridas;
   (b) construir cenários de produtos; e
   (c) construir modelos.
4. avaliar as variabilidades:
   (a) identificar incompatibilidades diretas;
   (b) identificar incompatibilidades indiretas;
   (c) agrupar e priorizar incompatibilidades;
   (d) sugerir um conjunto de cenários de solução; e

(e) determinar o impacto dos cenários de solução.

5. interpretar os resultados da avaliação:

   (a) identificar metas de negócio e restrições;

   (b) identificar vantagens e desvantagens das diferentes soluções; e

   (c) selecionar soluções.

A Figura 3.2 apresenta a ilustração do método COSVAM.

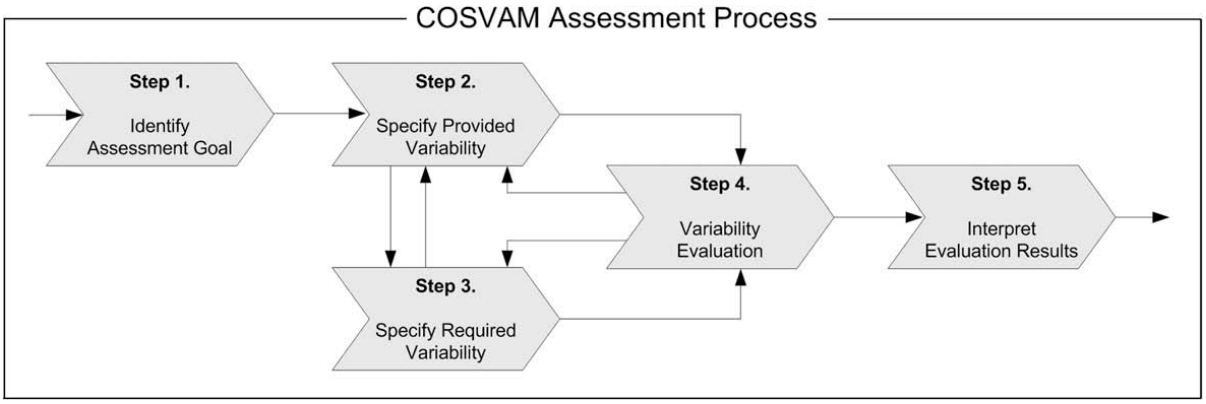

Figura 3.2: Método COSVAM (Deelstra et al., 2009).

Etxeberria e Sagardui (2008a) e Etxeberria e Sagardui (2008b) apresentam um método para facilitar a avaliação efetiva de qualidade de ALP com base em variabilidade. Os autores propõem a extensão da modelagem de carcaterísticas para permitir a avaliação segundo o método proposto (Figura 3.3), sendo suas principais fases:

1. modelagem de variabilidade;

2. detecção de interações e quantificação de impacto; e

3. definição dos níveis para derivação dos produtos.

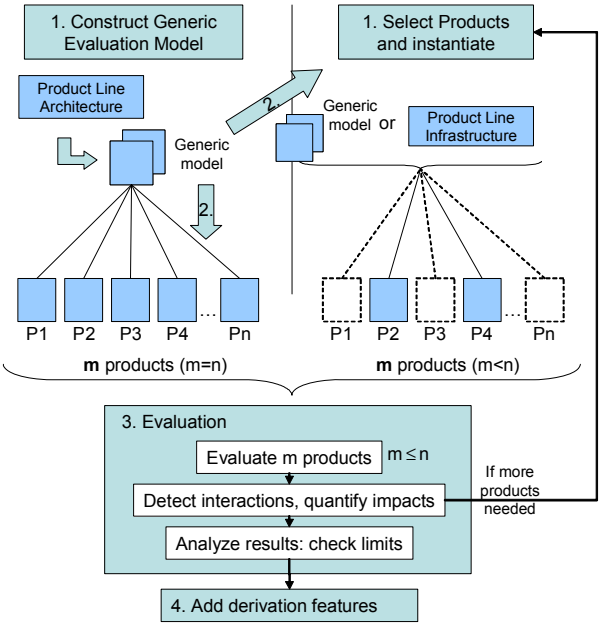

Figura 3.3: Processo de Avaliação de Qualidade (Etxeberria e Sagardui, 2008b).

Os autores ilustram o método com a avaliação da LP *Arcade Game Maker* do SEI.

