

A Systematic Review of Contemporary Metrics for Software Maintainability

Ramon Abílio, Pedro Teles, Heitor Costa

Departamento de Ciência da Computação (DCC)
Universidade Federal de Lavras (UFLA)
{ramon, ppromanelli}@posgrad.ufla.br, heitor@dcc.ufla.br

Eduardo Figueiredo

Departamento de Ciência da Computação (DCC)
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
figueiredo@dcc.ufmg.br

Abstract — Previous studies have been conducted with the aim of increasing the system quality. As a result, some contemporary technologies have been proposed for software development to improve maintainability, such as feature-oriented and aspect-oriented programming. Metrics are used to quantify the quality of systems developed in these technologies. Recently, contemporary metrics have been proposed or adapted from existing ones to evaluate specific issues of these contemporary technologies. This paper presents results of applying a systematic literature review to identify contemporary metrics associated with software maintainability and proposed for the feature-oriented and aspect-oriented technologies. Initially, we identify 672 published works and, after the primary selection, these quantity was reduced to 11 papers. These papers account for 33 and 78 contemporary metrics for feature-oriented and aspect-oriented technologies, respectively. The main contributions of this paper are (i) the list of metrics and measurable properties studies for feature-oriented and aspect-oriented programming, (ii) elaboration of a unified catalog of metrics applicable for both technologies, and (iii) identification of their main references.

Keyword — *metrics, orientation features, orientation aspects, maintainability, software quality*

I. INTRODUÇÃO

Algumas tecnologias recentes, como programação orientada a aspectos [1] e programação orientada a características [2], vêm sendo adotadas no desenvolvimento de sistemas com o objetivo de maximizar a modularização e a qualidade interna desses sistemas. Tais tecnologias são investigadas no contexto de Linha de Produtos de Software (*Software Product Line* - SPL). Uma SPL é definida como um conjunto de sistemas que compartilham artefatos de código em comum e são gerenciados para atender a uma demanda específica de mercado ou de um cliente [3][4].

Os sistemas derivados de uma SPL são diferenciados por suas características (*features*) - itens visíveis e distinguíveis pelo usuário ou propriedades de um sistema [5]. Elas também podem ser entendidas como um conjunto ou módulo coerente de funções de uma aplicação independente e combinável [6]. O objetivo da implementação de uma SPL é desenvolver sistemas similares pela reutilização sistemática de artefatos eficientemente, com rapidez, qualidade e com baixo custo [3][4]. A melhora da qualidade dos produtos resultantes é alcançada, pois essa reutilização em diferentes sistemas aumenta a chance de detectar falhas e corrigi-las [3].

A reutilização de artefatos é viável em decorrência da modularização, que consiste no agrupamento de funções similares no mesmo componente, sendo importante fator de qualidade por facilitar a evolução do sistema [3]. A modularização de características e a posterior integração ao sistema base (núcleo comum) podem afetar atributos de qualidade interna do sistema, tais como, legibilidade, confiabilidade e manutenibilidade. Portanto, é necessário medir o impacto da integração de características ao sistema base para ter controle sobre a variação da qualidade interna do sistema ao adicionar ou retirar características [7]. Esta medição pode ser realizada utilizando métricas de produto [7][8].

Métricas de produto, foco deste estudo, podem ser aplicadas a sistemas desenvolvidos em diversas tecnologias. Por exemplo, há métricas associadas à tecnologia de orientação a objeto [8], métricas para avaliação da qualidade interna de sistemas definidas na norma ISO/IEC 9126 [9] e métricas relacionadas a interesses (*concerns*) [10]-[20]. Algumas dessas métricas podem ser utilizadas para estimar a qualidade de manutenibilidade de um sistema. A manutenibilidade consiste do sistema ter atributos que evidenciam o esforço necessário para realizar sua manutenção e a facilidade que ele tem de ser modificado [9]. Em geral, modificações consistem em correções, melhorias ou adaptações do sistema em decorrência de mudanças ambientais e nos seus requisitos ou especificações funcionais.

Várias métricas têm sido propostas ou adaptadas a partir de métricas existentes em outras tecnologias para permitir a mensuração de atributos de sistemas desenvolvidos utilizando tecnologias de orientação a características e aspectos. Neste trabalho, o objetivo é pesquisar evidências em estudos acerca da definição ou utilização de *métricas contemporâneas* relacionadas à manutenibilidade de sistemas. As métricas contemporâneas têm se mostrado úteis para apoiar atividades de manutenção de software, sendo utilizadas em visualizações para detecção de anomalias de software [21]. Neste trabalho, métricas contemporâneas são aquelas voltadas para programação orientação a características e/ou aspectos. Para alcançar esse objetivo, a técnica de pesquisa utilizada foi a Revisão Sistemática de Literatura ou, simplesmente, Revisão Sistemática. A Revisão Sistemática é amplamente utilizada em pesquisa na área de Medicina e vem sendo empregada em diversas áreas da Computação, por exemplo, na Engenharia de Software. Com a Revisão Sistemática, pode-se identificar, avaliar e interpretar pesquisas disponíveis relevantes para uma questão de pesquisa específica, área temática ou fenômeno de interesse [21].

O restante do artigo está organizado da seguinte forma. Alguns trabalhos relacionados são resumidamente apresentados na Seção II. A técnica Revisão Sistemática é brevemente explicada na Seção III. Os procedimentos de execução do protocolo e os resultados da seleção dos estudos primários são mostrados na Seção IV. O resultado da extração de dados é analisado na Seção V. Conclusões, contribuições e sugestões de trabalhos futuros são discutidas na Seção VI.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura, dois trabalhos com temas relacionados a este e que utilizaram a técnica Revisão Sistemática foram encontrados. Em um deles [12], a técnica foi empregada para identificar a utilização de métricas de acoplamento em estudos sobre manutenibilidade de sistemas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a aspectos. Nesse trabalho, foi concluído que (i) há necessidade de métricas mais finas que considerem características específicas dessa tecnologia, (ii) estudos sobre manutenibilidade desses sistemas se concentram em métricas estáticas de acoplamento e (iii) métricas dinâmicas de acoplamento não são utilizadas em programas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a aspectos. Essa última conclusão causa "surpresa", pois mecanismos de composição da tecnologia em análise são baseados na semântica comportamental do sistema. Nesse trabalho, foram identificadas 27 métricas de acoplamento. Ao final, como resultado da aplicação da técnica Revisão Sistemática, foram analisados 22 trabalhos.

Em outro trabalho [13], a técnica Revisão Sistemática foi empregada em estudos empíricos de desenvolvimento de sistemas utilizando a tecnologia de orientação a aspectos. Nesse trabalho, o objetivo foi encontrar evidências que deem suporte às afirmações a favor ou contra essa tecnologia comparado com as demais. Foi relatado que a maioria dos estudos reportam benefícios e limitações do desenvolvimento orientado a características. Apesar de não constar nos objetivos, uma tabela com 39 métricas relacionadas à manutenibilidade de sistemas foi apresentada. Ao final, como resultado da aplicação da técnica Revisão Sistemática, foram analisados 12 trabalhos.

Além desses trabalhos, há trabalhos que utilizam métricas contemporâneas para construir mecanismos de visualização de software [21] (e.g., métricas de espalhamento e entrelaçamento de interesse). Tais trabalhos foram filtrados na seleção primária pois não abordam especificamente métricas.

