



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Caracterização do Uso de Construções da Linguagem Java em Projetos Open-Source

Thiago Gomes Cavalcanti
Vinícius Correa de Almeida

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Orientador
Prof. Dr. Rodrigo Bonifácio de Almeida

Brasília
2016

Universidade de Brasília — UnB
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Curso de Computação — Licenciatura

Coordenador: Prof. Dr. Pedro Antônio Dourado Rezende

Banca examinadora composta por:

Prof. Dr. Rodrigo Bonifácio de Almeida (Orientador) — CIC/UnB
Prof.^a Dr.^a Genaina Nunes Rodrigues — CIC/UnB
Prof.^a Dr.^a Edna Dias Canedo — FE/UnB-Gama

CIP — Catalogação Internacional na Publicação

Cavalcanti, Thiago Gomes.

Caracterização do Uso de Construções da Linguagem Java em Projetos
Open-Source / Thiago Gomes Cavalcanti, Vinícius Correa de Almeida.
Brasília : UnB, 2016.

81 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

1. análise estática, 2. evolução, 3. evolução de linguagens de
programação linguagens, 4. language design, 5. software engeneering,
6. language evolution, 7. refactoring, 8. java

CDU 004.4

Endereço: Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro — Asa Norte
CEP 70910-900
Brasília-DF — Brasil



Caracterização do Uso de Construções da Linguagem Java em Projetos Open-Source

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Prof.^a Dr.^a Genaina Nunes Rodrigues Prof.^a Dr.^a Edna Dias Canedo
CIC/UnB FE/UnB-Gama

Prof. Dr. Pedro Antônio Dourado Rezende
Coordenador do Curso de Computação — Licenciatura

Brasília, 14 de julho de 2016

Dedicatória

Dedicamos este trabalho a nossa família e ao departamento de Ciência da Computação da UnB. Que este seja apenas uma ideia inicial para que outros alunos possam ajudar a enriquecer ainda mais este projeto para que a Universidade de Brasília tenha sua própria ferramenta de análise de código e que sirva de modelo para outras Universidades.

Agradecimentos

Com imensa dificuldade de agradecer a tantas pessoas que de certo modo nos ajudaram nessa conquista, hora em momentos calmos hora apreensivos. Em especial a toda nossa família por dar todo suporte necessário para que pudéssemos concluir essa etapa em nossas vidas, também aluna Daniela Angellos pelo seu desdobramento e conhecimento para nos ajudar a criar essa ferramenta.

Em especial ao professor dr. Rodrigo Bonifácio que nos inseriu nesse imenso mundo da Engenharia de Software, hora apresentando uma problemática hora ajudando a resolver barreiras as quais não conseguimos sozinhos.

E ainda a UnB por todo seu corpo docente que sem este essa jornada não seria concluída com excelência, em especial ao professor dr. Edson Alves da Costa Júnior por se deslocar da UnB-Gama para nos ajudar.

Resumo

Utilizar linguagem de programação como objeto de pesquisa é uma tarefa desafiadora e complexa quer seja para minerar informações quer seja para refatorar, dada a complexidade de manipulação de uma linguagem de programação. Entretanto existe um segmento da engenharia de *software* que recomenda tratar este modelo de *software* como qualquer outro onde este é denominado *Grammarware*.

Partindo deste segmento, este trabalho de conclusão manipula código fonte da linguagem Java para detectar construções ultrapassadas. O principal objetivo deste trabalho foi tornar transparente a manipulação da linguagem Java para que fosse um simples *input* como em qualquer outro *software*. E isso mais fácil adotar esta ferramenta para checar se a linguagem em que um software qualquer está sendo desenvolvido utiliza sempre características atuais durante o desenvolvimento.

Desta forma o analisador estático que este trabalho proporcionou é capaz de pesquisar construções específicas da linguagem Java que podem ser facilmente determinadas por qualquer desenvolvedor independente da experiência na manipulação dos artefatos de uma linguagem de programação.

Para a extração dos dados este trabalho teve com principal preocupação desacoplar a extração da análise de código para que os dados minerados possam ser salvos em qualquer estrutura de dado que pode ser desde um simples arquivo **CSV** até um banco de dados.