3.1.2 Avaliação Estrutural de Arquiteturas LP

Alguns trabalhos concentram-se na avaliação estrutural de LP com base na verificação dos relacionamentos ente os seus principais componentes.

Kim (2008) e Kim et al. (2008a) mostram como analisar ALP e melhorar o processo de LP com resultados de experimentos. O estudo dos autores está baseado no projeto de atributos de qualidade e análise estática da implementação de uma ALP. A análise utiliza um modelo arquitetural de avaliação. Assim, o arcabouço FEF (*Families Evaluation Framework*) e o PuLSE (*ProdUct Line Software Engineering*) são estruturados em cinco níveis. Dessa forma, pode ser analisado o nível no qual uma ALP se encontra. O modelo de avaliação arquitetural é dividido em oito etapas:

1. elaborar o modelo de avaliação arquitetural propriamente dito;
2. especificar as similaridades e variabilidades;
3. especificar as camadas arquiteturais;
4. identificar os mecanismos de abstração;
5. especificar as interfaces padrões;

6. documentar a ALP;
7. classificar cada atributo de qualidade de acordo com uma escala; e
8. identificar as visões arquiteturais e aplicar métricas.

3.1.3 Definição e Avaliação de Escopo e Teste de LP

Ahmed e Capretz (2010a,b); Ahmed et al. (2008); Bernardo et al. (2009); Kahsai et al. (2008); Nobrega et al. (2008); Segura et al. (2010); Silva e Soares (2009) desenvolvem suas pesquisas com base na análise e definição de escopo e teste de LP, o que engloba: modelos econômicos e de estimativas, modelos de maturidade e teste de LP.

3.1.3.1 Modelos de Custos e Estimativas

Nobrega et al. (2008) apresentam um estudo que analisa os modelos de custo de LP mais efetivos apontando o conjunto de características que torna um modelo efetivo. Além disso, os autores apresentam um modelo de custo integrado (*InCoME - Integrated Cost Model for Product Lin Engineering*) para LP e os seus principais elementos. A Figura 3.4 ilustra o modelo em questão.

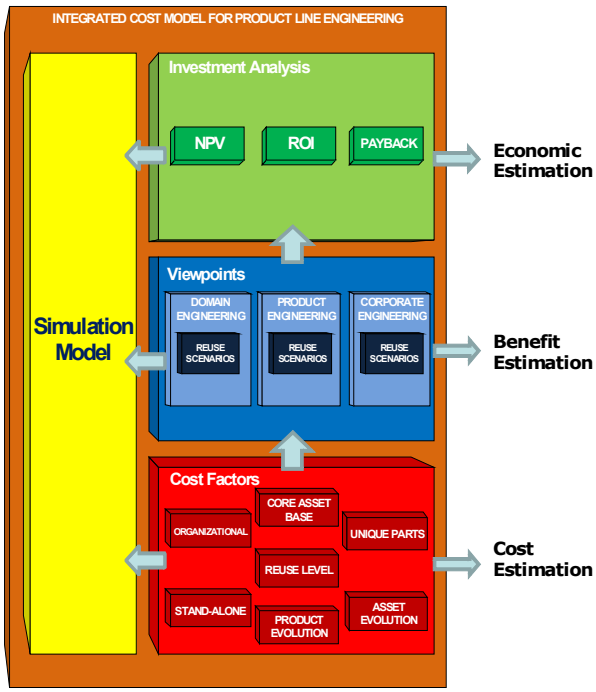

Figura 3.4: Modelo de Custos para LP InCoME (Nobrega et al., 2008).

O modelo é composto pelos seguintes elementos:

- fatores de custo (*cost factors*): encapsulam o conjunto de funções de custo (*cost functions*);
- camada de visão (*viewpoint layer*): composta por três visões, cada uma delas encapsula um conjunto de cenários de reuso (*reuse scenarios*); e
- camada de análise de investimento (*investment analysis layer*): possui um conjunto de funções econômicas (*economic functions*) e uma camada de simulação (*simulation layer*).

Os autores realizaram experimentos baseados em hipóteses aplicando o modelo à indústria. O método GQM (*Goal-Question-Metric*) foi aplicado para definir as métircas aplicadas no experimento.