Este trabalho se diferencia dos anteriores por relacionar métricas associadas a características e a interesses como objetivo principal e não limita a propriedade (atributo) a qual elas estão relacionadas.

III. REVISÃO SISTEMÁTICA

Com o resultado obtido por meio da utilização da técnica Revisão Sistemática, pode-se avaliar e interpretar trabalhos relevantes e disponíveis na literatura (em repositórios virtuais - *online*) para uma questão particular de pesquisa, uma área temática ou um fenômeno de interesse [23]. Essa técnica é um componente das práticas baseadas em evidências [24] e faz

parte do que se chama de estudos secundários em uma pesquisa sistemática. Os estudos secundários dependem de estudos primários, os quais são estudos observacionais/experimentais que se relacionam diretamente com a questão de pesquisa a ser respondida [21].

Ao empregar a técnica Revisão Sistemática, a pesquisa, a seleção, a análise e a organização de documentos são facilitadas por causa dos passos e dos critérios pré-definidos [23]. Com isso, consegue-se ter organização da aplicação da técnica, sendo possível encontrar conteúdo relevante sobre um tópico pesquisado em um repositório com grande quantidade de informações. O ponto de partida para aplicação da técnica consiste em identificar, formular e responder as questões de pesquisa, após a obtenção e a análise dos dados [21].

A. Fases de Condução de uma Revisão Sistemática

A condução de uma Revisão Sistemática está baseada em três fases ilustradas na Figura 1 [23][24]: *Planejamento*, *Execução* e *Análise dos Resultados*. Na *Fase Planejamento*, o motivo da realização da Revisão Sistemática é estabelecido. Seus tópicos são: i) *Descrição da pesquisa*: motivações e objetivos para a pesquisa são apresentados; ii) *Definição de Questões de Pesquisa*: questões relacionadas às motivações da pesquisa que se pretende encontrar nos resultados são elaboradas; iii) *Desenvolvimento do Protocolo*: protocolo a ser aplicado às buscas é desenvolvido, definindo outros critérios de seleção, tais como, fontes de busca e quantidade de *strings* de busca a ser aplicada nas fontes; e iv) *Avaliação do Protocolo*: avaliação da aplicação da Revisão Sistemática é realizada, com a opinião de outros pesquisadores sobre os dados obtidos.

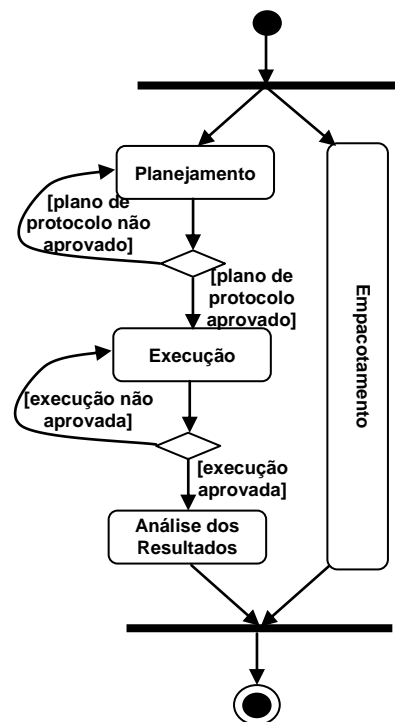


Figure 1. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA (ADAPTADA DE [25])

Na *Fase Execução*, a investigação em fontes definidas na fase anterior é realizada. Com isso, o estudo e a classificação dos trabalhos encontrados podem ser feitos, guiados pelos critérios de inclusão e exclusão. Seus tópicos são: i) *Obtenção das pesquisas*: a busca nas fontes definidas é executada, organizando os resultados por algum critério para facilitar as próximas etapas; ii) *Seleção Primária*: a primeira seleção dos resultados obtidos é realizada, quando Título (*Title*), Palavras-chave (*Keywords*) e Resumo (*Abstract*) dos trabalhos são lidos para verificar o atendimento dos critérios de inclusão e exclusão; iii) *Seleção Secundária*: a segunda seleção é realizada, cujo objetivo é eliminar resultados não apropriados. Os artigos são lidos e verificados quanto ao atendimento dos critérios de inclusão e exclusão, tendo como resultado os trabalhos selecionados; e iv) *Organização dos Resultados*: artigos selecionados são organizados de alguma forma expositiva para serem analisados.

Na *Fase Análise dos Resultados*, a coleta e a organização dos dados extraídos dos artigos selecionados são realizadas. O resultado é analisado de maneira global, gerando melhor planejamento, caso necessário. Seus tópicos são: i) *Coleta e Organização dos Dados*: resultados obtidos na seleção secundária são lidos e interpretados. Os dados são extraídos e organizados em forma de um relatório, cujo conteúdo responde as questões de pesquisa definidas no protocolo; e ii) *Avaliação dos Resultados*: o relatório da etapa anterior passa por um processo de revisão, cujo objetivo é buscar a publicação dos resultados.

As fases da Revisão Sistemática parecem ser sequenciais, mas existem iterações em cada uma delas. Por exemplo, algumas atividades são iniciadas durante o desenvolvimento do protocolo e são refinadas quando executada. Um guia [21], um *template* e um protocolo [26] foram propostos para facilitar o planejamento e a execução de Revisões Sistemáticas na Engenharia de Software.

B. Template

O *template* é formado basicamente por cinco seções [26]:

- *Formulação da Questão*. O foco de interesse é definido, por exemplo, os objetivos da pesquisa;
- *Seleção das Fontes*. As fontes (repositórios de trabalhos científicos), nas quais serão executadas as pesquisas pelos estudos primários, são definidas;
- *Seleção dos Estudos*. Os critérios para seleção e a avaliação dos trabalhos são definidos;
- *Extração de Informação*. Os critérios de extração são definidos e a interpretação dos resultados é descrita utilizando o resultado dos estudos primários;
- *Sumarização dos Resultados*. Os dados resultantes dos trabalhos selecionados são apresentados.

C. Protocolo

O protocolo é utilizado para guiar a execução da técnica Revisão Sistemática [26]. Nesse protocolo, os tópicos sobre os objetivos da pesquisa e os critérios a serem seguidos na

avaliação dos estudos são descritos. A montagem do protocolo é realizada na *Fase Planejamento* e, para ser executada com eficiência, deve-se ter conhecimento básico a respeito do assunto em questão. Dessa forma, trabalhos relevantes para a pesquisa são selecionados. Os tópicos para elaboração do protocolo são:

- *Objetivos*. Define-se o que se pretende obter dos resultados parciais e final da aplicação da técnica;
- *Questão de Pesquisa*. Definem-se as perguntas a serem respondidas com a utilização da técnica;
- *Palavras-Chave*. Definem-se as palavras-chave, inerentes à questão formulada, e seus sinônimos;
- *Strings de Busca*. Elabora-se uma *string* a ser utilizada para encontrar trabalhos nas fontes selecionadas. Nessa elaboração, são utilizadas palavras-chave em alguma ordem pré-estabelecida separadas por vírgulas, pontos-e-vírgulas ou operadores lógicos (por exemplo, AND e OR);
- *Método de Busca de Fontes*. Definem-se como e onde serão encontrados os trabalhos;
- *Listagem de Fontes*. Definem-se os locais onde a busca será realizada;
- *Tipos de Artigos*. Define-se o tipo dos estudos que se busca nos trabalhos;
- *Idioma dos Artigos*. Define-se o idioma utilizado na escrita dos trabalhos;
- *Crerios de Inclusão e Exclusão dos Artigos*. Definem-se as frases como critérios para o descarte de trabalhos, caso eles não atendam.