Palavras-chave: análise estática, evolução, evolução de linguagens de programação linguagens, language design, software engineering, language evolution, refactoring, java

Abstract

Using programming language as research object is a challenging and complex task whether for mining information or to refactor, given the complex manipulation of a programming language. However there is a segment of software engineering that recommend deal with this kind of software as any other and this is called Grammarware.

From this segment, this final paper handles java language font code for detected outdated buildings. The main objective of this final paper is to make transparent the java language handling for it became a simple input like in any other software.

From this way the static analyzer provided from this final paper is capable from search any specific buildings from the Java language with may be easily defined by any developer regardless of any experience on handling programming language artifacts.

For the data extraction this work have as the main concern to uncouple the code analysis extradition so the mining data can be saved in any data structure from a simple CSV file up to any database.

Keywords: static analysis, language design, software engeneering, language evolution, refactoring, java

Sumário

Lista de Abreviaturas	vii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Metodologia	2
1.3 Organização da Monografia	2
2 Fundamentação	3
2.1 Evolução Linguagem Java	3
2.2 Engenharia de Linguagens de Software	4
2.3 Reconhecedores Sintáticos (Parses)	6
2.4 Refactoring	7
2.5 Análise estática	8
3 Analisador Estático e Caracterização do Uso de Construções da Linguagem Java	10
3.1 Analisador Estático	10
3.1.1 Entrada do Analisador Estático	11
3.1.2 Análise da Representação Intermediária	13
3.1.3 Exportação dos Dados	16
3.2 Resultados	17
3.3 Adoção de Java Generics	19
3.4 Adoção de Java Lambda Expression	20
3.4.1 Análises adicionais	23
3.4.2 Oportunidades para uso da construção <code>multi-catch</code>	23
3.4.3 Try Resource	25
3.4.4 Switch String	27
4 Considerações Finais e Trabalhos Futuros	29
4.1 Considerações Finais	29
4.2 Trabalhos Futuros	30
Referências	31

Lista de Figuras

2.1	Fases de aplicações com linguagens.	5
2.2	Fases do pipeline do FindBugs.	5
2.3	Ferramentas necessárias para construção do analisador estático.	6
3.1	Visão geral da arquitetura do analisador estático	11
3.2	Classe que representa o programa principal do analisador estático	12
3.3	Implementação do método <code>analyse</code> , na classe <code>ProjectAnalyser</code>	13
3.4	Classes usadas para capturar declarações de enumerações.	14
3.5	Exportação de dados usando o mecanismo de introspecção de código.	17
3.6	Oportunidades de <code>multi-catch</code> nos projetos.	24
3.7	Adoção de <code>Try-Resource</code> nos projetos.	26
3.8	Oportunidades de <i>refactoring</i> em <code>if-then-else</code> por sistema.	28

Lista de Tabelas

3.1	Estimativa da complexidade de desenvolvimento de cada <i>visitor</i>	15
3.2	Projetos.	18
3.3	Resumo dos tipos agrupados por idade e do tipo dos projetos.	19
3.4	Tipo declarado X Número de instância	19
3.5	Ocorrências de Expressões Lambda.	21
3.6	Oportunidades de multi-catch por tipo do sistema.	25
3.7	Adoção Try-Resource por tipo do sistema.	26
3.8	Adoção Switch String por tipo do sistema.	27
3.9	Oportunidade de aplicar switch por tipo de sistema.	28

Lista de abreviaturas

LoC	Linhas de Código
AST	Árvore de sintaxe abstrata
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
JDBC	Java Database Connectivity
JDK	Java Development Kit
AWT	Abstract Window Toolkit
RMI	Invocação de Método Remoto
API	Aplicações de Programação Interfaces
JNI	Java Native Interface
GUI	Interface Gráfica do Usuário
JDT	Java Development Tools
ACDP	Java Platform Debugger Architecture
JCP	Java Community Process
EFL	Enhanced for loop
AIC	Anonymous Inner Class
DI	Dependency Injection
IoC	Inversion of Control
CSV	Comma separated values
CC	Complexidade Ciclomática

Capítulo 1

Introdução

Uma premissa na Engenharia de Software é a *natureza evolutiva* do software, e, com isso, custos significativos são relacionados com as atividades de manutenção. De forma semelhante, as linguagens de programação evoluem, com o intuito de se adaptarem a novas demandas e trazerem benefícios relacionados a produtividade e a melhoria da qualidade dos softwares construídos. Entretanto, um desafio inerente é a evolução de sistemas existentes em direção a adoção de novas construções disponibilizadas nas linguagens [7].