3.1.3.2 Modelos de Maturidade para Processos de LP

Ahmed e Capretz (2010a,b); Ahmed et al. (2008) apresenta um modelo de maturidade organizacional para o desenvolvimento de LP visando avaliar a maturidade de uma organização. O modelo leva em consideração que as teorias, comportamento e gerenciamento são os pilares da institucionalização do processo de desenvolvimento de LP em uma organização. Questionários de avaliação e métodos de classificação fazem parte do modelo proposto. O objetivo dos questionários é coletar informações sobre o processo de LP sob a perspectiva de comportamento e de gerenciamento. Para validar tal modelo, os autores apresentam dois estudos de caso e os resultados obtidos.

A Figura 3.5 ilustra o modelo de maturidade organizacional proposto.

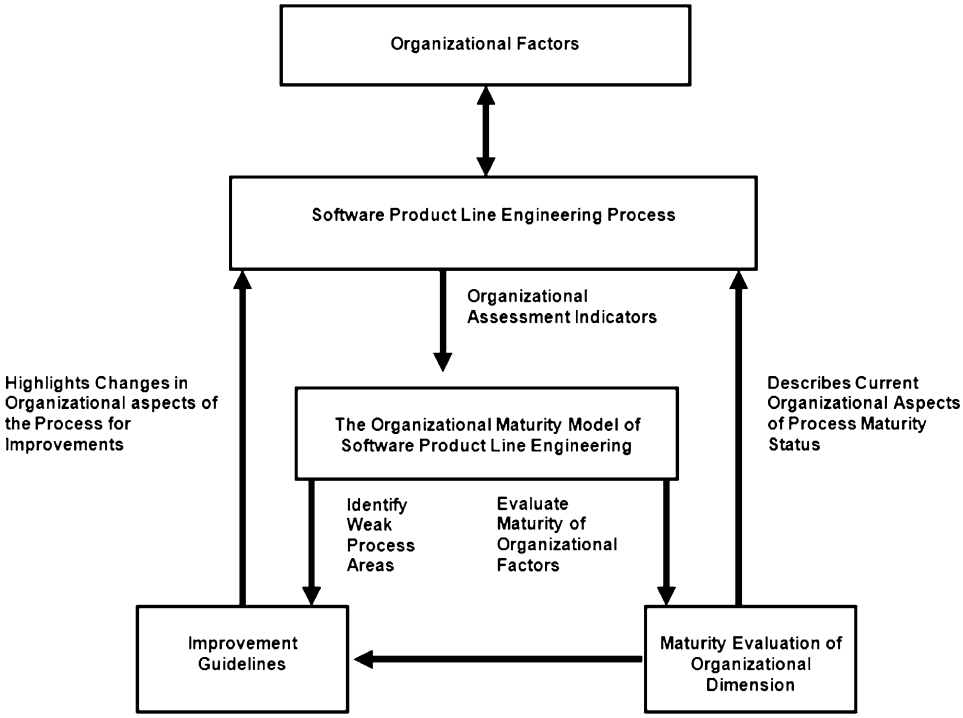

Figura 3.5: Modelo de Maturidade Organizacional para LP proposto por Ahmed e Capretz (2010b).

Nesse modelo, o processo de LP (*Software Product Line Engineering Process*) envolve a identificação de vários fatores organizacionais (*Organizational Factors*) provenientes do gerenciamento organizacional. Apesar de propor um modelo de maturidade, os autores não definem diretrizes para a melhoria do processo de LP.

3.1.3.3 Teste de LP

Bernardo et al. (2009) descreve uma metodologia chamada *Causal Analysis and Resolution* (CAR) com base no método GQM (*Goal-Question-Metric*). Para essa metodologia, indicadores são definidos com base nas métricas para o processo de tomada de decisão. O objetivo da metodologia é testar padrões de projeto em LP para sistemas de tempo real e embarcados. Um modelo de sistema de informação é criado para permitir a eliminação de defeitos, erros e falhas em um padrão de projeto chamado *IO Manager*, durante a fase de testes e antes de ser publicado em um repositório de componentes.

Segura et al. (2010) apresentam um conjunto de relações metamórficas entre modelos de características e os seus conjuntos de produtos e um gerador de dados de teste sobre tais produtos. Assim, vários modelos de características mais otimizados são propostos, diminuindo a complexidade dos produtos. O estudo foi avaliado utilizando teste de mu-

tantes, o que revelou que muitas falhas podem ser detectadas automaticamente em poucos segundos.

Kahsai et al. (2008) propõem uma forma de teste baseado em especificação para o desenvolvimento de LP. Com base em casos de teste com relação às especificações formais, os autores desenvolvem o conceito de melhoria, permitindo a reutilização dos casos de teste no desenvolvimento de sistemas. A abordagem é ilustrada com um exemplo de LP para unidades de controle remoto para produtos de consumo.