IV. APLICAÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

O *template* e o protocolo foram utilizados nas três fases da técnica Revisão Sistemática. Os resultados são apresentados nas próximas seções.

A. Formulação da Questão

O objetivo principal desta Revisão Sistemática é observar alguma evidência em estudos acerca da definição e/ou utilização de métricas contemporâneas de manutenibilidade para verificar a qualidade interna de sistemas. Para isso, duas questões foram formuladas:

Q1: *Quais são as métricas de manutenibilidade para verificação da qualidade interna de sistemas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a características?*

Q2: *Quais são as métricas relacionadas à manutenibilidade, como são aplicadas, quais são seus valores de referência e como se relacionam quando são aplicadas a sistemas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a aspectos (interesses)?*

O protocolo prevê a elaboração de uma *string* de busca formada por palavras-chave e seus sinônimos, os quais foram obtidos a partir das questões de pesquisa e dos seguintes itens:

- *População*. Artigos científicos que apresentam métricas contemporâneas relacionadas à manutenibilidade de sistemas desenvolvidos com as tecnologias de orientação a características e/ou orientação a aspectos (interesses);
- *Intervenção*. Métricas contemporâneas relacionadas à manutenibilidade de sistemas;
- *Efeito*. Conjunto de métricas contemporâneas para avaliação da manutenibilidade de sistemas desenvolvido com a tecnologia de orientação a características. Além disso, esse conjunto inclui a identificação e a classificação dessas métricas relacionadas à manutenibilidade de sistemas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a aspectos (interesses).

Em reuniões, a equipe deste trabalho definiu o idioma Inglês por acreditar que a maioria dos trabalhos relevantes tenham sido publicados nesse idioma. Além disso, as seguintes palavras-chave e respectivos sinônimos foram definidos:

- Software - application, system, program, product, “software product”, “software system”;
- Metric - metrics, measure, measurement;
- Reference value - “reference values”;
- Quality - “internal quality”;
- Feature Oriented - “feature-oriented”;
- Aspect Oriented - “aspect-oriented”;
- Product line - “product family”, “product-family”, “family based”, “family-based”;
- Modularization - modularity, modularisation;
- Maintenance - maintainability;
- Concern - aspect;
- Crosscutting - “cross-cutting”.

B. Seleção das Fontes

O método de busca utilizado foi baseado em máquinas de busca Web, nos campos (metadata e texto completo) disponibilizados por suas ferramentas de busca. Para ser selecionada, a fonte de busca deveria prover uma máquina de busca *online* com opções para (i) pesquisa avançada com utilização de palavras-chave, (ii) filtragem dos resultados por ano de publicação e área e/ou tipo de publicação e (iii) exportação do resultado da consulta em formato BibTeX ou Endnote. Estas máquinas deveriam apresentar invariabilidade no resultado da busca quando utilizado o mesmo conjunto de palavras-chaves. A partir destas condições, foram escolhidos os seguintes repositórios de trabalhos científicos: i) IEEE - <http://ieeexplore.ieee.org/>; ii) Scopus - <http://www.scopus.com>; e iii) Elsevier ScienceDirect - <http://www.sciencedirect.com>.

A ACM Digital Library foi inicialmente selecionada, mas apresentou navegabilidade insatisfatória, além de não disponibilizar opção de exportação do resultado da consulta. Sua máquina de busca disponibiliza opção de exportação por resultado, mas falha em não exportar alguns resumos (*Abstracts*), exportando arquivos vazios. Por isso, ela foi excluída das fontes selecionadas. Em um estudo realizado sobre as máquinas de busca [27], constatou-se que resultados fornecidos pela máquina de busca da ACM são inconsistentes em algumas situações. Para a realização das buscas, foi utilizada a seguinte *string* de busca construída a partir das palavras-chaves, dos sinônimos e das restrições das máquinas busca:

```
(software OR application OR system OR
program OR product OR "software product"
OR "software system") AND (metric OR
metrics OR measure OR measurement) AND
(quality OR "internal quality") AND
(modularization OR modularisation OR
modularity) AND (maintenance OR
maintainability) AND (("feature oriented"
OR "feature-oriented" OR "product line" OR
"product family" OR "family based" OR
"product-family" OR "family-based") OR
(("reference value" OR "reference values")
AND ("aspect oriented" OR "aspect-
oriented") AND (concern OR aspect) AND
(crosscutting OR "cross-cutting"))
```

C. Seleção dos Estudos

Nos critérios de inclusão, foram considerado artigos completos publicados (i) em *Journals* ou em *Conference Proceedings* da área de Ciência da Computação, por ser a área de aplicação dos resultados, (ii) a partir de 1990 (inclusive) e (iii) em formato eletrônico que apresentam métricas contemporâneas relacionadas à manutenibilidade de sistemas. Nos critérios de exclusão, foram considerados trabalhos (i) que possuíam textos incompletos, (ii) com acesso restrito ao texto, (iii) que não são artigos (por exemplo, normas e *table of contents*) e (iv) não respeitam os critérios de inclusão.

Quatro pesquisadores (Pesquisador A, Pesquisador B, Pesquisador C e Pesquisador D) foram envolvidos na seleção dos estudos primários e seguiram o seguinte procedimento:

1. O Pesquisador A executou a *string* de busca nas fontes selecionadas e documentou os resultados no software JabRef (versão 2.7.2) - <http://jabref.sourceforge.net/>;
2. O Pesquisador A verificou e excluiu os trabalhos que não eram artigos e os repetidos (com título, autores e resumo iguais). Na identificação de trabalhos repetidos, os trabalhos mantidos foram aqueles com palavras-chave que melhor descreviam o trabalho;
3. Os trabalhos encontrados foram avaliados pelo Pesquisador A e pelo Pesquisador B, de maneira individual e separada, quanto ao atendimento aos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos. Essa avaliação foi realizada por meio da leitura do título, do resumo e das palavras-chave. Os trabalhos, cujas avaliações causaram dúvidas quanto a sua inclusão/exclusão por parte dos pesquisadores, foram incluídos;

4. Os trabalhos foram documentados em uma lista de trabalhos incluídos e excluídos com justificativa para sua inclusão ou exclusão;
5. Realizou-se a interseção entre os trabalhos selecionados pelo Pesquisador A e pelo Pesquisador B, sendo esses trabalhos documentados (Interseção 1). Na ocorrência de algum desacordo sobre a inclusão ou exclusão de trabalhos, os dois pesquisadores discutiram e resolveram. Em casos que não houve consenso, o trabalho foi incluído. Os trabalhos excluídos foram documentados em uma lista de trabalhos excluídos com justificativa para sua exclusão;
6. O Pesquisador C avaliou os trabalhos resultantes da *string* de busca considerando o título, o resumo e as palavras-chave;
7. O Pesquisador C realizou a interseção entre os trabalhos selecionados por ele e os trabalhos presentes na Interseção 1. Juntamente com o Pesquisador A e o Pesquisador B, as discordâncias foram resolvidas (Interseção 2);
8. O Pesquisador D avaliou os trabalhos presentes na Interseção 2, juntamente com o Pesquisador C, resolvendo discordância. O resultado foi o conjunto de trabalhos resultantes da Revisão Sistemática.