Conforme discutido por Overbey e Johnson [12], tal evolução faz com que características obsoletas sejam mantidas e raramente removidas de uma linguagem, levando a um aumento da complexidade, esforço de aprendizagem e custos de manutenção do software. Além disso, a falta de evolução de um código fonte em direção a novas versões de uma linguagem de programação faz com que a equipe de desenvolvimento alterne entre características atuais e antigas, as quais passam a ser quase um dialeto da linguagem— o que aumenta o tempo para conceber um projeto e consequentemente gerando aumento no custo final projeto.

Uma decisão não tão simples é manter uma porção do código congelada, sem evolução, ao longo projeto devido alguma restrição técnica. O que infelizmente acarreta em uma estagnação de todo um sistema pois não somente o projeto é afetado, mas sim toda uma infraestrutura como compiladores, banco de dados e sistema operacional que, se de alguma forma vierem a ser atualizados com esta porção código estagnado, podem ocasionar problemas como uma queda significativa de desempenho ou até mesmo o sistema parar de funcionar. Devido a esses problemas de código não atualizado, com as versões com estruturas mais atuais, a proposta da realização de refatoração através de ferramentas objetivam atacar essas limitações decorrentes de código obsoleto.

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é analisar a adoção de construções da linguagem de programação Java em projetos *open-source*, com o intuito de compreender a forma típica de utilização das construções da linguagem e verificar a adoção ou não das *características* presentes nas versões mais recentes da linguagem. Especificamente, os seguintes objetivos foram traçados:

- implementar um ambiente de análise estática que recupera informações relacionadas ao uso de construções da linguagem Java.
- avaliar o uso de construções nas diferentes versões da linguagem Java, considerando projetos *open-source*.
- realizar um *survey* inicial para verificar o porquê da não adoção de algumas construções da linguagem nos projetos.
- contrastar os resultados das nossas análises com trabalhos de pesquisa recentemente publicados, mas que possivelmente não analisam todas as construções de interesse deste trabalho, em particular a adoção de construções recentes na linguagem (como Expressões Lambda).

1.2 Metodologia

A realização deste trabalho envolveu atividades de revisão da literatura, contemplando a leitura de artigos científicos que abordam a adoção de novas características da linguagem Java ao longo do lançamento das diferentes versões para a comunidade de desenvolvedores [6, 12, 13, 17]. Com isso, foi possível compreender a limitação dos trabalhos existentes e, dessa forma, definir o escopo da investigação.

Posteriormente, foi necessário buscar uma compreensão sobre como implementar ferramentas de análise estática, e escolher uma plataforma de desenvolvimento apropriada (no caso, a plataforma Eclipse JDT [1]). Posteriormente, foi iniciada uma fase de implementação dos analisadores estáticos de forma a atender ao requisito de extensibilidade, ou seja, o ambiente deve favorecer a inclusão de novos *analisadores*, levando ao uso de padrões de projetos típicos para essa finalidade como *visitor* e *dependency injection*.

Finalmente, foi seguida uma estratégia de Mineração em Repositórios de Software, onde foram feitas as análises da adoção de construções da linguagem Java em projetos *open-source*, de forma similar a outros artigos existentes [12, 15, 17, 18]

1.3 Organização da Monografia

Este documento está organizado em cinco capítulos, incluindo esse capítulo de introdução. O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre os temas relacionados a essa monografia (incluindo técnicas para análise estática de código fonte). O Capítulo 3 apresenta detalhes sobre a implementação do analisador estático, construído usando recursos da plataforma *Eclipse Java Development Tools*. O Capítulo 4 apresenta o resultado de uma investigação empírica, seguindo um estilo de pesquisa típico de mineração em repositórios de software, que busca (a) compreender como os desenvolvedores Java utilizam os recursos da linguagem de programação e (b) identificar oportunidades de melhoria de código usando construções mais recentes da linguagem de programação. Finalmente, o Capítulo apresenta as considerações finais e algumas sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação

Conforme mencionado no capítulo anterior, o principal objetivo deste trabalho de conclusão de curso é identificar oportunidades de evolução de código em projetos que utilizam recursos anteriores aos disponíveis nas versões 7 e 8 da linguagem Java, algo necessário para o contexto de reestruturação de código que visa adequar um código existente para usar construções mais atuais de uma determinada de linguagem de programação (no caso, a linguagem Java). Importante destacar que as versões da linguagem Java mencionadas anteriormente introduziram novos recursos, tais como: `multi-catch`, `try-with-resource`, `switch-string` e `lambda expressions`; e que esse tipo de evolução constitui uma nova perspectiva de *refactoring*, que se caracteriza por uma transformação de código que preserva comportamento e que passa a usar novas construções da linguagem de programação [12]).

Para atingir o objetivo do trabalho de conclusão de curso, foi necessário compreender temas relacionados à evolução da linguagem Java, engenharia de linguagens de software (ou no Inglês *Software Language Engineering*) e refatoramento de código (*code refactoring*). Para fornecer uma introdução ao leitor, este capítulo apresenta uma visão geral sobre esses temas. Note que não foi objetivo deste trabalho implementar um mecanismo de transformação de código, mas sim construir um suporte ferramental efetivo para compreender como os desenvolvedores usam as construções existentes na linguagem Java e *identificar oportunidades de melhoria de código*, algo essencial para permitir a atualização de um código existente que usa construções ultrapassadas de uma linguagem de programação.

2.1 Evolução Linguagem Java

No início dos anos noventa, um grupo de engenheiros da Sun Microsystems, chamados de *Green Team*, acreditava que a próxima grande área da computação seria a união de equipamentos eletroeletrônicos com os computadores. O *Green Team*, liderado por James Gosling, especificou a linguagem de programação Java, inicialmente proposta para dispositivos de entretenimento como aparelhos de TV a cabo. Por outro lado, apenas em 1995, com a massificação da Internet, a linguagem Java teve sua primeira grande aplicação: a construção de componentes de software para o navegador *Netscape*.

Java é uma linguagem de programação de propósito geral, orientada a objetos e concebida para ser independente de plataforma, graças ao uso de uma máquina virtual: a

Java Virtual Machine (JVM). Isso permite que uma aplicação Java possa ser executada em qualquer ambiente computacional que possui uma JVM aderente à especificação da linguagem.

Na sua primeira versão publicamente disponível (**JDK 1.0.2**), existiam apenas oito bibliotecas presentes na especificação Java, tais como `java.lang`, `java.io`, `java.util`, `java.net`, `java.awt` e `java.applet`; onde as três últimas favoreciam a construção de soluções envolvendo mobilidade de código: um componente (um *applet* Java) poderia ser transferido de um servidor para um cliente e, dessa forma, ser executado em um navegador Web compatível. As características de independência de plataforma e a aproximação com a Web fez com que a linguagem Java se tornasse bastante popular, passando a ser usada em outros domínios (como o desenvolvimento de software para cartões inteligentes, para jogos eletrônicos e para ambientes corporativos) e a ter uma evolução natural com a melhoria de desempenho da JVM e a incorporação de um conjunto significativo de bibliotecas.

Apesar de toda essa evolução, que trouxe uma rápida aceitação da linguagem, mudanças significativas na especificação da semântica da linguagem só se tornaram publicamente disponíveis em 2004, com o lançamento da versão intitulada Java 5.0 (*Java Language Specification 1.5*). As principais contribuições para a semântica da linguagem afetavam diretamente a produtividade dos desenvolvedores e incluíam implementações mais eficientes de bibliotecas existentes (como as bibliotecas de IO e as bibliotecas para programação concorrente). Relacionadas à perspectiva semântica, as principais contribuições da especificação Java 5.0 introduziram o suporte a polimorfismo parametrizado (Java Generics) e enumerações; o uso de construções `foreach` para iterar sobre coleções; a possibilidade de definição de múltiplos argumentos com a construção `varargs` (suportados em linguagens como C); e o uso do mecanismo intitulado *autoboxing* para converter tipos primitivos nas classes Java correspondentes. As versões da linguagem Java 7 e Java 8 também trouxeram, em maior ou menor grau de significância, extensões sintáticas e semânticas bastante aguardadas pela comunidade de desenvolvedores, tais como:

Java 7 introduziu em 2011 facilidades como (a) suporte ao tipo `String` em sentenças condicionais `switch`, (b) inferência de tipos na instanciação de classes genéricas e (c) captura de múltiplos tipos de exceção.