Silva e Soares (2009) apresentam uma análise de cobertura de código e avaliação das principais diferenças entre técnicas de fluxo e controle de dados, considerando o uso de uma ferramenta de teste e o reuso de ativos de teste em diferentes versões de uma LP.

Capítulo

4

Conclusão

A realização desta revisão sistemática permite fazer uma análise no sentido dos estudos coletados e dos números gerais sobre a revisão em sí, bem como uma análise acerca do estado da arte sobre avaliação de LP compreendendo o período de Janeiro de 2008 até Julho de 2010.

Uma revisão sistemática sobre o mesmo tema já havia sido realizada, sendo os trabalhos recuperados até Dezembro de 2007 (Oliveira Junior et al., 2007). A revisão sistemática, iteração até 2007, recuperou um total de 299 estudos, sendo que somente 42 foram selecionados. Destes 42 estudos lidos na íntegra, somente 33 foram considerados na análise final dos resultados, ou seja, cerca de 10% do total de estudos encontrados.

Para ambas as revisões sistemáticas (iterações 2007 e 2008-2010) foi utilizada a ferramenta *SysReview* (Oliveira Junior et al., 2007). A ferramenta mostrou-se bastante eficiente com relação ao seu propósito, permitindo maior e melhor controle automatizado dos estudos recuperados, além de gerar vários gráficos que contribuem para a análise e visualização dos dados de uma revisão.

A presente revisão sistemática recuperou um total de 175 estudos, sendo que somente 16 foram selecionados, ou seja, cerca de 9% do total de estudos encontrados.

Com relação aos resultados desta revisão sistemática, várias conclusões podem ser feitas. Com os estudos coletados foi possível fazer uma classificação considerando a forma como as avaliações de LP são realizadas e o objetivo de cada uma delas. Com certeza

a maioria dos trabalhos considera a avaliação de arquiteturas de LP, o que é intuitivo, uma vez que este é o artefato mais importante de uma LP. Vários fatores devem ser considerados durante uma avaliação de LP como, por exemplo, o momento em que a avaliação é realizada, bem como as técnicas utilizadas para tal.

Grande parte dos trabalhos enfatiza a avaliação de atributos de qualidade de arquiteturas de LP. Para isso, vários métodos e abordagens são utilizadas como, por exemplo, cenários, o método ATAM, entre outras. Outra parte considerável de trabalhos preocupa-se em usar técnicas para definir e avaliar escopo, modelos de maturidade e teste de LP, bem como definir modelos de custos e estimativas. Por último e com um menor número de estudos encontrados está a parte que considera a avaliação estrutural de LPs com base na utilização de métricas para a medição de componentes, interfaces e a correlação dessas métricas com atributos de qualidade.

Um ponto importante que se pode perceber é a carência de uma abordagem de avaliação de LP que considere modelos UML, bem como as variabilidades modeladas para uma LP. Espera-se que a partir das variabilidades modeladas seja possível estimar esforços para incorporar e/ou remover características de uma LP com base em métricas já existentes e propostas pelos autores deste trabalho. Pode-se concluir que os estudos recuperados nesta revisão sistemática em conjunto com os estudos recuperados na revisão sistemática de 2007 fornecem bons indícios e mostram os caminhos para avaliar LPs sob vários aspectos distintos e complementares, porém não contemplam a abordagem desejada pelos autores.

Referências

ACM Association for Computing Machinery. online, 2010.
Disponível em http://www.acm.org (Acessado em 05/07/2010)

Ahmed, F.; Capretz, L. A Business Maturity Model of Software Product Line Engineering. *Information Systems Frontiers*, 2010a.
Disponível em http://dx.doi.org/10.1007/s10796-010-9230-8

Ahmed, F.; Capretz, L. F. An Organizational Maturity Model of Software Product Line Engineering. *Software Quality Control*, v. 18, n. 2, p. 195–225, 2010b.

Ahmed, F.; Capretz, L. F.; Samarabandu, J. Fuzzy Inference System for Software Product Family Process Evaluation. *Information and Science*, v. 178, n. 13, p. 2780–2793, 2008.