Os resultados da execução dos procedimentos são apresentados na Tabela I. Cabe ressaltar que a *string* de busca utilizada, apresentada anteriormente, foi a mesma nos três repositórios de trabalhos científicos, sendo que as restrições nas pesquisas são detalhadas a seguir. A quantidade total obtida foi de 672 trabalhos e estão distribuídos nos repositórios de trabalhos científicos da seguinte forma: i) 89 trabalhos no IEEE Xplore (13,3%); ii) 44 trabalhos no Scopus (6,5%); e iii) 539 trabalhos no Elsevier (80,2%).

TABELA I. RESULTADO DA SELEÇÃO DOS ESTUDOS PRIMÁRIOS

Fontes	Busca	Seleção Primária			
		Não são Artigos	Repetidos	Excluídos	Incluídos
IEEE Xplore	89	15	4	69	1
Scopus	44	0	1	35	8
Elsevier	539	5	11	521	2
Total	672	20	16	625	11

A máquina de busca do IEEE Xplore retornou o total de 89 trabalhos (13,2% dos 672 trabalhos), sendo 15 trabalhos do tipo *Table of Contents*, *Index* e *Standards* (16,9%), 4 trabalhos repetidos (4,5%) e 69 trabalhos irrelevantes (77,5%). Ao final, o resultado foi de apenas 1 trabalho relevante (1,1%). Essa máquina de busca possui filtro por tipo de publicação (*Conference Publications*, *Journals & Magazines* e *Standards*), ano de publicação e tópicos, mas não possibilita a seleção das opções simultaneamente. Para contornar esta limitação, foi incluída a condição AND ("Topics":computing) no final da *string* de busca, com o objetivo de limitar a busca aos trabalhos relacionados à computação, e o filtro de ano foi selecionado com valores "1990" e "2012" (ambos inclusive). A seleção do tipo de publicação foi feita manualmente após a consulta.

A máquina de busca do Scopus retornou o total de 44 trabalhos (6,6% dos 672 trabalhos), sendo 1 trabalho repetido (2,3%), 35 trabalhos irrelevantes (79,5%) e 8 trabalhos relevantes (18,2%). O filtro *Year* não foi utilizado, pois os resultados encontrados possuíam ano de publicação igual ou superior a 2004. Porém, os filtros *Subject Area* (com valor "Computer Science"), *Document Type* (com valores "Conference Paper" e "Articles") e *Source Type* (com valores "Conference Proceedings" e "Journals") foram utilizados.

A maior quantidade de resultados foi obtida pela máquina de busca da Elsevier com total de 539 trabalhos (80,2% dos 672 trabalhos), sendo 5 trabalhos sobre material de divulgação, coleção de referências bibliográficas, partes de teses de doutorado, sem resumo ou outra informação que permitisse a classificação do material (0,9%), 11 trabalhos repetidos (2%) e 521 trabalhos irrelevantes (96,7%). Ao final, o resultado foi de 2 trabalhos relevantes (0,4%). A busca no Elsevier foi realizada na opção *Expert Search*, selecionando-se a opção *Journals*. Foram utilizados os filtros *Sources* (com valor "All Journals"), *Subject* (com valor "Computer Science"), *Limit by document type* (com valores "Articles", "Review Article" e "Short Survey") e *Date Range* (com período de "1990 a 2012", inclusive).

Foram excluídos 16 artigos repetidos (2,4% dos 672 trabalhos), sendo 4 trabalhos no IEEE Xplore (25%), 1 trabalho no Scopus (6,2%) e 11 trabalhos na Elsevier (68,8%); essas porcentagens consideram o total de artigos repetidos. Os 11 trabalhos selecionados (1,6% dos 672 trabalhos) como estudos primários são apresentados na Tabela II. Cabe ressaltar que, nessa tabela, há duas colunas ("Divulgação" e "Estr.") que correspondem à forma de divulgação do trabalho e ao estrato do QUALIS/CAPES, respectivamente.

TABELA II. ARTIGOS SELECIONADOS NA SELEÇÃO PRIMÁRIA

Ano	Título	Fonte	Ref.	Divulgação	Estr.
2008	Architecting for Evolvability by Means of Traceability and Features	Scopus	[10]	Conferência	A2
2008	On the Maintainability of Aspect-Oriented Software: A Concern-Oriented Measurement Framework	Scopus	[11]	Conferência	A2
2009	Coupling Metrics for Aspect-Oriented Programming: A Systematic Review of Maintainability Studies	Scopus	[12]	Conferência	---
2010	A Systematic Review of Comparative Evidence of Aspect-Oriented Programming	Elsevier	[13]	Periódico	A2
2010	An Aspect-Oriented Programming-Based Approach to Software Development for Fault Detection in Measurement Systems	Elsevier	[14]	Periódico	B1
2010	Concern-Based Assessment of Architectural Stability: A Comparative Study	Scopus	[15]	Conferência	B4
2011	Extracting Software Product Lines: A Case Study Using Conditional Compilation	IEEE	[16]	Conferência	A2
2011	Using Structural and Textual Information to Capture Feature Coupling in Object-Oriented Software	Scopus	[16]	Periódico	A2
2012	An Empirical Study of Aspect-Oriented Metrics	Elsevier	[18]	Periódico	B1
2012	Modularity Analysis of Use Case Implementations	Scopus	[19]	Periódico	A2
2012	Applying and Evaluating Concern-Sensitive Design Heuristics	Scopus	[20]	Periódico	A2

Desses trabalhos, 3 trabalhos (27,3%) estão associados à **Q1**, são eles: i) “*Architecting for Evolvability by Means of Traceability and Features*” [10]; ii) “*Extracting Software Product Lines: A Case Study Using Conditional Compilation*” [16]; e iii) “*Using Structural and Textual Information to Capture Feature Coupling in Object-Oriented Software*” [16]. O artigo “*On the Maintainability of Aspect-Oriented Software: A Concern-Oriented Measurement Framework*” [11] possui algumas métricas relacionadas à **Q1**, mas foi contabilizado junto aos 8 trabalhos (72,7%) relacionados à **Q2**.

V. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção, os resultados da Revisão Sistemática são apresentados e discutidos para as questões de pesquisa elaboradas. Os resultados esperados foram extrapolados e são apresentados: i) a quantidade total de trabalhos utilizados nos estudos selecionados; ii) os trabalhos mais citados; iii) os trabalhos mais antigos; e iv) os trabalhos mais recentes.

A. Questão 1

A **Q1** deste trabalho é:

“*Quais são as métricas de manutenibilidade para verificação da qualidade interna de sistemas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a características?*”

O foco desta questão é encontrar métricas específicas relacionadas a características. Ao final da execução da Revisão Sistemática, foi possível identificar 33 métricas associadas a 9 propriedades diferentes. Estas métricas são apresentadas na Tabela III juntamente com as propriedades com as quais foram relacionadas e em quais estudos elas foram encontradas. Por exemplo, a métrica *Feature Scattering* (linha 1 da Tabela III) está relacionada à mensuração de *Scattering* e foi citada no artigo intitulado “*Architecting for Evolvability by Means of Traceability and Features*” [10].