Java 8 introduziu em 2014 o suporte a expressões lambda e a implementação de métodos *default* em interfaces Java. O suporte a expressões lambda pode ser compreendido como uma evolução da linguagem tão significativo quanto a introdução de Java Generics, na versão Java 5. Isso porque uma série de novos idiomas (baseadas em *streaming* para programação concorrente) estão sendo propostos para a linguagem com base em tal construção.

2.2 Engenharia de Linguagens de Software

... ou engenharia de software para linguagens de programação (no Inglês, Software Language Engineering).

A manipulação de artefatos escritos em uma linguagem de programação (ou em linguagens de software) é uma tarefa desafiadora, mas que permite o desenvolvimento de software

aplicável a diferentes cenários, como, por exemplo, manipular arquivos XML, transformar informações e scripts presentes em bancos de dados legados, efetuar a tradução de programas escritos em uma versão desatualizada de uma linguagem.

Por envolver diferentes estágios, o desenho desse tipo de solução requer, geralmente, um estilo arquitetural baseado em um *pipeline*, onde cada estágio necessário à manipulação de uma linguagem é implementado como um componente de software. Quando combinados, tais componentes constituem uma solução que realiza o processamento de uma ou mais linguagens. A Figura 2.1 exibe uma organização típica de componentes para o processamento de artefatos escritos em uma linguagem de programação, onde a cada estágio do *pipeline*, um componente utiliza os resultados do estágio anterior para gerar uma saída para o componente que realiza o processamento no estágio posterior.

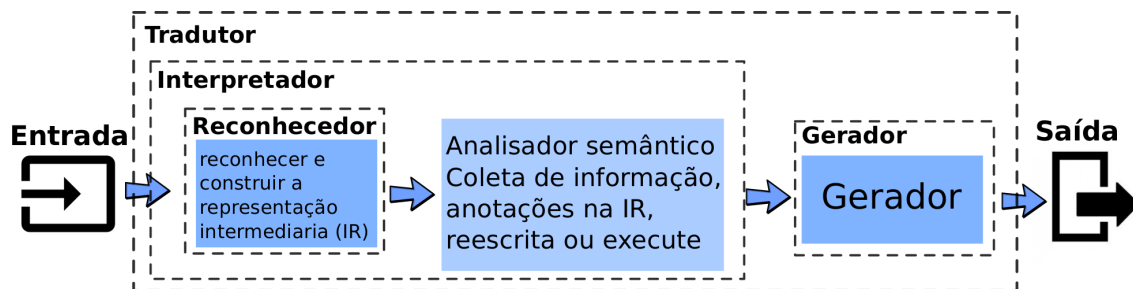


Figura 2.1: Fases de aplicações com linguagens.

Existe uma forte relação entre a engenharia de linguagens de programação e a construção típica de um software, onde as aplicações deste domínio compreendem **reconhecedores**, **interpretadores**, **tradutores** e **geradores** [14].

Além dessas aplicações típicas, ferramentas para a identificação estática de *bugs*, por exemplo, também são comumente implementadas usando uma organização como a representada na Figura 2.1. A ferramenta *FindBugs* [2] serve como um exemplo de solução para identificação de possíveis erros em programas escritos na linguagem Java, a partir do *bytecode* resultante do processo de compilação. Note na Figura 2.2 a semelhança arquitetural com as abordagens típicas para o processamento de artefatos de linguagens de programação.