Bernardo, C.; Fernandes, D.; Dias, L.; Montini, D.; da Silva, D.; da Cunha, A. Using GQM for Testing Design Patterns in Real-Time and Embedded Systems on a Software Production Line. In: *Sixth International Conference on Information Technology: New Generations*, 2009, p. 1397–1404.

Biolchini, J.; Mian, P. G.; Natali, A. C. C.; Travassos, G. H. *Systematic Review in Software Engineering*. Technical Report RT-ES 679/05, PESC - COPPE/UFRJ, 2005.

Deelstra, S.; Sinnema, M.; Bosch, J. Variability Assessment in Software Product Families. *Information and Software Technology*, v. 51, n. 1, p. 195–218, 2009.

Etxeberria, L.; Sagardui, G. Evaluation of Quality Attribute Variability in Software Product Families. In: *Proceedings of the Annual IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems*, 2008a, p. 255–264.

Etxeberria, L.; Sagardui, G. Variability Driven Quality Evaluation in Software Product Lines. In: *Proceedings of the Software Product Line Conference*, 2008b, p. 243–252.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers. online, 2010. Disponível em `http://www.ieee.org` (Acessado em 01/06/2010)

Kahsai, T.; Roggenbach, M.; Schlingloff, B. Specification-Based Testing for Software Product Lines. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Formal Methods*, 2008, p. 149–158.

Kim, K. A Case Study on Architectural Maturity Evaluation: Experience in the Consumer Electronics Domain. In: *Proceedings of the OTM Confederated International Workshops and Posters on On the Move to Meaningful Internet Systems*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, p. 364–373.

Kim, K.; Kim, H.; Kim, S.; Chang, G. A Case Study on SW Product Line Architecture Evaluation: Experience in the Consumer Electronics Domain. In: *Proceedings of the International Conference on Software Engineering Advances*, 2008a, p. 192–197.

Kim, T.; Ko, I. Y.; Kang, S. W.; Lee, D. H. Extending ATAM to Assess Product Line Architecture. In: *Proccedings of the IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, 2008b, p. 790–797.

Kitchenham, B. A. *Procedures for Performing Systematic Reviews.* Joint Technical Report TR/SE-0401, Software Engineering Group - Keele University - United Kingdom and Empirical Software Engineering, International ICT Australia Ltd., 2004.

Kitchenham, B. A.; Dybå, T.; Jørgensen, M. Evidence-based Software Engineering. In: *Proceedings of the International Conference on Software Engineering*, Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004.

Montagud, S.; Abrahão, S. Gathering Current Knowledge About Quality Evaluation in Software Product Lines. In: *Proceedings of the International Software Product Line Conference*, Pittsburgh, PA, USA: Carnegie Mellon University, 2009, p. 91–100.

Nobrega, J.; Almeida, E.; Meira, S. InCoME: Integrated Cost Model for Product Line Engineering. In: *Proceedings of the Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications*, 2008, p. 27–34.

Oliveira Junior, E. A.; Maldonado, J. C.; Gimenes, I. M. S. *Uma Revisão Sistemática sobre Avaliação de Linha de Produto de Software.* Relatório Técnico No. 310, Instituto

de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) - Universidade de São Paulo (USP), 2007.
Disponível em http://www.icmc.usp.br/~biblio/BIBLIOTECA/rel_tec/RT_310.pdf (Acessado em 01/07/2010)

Rosso, C. D. Software Performance Tuning of Software Product Family Architectures: Two Case Studies in the Real-Time Embedded Systems Domain. *Journal of Systems and Software*, v. 81, n. 1, p. 1–19, 2008.

Scirus Scirus for Scientific Information Only. online, 2010.
Disponível em http://www.scirus.com (Acessado em 05/07/2010)

Segura, S.; Hierons, R. M.; Benavides, D.; Ruiz-Corté ands, A. Automated Test Data Generation on the Analyses of Feature Models: A Metamorphic Testing Approach. In: *Proceedings of the International Conference on Software Testing, Verification and Validation*, 2010, p. 35–44.

SEI Software Engineering Institute - A Framework for Software Product Line - Version 5.0. online, 2010.
Disponível em http://www.sei.cmu.edu/productlines/framework.html (Acessado em 05/07/2010)

Silva, L.; Soares, S. Analyzing Structure-based Techniques for Test Coverage on a J2ME Software Product Line. In: *Proceedings of the Latin American Test Workshop*, 2009, p. 1–6.

SpringerLink SpringerLink. online, 2010.
Disponível em http://www.springerlink.com (Acessado em 05/07/2010)