As métricas apresentadas na Tabela III foram definidas ou utilizadas nos seguintes contextos:

- Brcina e Riebisch [10] definiram indicadores (métricas mais ações para resolução do problema) a partir de experimentação dentro de um grande projeto de sistemas para infraestrutura de Tecnologia de Informação. Estes indicadores de qualidade estão relacionados à capacidade de evolução da arquitetura de sistemas utilizando a tecnologia de orientação a características. Total: 2 métricas (6%) encontradas;
- Couto, Valente e Figueiredo [16] realizaram um experimento para extração de uma SPL a partir do software *open-source* ArgoUML, utilizando diretivas de compilação condicional para “anotar” características. A partir da SPL, eles realizaram uma avaliação quantitativa com a utilização de métricas que permitiram identificar *size*, *crosscutting behavior*, *granularity* e *static location* das características extraídas. Total: 19 métricas (57,6%) encontradas;
- Revelle, Gethers e Poshyvanyk [16] apresentaram métricas relacionadas ao acoplamento de

características, considerando análise estrutural e textual. Elas foram avaliadas por meio da realização de estudos de caso e se mostraram úteis na predição de propensão a falhas e na análise de impacto, além de estarem alinhadas à opinião de desenvolvedores quanto à existência de acoplamento entre as características analisadas. Total: 6 métricas (18,2%) encontradas;

- Figueiredo, Sant'Anna, Garcia, Bartolomei, Cazzola e Marchetto [11] definiram um *framework* que oferece suporte à criação e à comparação de métricas de interesses. Na revisão de literatura, foram citadas métricas relacionadas diretamente a características. Total: 6 métricas (18,2%) encontradas.

B. Questão 2

Métricas relacionadas a interesses foram pesquisadas para responder à **Q2**:

“*Quais são as métricas relacionadas à manutenibilidade, como são aplicadas, quais são seus valores de referência e como se relacionam quando são aplicadas a sistemas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a aspectos (interesses)?*”.

TABELA III. MÉTRICAS RELACIONADAS A CARACTERÍSTICAS

#	Métrica	Propriedade	Ref.
1	Feature Scattering	Scattering	[10]
2	Scattering Degree (SD)	Scattering	[16]
3	Dynamic Concern Diffusion over Components (dCDC)	Dynamic Scattering	[11]
4	Feature Crusscutting Degree (FCD)	Scattering	[11]
5	Feature Tangling	Tangling	[10]
6	Tangling Degree (TD)	Tangling	[16]
7	Number of Features (NOF)	Tangling	[11]
8	Structural Feature Coupling (SFC)	Coupling	[16]
9	Structural Feature Coupling Prime (SFC')	Coupling	[16]
10	Textual Feature Coupling (TFC)	Coupling	[16]
11	Maximum Textual Feature Coupling (TFCmax)	Coupling	[16]
12	Hybrid Feature Coupling (HFC)	Coupling	[16]
13	Distance Between Features (DIST)	Coupling	[16]
14	Disparity	Closeness	[11]
15	Concentration	Closeness	[11]
16	Dedication	Closeness	[11]
17	Lines of Code (LOC)	Size	[16]
18	Number of Packages (NOP)	Size	[16]
19	Number of Classes	Size	[16]
20	Lines of Feature Code (LOF)	Size	[16]
21	Packages	Granularity (Coarse-grained)	[16]
22	Class	Granularity (Coarse-grained)	[16]
23	Method	Granularity (Coarse-grained)	[16]
24	MethodBody	Granularity (Coarse-grained)	[16]
25	InterfaceMethod	Granularity (Coarse-grained)	[16]
26	ClassSignature	Granularity (Fine-grained)	[16]
27	Attribute	Granularity (Fine-grained)	[16]
28	Statement	Granularity (Fine-grained)	[16]
29	Expression	Granularity (Fine-grained)	[16]
30	StartMethod	Localization	[16]
31	EndMethod	Localization	[16]
32	BeforeReturn	Localization	[16]
33	NestedStatement	Localization	[16]

Nos 11 artigos selecionados, foram encontradas 100 métricas, mas 22 métricas foram citadas em mais de um artigo, sendo relacionadas 78 métricas (Tabela IV). Além disso, foram listadas 24 propriedades diferentes com a quantidade de métricas associadas a ela (Tabela V). Por exemplo, a propriedade *Coupling* (linhas 14, 17, 18, 19, 26, 28, 31, 51, 58, 60 e 67 da Tabela IV) está associada a 11 métricas (linha 1 da Tabela V).

Das métricas apresentadas na Tabela IV, cinco métricas (6,5%) foram citadas em dois trabalhos distintos para a mesma propriedade: i) *Concern Diffusion over Components* (CDC) relacionada a *Scattering* [11][20]; ii) *Coupling Between Components* (CBC) relacionada a *Coupling* [12][20]; iii) *Coupling on Advice Execution* (CAE) relacionada a *Coupling* [12][18]; iv) *Depth of Inheritance Tree* (DIT) relacionada a *Coupling* [12][13] e relacionada a *Complexity* [18][19]; e v) *Number of Attributes* (NOA) relacionada a *Size* [13][19]. Além disso, pôde-se perceber que as métricas *Concern Diffusion over Classes* (CDC) (linha 10 da Tabela IV) [19] e *Concern Diffusion over Components* (CDC) (linha 11 da Tabela IV) [11][20] diferenciam-se por causa da granularidade, pois aquela é destinada a classes e esta a componentes. Isso sugere que ambas as métricas podem coincidir em seu valor, quando os componentes considerados na segunda métrica forem classes.

TABELA IV. MÉTRICAS RELACIONADAS A INTERESSES

#	Métricas	Propriedade	Ref.
1	Architectural Fan-In	Architectural Coupling	[13]
2	Architectural Fan-Out	Architectural Coupling	[13]
3	Attribute Cohesion	Modularity	[13]
4	Average Degree of Scattering (ADOS)	Separation of Concerns	[19]
5	Average Degree of Tangling (ADOT)	Separation of Concerns	[19]
6	Concentration	Closeness	[11]
		Architectural Stability	[15]
7	Concern Diffusion over Architecture Components	Architectural Separation of Concern	[13]
8	Concern Diffusion over Architecture Interfaces	Architectural Separation of Concern	[13]
9	Concern Diffusion over Architecture Operations	Architectural Separation of Concern	[13]
10	Concern Diffusion over Classes (CDC)	Separation of Concerns	[19]
11	Concern Diffusion over Components (CDC)	Scattering	[11][20]
		Separation of Concerns	[13]
12	Concern Diffusion over Lines of Code (CDLOC)	Tangling	[11]
		Separation of Concerns	[13]
13	Concern Diffusion over Operations (CDO)	Scattering	[11]
		Separation of Concerns	[13]
14	Concern Sensitive Coupling (CSC)	Efferente Coupling	[11]
		Coupling	[20]
15	Core Influence (CI)	Parallel Development	[19]
16	Coupling Between Classes/Aspects (CBC)	Complexity	[19]
17	Coupling Between Components (CBC)	Coupling	[12][20]
18	Coupling Between Components/Modules (CBM)	Coupling	[13]
19	Coupling on Advice Execution (CAE)	Coupling	[12][18]
20	Crosscutting Degree of an Aspect (CDA)	Scattering	[11]
		Separation of Concerns	[18]
21	Dedication	Closeness	[11]
		Architectural Stability	[15]

TABELA IV. MÉTRICAS RELACIONADAS A INTERESSES (CONT.)

#	Métricas	Propriedade	Ref.
22	Degree of Focus (DOF)	Modularity	[14]
23	Degree of Scattering (DOS)	Modularity	[14]
24	Degree of Scattering across Classes (DOSC)	Separation of Concerns	[13]
25	Degree of Tangling (DOT)	Separation of Concerns	[13]
26	Depth of Inheritance Tree (DIT)	Coupling	[12][13]
		Complexity	[18][19]
27	Distance from Main Sequence (Dn)	Modularity	[13]
28	Efferent Coupling (EC)	Coupling	[13]
29	Focus	Closeness	[11]
30	Interface Coupling	Modularity	[13]
31	Intra-Component Concern Sensitive Coupling (ICSC)	Coupling	[20]
32	Lack of Cohesion in Operations (LCOO)	Cohesion	[13]
33	Lack of Cohesion over Operations (LCO)	Complexity	[19]
34	Lack of Concern-based Cohesion (LCC)	Cohesion	[11]
35	Lines of Code (LOC)	Size	[13]
		Reusability	[18]
		Complexity	[19]
		Modularity	[14]
36	Lines of Code Written	Ease of Change	[13]
37	Maintenance Time	Maintainability	[13]
38	Non-Commented Lines of Code (NLOC)	Size	[13]
39	Number of Added Classes/Aspects (NAC)	Changeability	[19]
40	Number of Added Lines of Code (NALOC)	Changeability	[19]
41	Number of Added/Changed/Removed Components	Change Impact	[13]
42	Number of Added/Changed/Removed LOC	Change Impact	[13]
43	Number of Added/Changed/Removed Operations	Change Impact	[13]
44	Number of Added/Changed/Removed Pointcuts	Change Impact	[13]
45	Number of Adjustments in the Core (NAC)	Parallel Development	[19]
46	Number of Attributes (NOA)	Size	[13][19]
47	Number of Blocks with Dead LOC (NBDLOC)	Pluggability	[19]
48	Number of Builds per Fault	Ease of Debugging	[13]
49	Number of Changed Classes/Aspects (NCC)	Changeability	[19]
		Pluggability	[19]
50	Number of Changed Lines of Code (NCLC)	Changeability	[19]
51	Number of Children (NOC)	Coupling	[12]
		Reusability	[18]
52	Number of Class Operations (OP)	Size	[13]
53	Number of Components (NC)	Size	[20]
54	Number of Concern Attributes (NOCA)	Materialisation	[20]
55	Number of Concern Operations (NOCO)	Materialisation	[20]
56	Number of Concerns per Component (NCC)	Tangling	[20]
57	Number of Dead LOC (NDLOC)	Pluggability	[19]
58	Number of Degree Diffusion Pointcuts (dPC)	Coupling	[12]
59	Number of File Switches	Ease of Debugging	[13]
60	Number of In-Different Concerns (InC)	Coupling	[12]
61	Number of Instances of Semantic Analysis	Ease of Debugging	[13]
62	Number of Interfaces	Interface complexity	[13]
63	Number of Modules (NOM)	Size	[13]
64	Number of Operations (NOO)	Size	[20]
		Interface complexity	[13]
65	Number of Source Files (NSFC)	Traceability	[19]
66	Operation cohesion	Modularity	[13]
67	Response for a Module (RFM)	Coupling	[12]
		Modularity	[13]
68	Size	Size	[11]

TABELA IV. MÉTRICAS RELACIONADAS A INTERESSES (CONT.)

#	Métricas	Propriedade	Ref.
69	Spread	Scattering	[11]
70	Tangling	Architectural Stability	[15]
71	Time Required to Correct Each Fault	Ease of Debugging	[13]
72	Time Spent on Analysis	Ease of Change	[13]
73	Time Spent on Coding	Ease of Change	[13]
74	Time to Complete the Change	Ease of Change	[13]
75	Touch	Size	[11]
76	Vocabulary size (VS)	Size	[13]
		Complexity	[19]
77	Weighted Operation In Modules/Components	Size	[13]
78	Weighted Operations in Module (WOM)	Complexity	[18]

TABELA V. QUANTIDADE DE MÉTRICAS POR PROPRIEDADE (INTERESSES)

#	Propriedade	Quantidade de Métricas
1	Coupling	11
2	Size	11
3	Separation of Concerns	9
4	Modularity	8
5	Complexity	6
6	Change Impact	4
7	Changeability	4
8	Ease of Change	4
9	Ease of Debugging	4
10	Scattering	4
11	Architectural Separation of Concern	3
12	Architectural Stability	3
13	Closeness	3
14	Pluggability	3
15	Architectural Coupling	2
16	Cohesion	2
17	Interface complexity	2
18	Materialisation	2
19	Parallel Development	2
20	Reusability	2
21	Tangling	2
22	Efferent Coupling	1
23	Maintainability	1
24	Traceability	1

Na realização desta Revisão Sistemática, pôde-se verificar que uma mesma métrica foi relacionada a mais de uma propriedade (Tabela VI), totalizando 13 métricas (16,7%). Por exemplo, a métrica *Concentration* (linha 1 da Tabela VI) foi utilizada para mensurar *Closeness* e *Architectural Stability*.

Os artigos selecionados para a **Q2** possuem metodologias e objetivos diversos:

- Figueiredo, Sant'Anna, Garcia, Bartolomei, Cazzola e Marchetto [11] realizaram uma pesquisa bibliográfica sobre métricas relacionadas a interesses e propuseram um *framework* para suportar a instanciação e a comparação de métricas para sistemas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a interesses. Total: 12 métricas encontradas, sendo 6 delas encontradas em outros artigos;
- Burrows, Garcia e Taiani [12] realizaram uma Revisão Sistemática sobre a utilização de métricas de acoplamento em estudos sobre manutenibilidade de

sistemas desenvolvidos com a tecnologia de orientação a aspectos. Total: 7 métricas encontradas, sendo 5 delas encontradas em outros artigos;

TABELA VI. MÉTRICAS RELACIONADAS A INTERESSES APLICADAS A MAIS DE UMA PROPRIEDADE

#	Métricas	Propriedade
1	Concentration	Closeness, Architectural Stability
2	Concern Diffusion over Components (CDC)	Scattering, Separation of Concerns
3	Concern Diffusion over Lines of Code (CDLOC)	Tangling, Separation of Concerns
4	Concern Diffusion over Operations (CDO)	Scattering, Separation of Concerns
5	Crosscutting Degree of an Aspect (CDA)	Scattering, Separation of Concerns
6	Dedication	Closeness, Architectural Stability
7	Depth of Inheritance Tree (DIT)	Coupling, Complexity
8	Lines of Code (LoC)	Size, Reusability, Complexity, Modularity
9	Number of Changed Classes/Aspects (NCC)	Changeability, Pluggability
10	Number of Children (NoC)	Coupling, Reusability
11	Number of Operations (NoO)	Size, Interface complexity
12	Response for a Module (RfM)	Coupling, Modularity
13	Vocabulary Size (VS)	Size, Complexity

- Ali, Ali Babar, Chen e Stol [13] realizaram uma Revisão Sistemática sobre estudos empíricos de desenvolvimento de sistemas com a tecnologia de orientação a aspectos. O objetivo foi encontrar evidências que deem suporte às afirmações a favor de ou contra a programação orientada a aspectos comparada a outras técnicas. Total: 41 métricas encontradas, sendo 8 delas encontradas em outros artigos;
- Arpaia, Bernardi, Di Lucca, Inglese e Spiezia [14] propuseram a utilização da programação orientada a aspectos para o desenvolvimento de componentes de sistemas para detecção de falhas em sistemas de medição automáticos. Como estudo de caso, esta técnica foi aplicada no projeto do software de detecção de falhas dentro de um *framework* desenvolvido pelo CERN. Experimentos foram realizados para medir a modularidade e a performance entre duas soluções: uma com a tecnologia de orientação a objetos e uma com a tecnologia de orientação a aspectos. Total: 3 métricas encontradas, sendo 1 delas encontrada em outros artigos;
- Medeiros, Figueiredo, Galvão, Garcia, Batista e Sant'Anna [15] realizaram um estudo comparativo sobre a eficácia de uma família de métricas e padrões de interesses com o objetivo de dar suporte à análise de estabilidade da arquitetura de sistemas. Um conjunto de 20 instâncias de interesses presentes na arquitetura de 18 *releases* de dois sistemas, em evolução, foi analisado. Total: 3 métricas encontradas, sendo 2 delas encontradas em outros artigos;
- Piveta, Moreira, Pimenta, Araújo, Guerreiro e Price [18] proveem, para um conjunto de métricas, definições mais rigorosas, avaliação analítica e coleta empírica de dados de projetos utilizando a tecnologia

de orientação a aspectos e discussão sobre os valores obtidos. Total: 6 métricas encontradas, sendo 4 delas encontradas em outros artigos;

- d'Amorim e Borba [19] avaliaram os efeitos da modularização da implementação de dois casos de uso, que consistiram da implementação de dois sistemas de informação e sua evolução. Total: 19 métricas encontradas, sendo 4 delas encontradas em outros artigos;
- Figueiredo, Sant'Anna, Garcia e Lucena [20] propuseram um conjunto de regras heurísticas *concern-sensitive*. Essas heurísticas são definidas em função de métricas suportadas por uma apoio computacional. Nesse trabalho, um estudo exploratório é relatado para avaliar a precisão das heurísticas aplicando-as a 7 sistemas. Total: 9 métricas encontradas, sendo 3 delas encontradas em outros artigos.

Procurou-se responder a **Q2** quanto aos valores de referência e quanto ao relacionamento entre as métricas. No entanto, os trabalhos não apresentam valores de referência. Piveta, Moreira, Pimenta, Araújo, Guerreiro e Price [18] apresentam explicitamente a relação entre métricas. Por exemplo, há relação entre as métricas *Lines of Code* (LoC) e *Weighted operations in Module* (WoM). A combinação LoC/WoM pode ser utilizada como indicador de tamanho de operações, ou seja, alto LoC e baixo WoM podem indicar *Large Method*; por outro lado, alto LoC e alto WoM podem indicar *Large Aspect* ou *Large Class*.

C. Outros resultados

Nesta seção, são apresentadas algumas estatísticas relacionadas aos 11 artigos selecionados que utilizaram o total de 311 referências bibliográficas. A seguir, são apresentados os trabalhos mais citados (Tabela VII), os trabalhos mais recentes (Tabela VIII) e os trabalhos mais antigos (Tabela IX).

TABELA VII. TRABALHOS MAIS CITADOS

Autores	Título	Quantidade de Trabalhos
G. Kiczales, J. Lamping, A. Mendhekar, C. Maeda, C. Videira Lopes, J. M. Loingtier, J. Irwin	Aspect-Oriented Programming	8
S. Chidamber, C. Kemerer	A Metrics Suite for Object Oriented Design	7
C. N. Sant'Anna, A. F. Garcia, C. von F. G. Chavez, C. J. P. Lucena, A. von Staa	On the Reuse and Maintenance of Aspect-Oriented Software: an Assessment Framework	6
G. Kiczales, E. Hilsdale, J. Hugunin, M. Kersten, J. Palm, W. G. Griswold	An Overview of AspectJ	6
M. Ceccato, P. Tonella	Measuring the Effects of Software Aspectization	6

Os cinco artigos mais citados (1,6%), de 6 a 8 citações, são apresentados na Tabela VII. Por exemplo, o artigo intitulado "*Aspect-Oriented Programming*" foi citado 8 vezes, ou seja, este trabalho foi citado em 72,7% dos trabalhos selecionados. Os três artigos mais recentes citados são apresentados na Tabela VIII. Por exemplo, o artigo intitulado "*On the impact of crosscutting concern projection on code measurement*" é do ano de 2011. Os três artigos mais antigos citados são

apresentados na Tabela IX. Por exemplo, o artigo intitulado "*Notes on Structured Programming*" é do ano de 1969.

TABELA VIII. TRABALHOS MAIS RECENTES

Ano	Autores	Título
2011	E. Figueiredo, A. Garcia, M. Maia, G. Ferreira, C. Nunes, J. Whittle	On the Impact of Crosscutting Concern Projection on Code Measurement
2010	F. d'Amorim, P. Borba	Modularity Analysis of Use Case Implementations
2010	F. Steimann, T. Pawlitzki, S. Apel, C. Kastner	Types and Modularity for Implicit Invocation with Implicit Announcement

TABELA IX. TRABALHOS MAIS ANTIGOS

Ano	Autores	Título
1969	E. Dijkstra	Notes on Structured Programming
1974	B. Liskov, S. Zilles	Programming with Abstract Data Types
1972	D. L. Parnas	On the Criteria to be Used in Decomposing Systems into Modules

VI. CONCLUSÃO

Neste artigo, foram apresentados os resultados de uma Revisão Sistemática sobre métricas contemporâneas relacionadas à manutenibilidade de sistemas. O resultado das buscas apresentou um total de 672 trabalhos, das quais 11 trabalhos foram selecionadas como estudos primários. Na *Fase Extração de Dados*, foram identificadas 33 métricas relacionadas a características e 78 métricas relacionadas a interesses, totalizando 111 métricas contemporâneas. As métricas relacionadas a características foram utilizadas para mensurar 9 propriedades (por exemplo, *Scattering* e *Coupling*) e as métricas de interesses foram relacionadas a 24 propriedades (por exemplo, *Coupling* e *Separation of Concerns*). O resultado da Revisão Sistemática sugere a existência de um conjunto extenso de métricas relacionadas a interesses e de um conjunto mais restrito a características.

Pôde-se observar uma não-uniformidade na utilização dos termos *concern* (interesse) e *feature* (característica) na definição ou utilização das métricas apresentadas. Isto pode levar a uma confusão quanto a qual métrica utilizar [11]. Apesar da restrição do período de publicação dos artigos entre os anos de 1990 e 2012, inclusive, os artigos selecionados foram publicados entre 2008 e 2012, o que sugere que as métricas contemporâneas são recentes. Os artigos não apresentaram valores de referência para essas métricas, o que pode caracterizar que obter esse valor não é trivial. Apenas um artigo explicitou o relacionamento entre pares de métricas relacionadas a interesses.

Existem trabalhos que objetivam descrever formalmente e validar analiticamente as métricas propostas, no entanto outros trabalhos estendem a definição de algumas métricas para contextos específicos sem formalizações precisas. Isso aumenta a dificuldade do aprendizado e da utilização de tais métricas na academia e na indústria. Outros trabalhos [28][29] apresentaram estudos sobre a antecipação e a medição da manutenibilidade a estágios anteriores ao da implementação e da evolução de sistemas, o que mostra que a manutenibilidade não está ligada somente ao código fonte do produto.

Estes dados sugerem um campo aberto para estudos, principalmente empíricos, que objetivam avaliar as métricas

existentes, bem como mensurar/estimar valores de referência. Uma possível ameaça a validade deste trabalho está relacionada a uma das características da Revisão Sistemática: possibilidade de exclusão de trabalhos relacionados ao tema, em casos que trabalhos não possuam título, resumo e palavras-chave bem definidos e alinhados ao tema em estudo. Outro ponto limitante é a análise das métricas baseada apenas no nome da métrica.

Dentre as contribuições deste trabalho, pode-se destacar: i) a identificação de um conjunto extenso de métricas e propriedades; ii) a elaboração inicial de um catálogo de métricas relacionadas a características e a interesses, provendo, neste momento, uma relação de métricas e a quais atributos (propriedades) elas podem ser associadas e vice-versa; e iii) identificação das principais referências bibliográficas, destaque dos trabalhos mais antigos e mais recentes utilizados pelos 11 estudos selecionados.

Como sugestões de trabalhos futuros, pode-se citar (i) a realização de análises baseadas nas definições e aplicações das métricas, (ii) a realização de estudos empíricos para verificação dos valores de referência e relação entre as métricas, com o objetivo de elaborar um catálogo de métricas de características e interesses e (iii) a elaboração de um catálogo de sistemas que podem ser utilizados como *benchmark* para a aplicação de métricas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes, Capes/REUNI e FAPEMIG, processo APQ-02376-11, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Kiczales, J. Lamping, A. Mendhekar, C. Maeda, C. Lopes, J. Loingtier, and J. Irwin, "Aspect-Oriented Programming". In: Proceedings of the European Conference on Object-Oriented Programming. 1997.
- [2] D. Batory, J. Sarvela and A. Rauschmayer. "Scaling step-wise refinement". In: IEEE Transactions on Software Engineering. Volume 30. Issue 6. pp. 355-371, 2004.
- [3] K. Pohl, G. Bockle, F. J. van der Linden. "Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques". Springer, 2005.
- [4] Software Engineering Institute - SEI. "Software Product Line" [Online]. Disponível: <http://www.sei.cmu.edu/productlines/>. Acesso: maio/2012.
- [5] C. K. Kang, S. G. Cohen, J. A. Hess, W. E. Novak, A. S. Peterson. "Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study". Software Engineering Institute, Tech. Rep. CMU/SEI-90-TR-21, 1990.
- [6] P. Zave. "FAQ Sheet on Feature Interactions" [Online]. Disponível: www.research.att.com/~pamela/faq.html. Acesso: 27 de maio de 2012.
- [7] N. E. Fenton, and S. L. Pfleeger, "Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach". 2nd ed. Thomson, 1996
- [8] S. R. Chidamber, C. F. Kemerer. "A Metrics Suite for Object Oriented Design". In: IEEE Transactions on Software Engineering. Volume 20, Number 6. pp. 476-493. 1994.
- [9] ISO/IEC 9126. "Software Engineering - Product Quality - Part 1, Part 2, Part 3 e Part 4". 2003.
- [10] R. Brcina, M. Riebisch. "Architecting for evolvability by means of traceability and features". In: 23rd IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. pp.72-81, 2008.
- [11] E. Figueiredo, C. Sant'Anna, A. Garcia, T. T. Bartolomei, W. Cazzola, and A. Marchetto. "On the Maintainability of Aspect-Oriented Software: A Concern-Oriented Measurement Framework". In: 12th European Conference on Software Maintenance and Reengineering. IEEE Computer Society. pp. 183-192, 2008.
- [12] R. Burrows, A. Garcia, F. Taiani. "Coupling Metrics for Aspect-Oriented Programming: A Systematic Review of Maintainability Studies". In: 4th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering. 2009.
- [13] M. S. Ali, M. Ali Babar, L. Chen, and K-J Stol. "A Systematic Review of Comparative Evidence of Aspect-Oriented Programming". In: Journal of Information and Software Technology. v. 52. n. 9. pp 871-887. 2010.
- [14] P. Arpaia, M. L. Bernardi, G. Di Lucca, V. Inglese, and G. Spiezia. "An Aspect-Oriented Programming-Based Approach to Software Development for Fault Detection in Measurement Systems". In: Journal of Computer Standards & Interfaces. Vol 32. Issue 3. pp. 141-152. 2010.
- [15] A. L. Medeiros, E. Figueiredo, I. Galvão, A. Garcia, T. Batista, and C. Sant'Anna. "Concern-Based Assessment of Architectural Stability: A Comparative Study". In: 4th Brazilian Symposium on Software Components, Architectures and Reuse. pp. 27-29, 2010.
- [16] M. Couto, M. Valente, and E. Figueiredo. "Extracting Software Product Lines: A Case Study Using Conditional Compilation". In: European Conference on Software Maintenance and Reengineering. pp. 1-4, 2011.
- [17] M. Revelle, M. Gethers, and D. Poshvanyk. "Using Structural and Textual Information to Capture Feature Coupling in Object-Oriented Software". In: Journal of Empirical Software Engineering. Volume 16. Issue 6. pp. 773-811. 2011.
- [18] E. K. Piveta, A. Moreira, M. S. Pimenta, J. Araújo, P. Guerreiro, R. T. Price. "An Empirical Study of Aspect-Oriented Metrics". In: Science of Computer Programming. Available online 26, 2012.
- [19] F. d'Amorim and P. Borba. "Modularity Analysis of Use Case Implementations". In: Journal of System and Software. Volume 85. Issue 4. pp. 1012-1027. 2012.
- [20] E. Figueiredo, C. Sant'Anna, A. Garcia, and C. Lucena. "Applying and Evaluating Concern - Sensitive Design Heuristics". In: Journal of Systems and Software. Volume 85. Issue 2. pp. 227-243, 2012.
- [21] G. de F. Carneiro, M. Silva, L. Mara, E. Figueiredo, C. Sant'Anna, A. Garcia, M. Mendonça. "Identifying Code Smells with Multiple Concern Views. In: Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software. pp. 128-137. 2010.
- [22] B. Kitchenham. "Guidelines for Performing Systematic Literature Review in Software Engineering". EBSE Technical Report, 2.3, Keele University, 2007.
- [23] B. Kitchenham. "Procedures for Performing Systematic Reviews". Keele University Technical Report TR/SE-0401. Disponível: http://www.idi.ntnu.no/emner/empse/papers/kitchenham_2004.pdf. Acesso: maio/2011.
- [24] R. Rocha, C. Costa, R. Prikladnicki, R. R. de Azevedo, I. H. de Farias Júnior, S. Meira. "Modelos de Colaboração no Desenvolvimento Distribuído de Software: Uma Revisão Sistemática da Literatura". In: IV Workshop de Desenvolvimento Distribuído de Software. 2010.
- [25] G. Travassos, J. Biolchini. "Revisões Sistemáticas Aplicadas a Engenharia de Software". In: XXI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software. 2007.
- [26] J. Biolchini, P. Mian, A. Natali, T. Conte, G. Travassos. "Scientific Research Ontology to Support Systematic Review". In: Software Engineering Advances Engineering Informatics. pp. 133-151, 2007.
- [27] J. Bailey; Cheng Zhang; D. Budgen; S. Charters; M. Turner. "Search Engine Overlaps: Do They Agree or Disagree?". Realising Evidence-Based Software Engineering. 2007.
- [28] J. M. Conejero, E. Figueiredo, A. Garcia, J. Hernández, and E. Jurado. "On the Relationship of Concern Metrics and Requirements Maintainability". In: Journal of Information and Software Technology, Volume 54 Issue 2, 2012.
- [29] J. M. Conejero, J. Hernández, E. Jurado, and K. van den Berg. "Mining Early Aspects Based on Syntactical and Dependency Analyses". In: Science Computer Program. Volume 75. Issue 11. pp. 1113-1141. 2010.