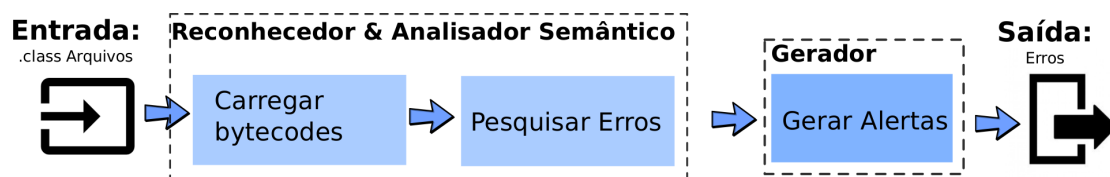


Figura 2.2: Fases do pipeline do FindBugs.

Especificamente no caso deste trabalho, percebeu-se a necessidade de construção de um software que realiza a análise estática de código para identificar tanto o uso quanto as oportunidades do uso de construções sintáticas / semânticas da linguagem Java. Em termos arquiteturais, a Figura 2.3 ilustra, em um alto nível de abstração, os principais componentes que formam o *pipeline* do analisador estático implementado nesse trabalho e cujos detalhes de implementação são apresentados no próximo capítulo.

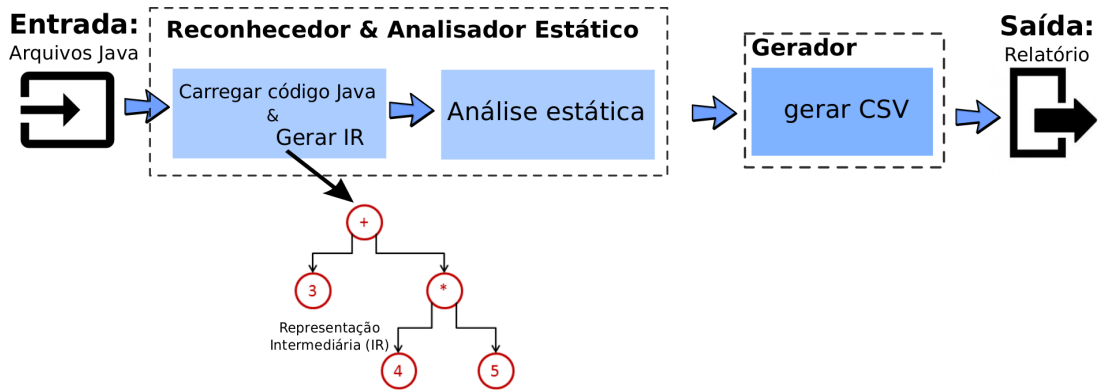


Figura 2.3: Ferramentas necessárias para construção do analisador estático.

Pode-se compreender este analisador como um *grammarware*, pois é um software que depende fortemente de uma gramática para seu funcionamento; neste caso a gramática da linguagem Java. De acordo com Paul Klint et al. [11], alguns cenários favorecem o desenvolvimento de softwares alinhados com a abordagem *grammarware*, com destaque às aplicações que necessitam importar perfis de usuários para promover a transição da versão antiga para uma versão nova. Esta transição deve ser robusta e provavelmente necessitará de adaptação deverá passar por um parser para que as partes que necessitem de adaptação possam ser identificadas.

Um outro cenário real é o desenvolvimento de aplicações de banco de dados onde se faz necessário adotar uma nova linguagem de definição para um ambiente específico. De forma que automatizar esta solução requer o uso de um parser que será responsável por reconhecer as entradas necessárias para efetuar o mapeamento para a *linguagem* destino.

2.3 Reconhecedores Sintáticos (Parses)

Conforme discutido anteriormente, os reconhecedores (parsers, deste ponto em diante) de programas escritos em uma linguagem de programação são componentes necessários para a construção de ferramentas de análise estática. Vale ressaltar que o analisador estático construído neste trabalho reusou uma infraestrutura da plataforma Eclipse que oferece um parser atualizado da linguagem Java. Por outro lado, como se trata de um tipo de componente central para soluções baseadas em gramática, esta seção revisa brevemente quatro padrões adotados para a implementação de parsers [14].

- *Mapping Grammars to Recursive-Descent Recognizers*

Sua proposta é traduzir uma gramática para uma implementação que usa recursão descendente para reconhecer frases e sentenças em uma linguagem específica. Este padrão identifica o núcleo do fluxo de controle para qualquer recursão descendente e é utilizado nos próximos três padrões seguintes. Para construir um parser manualmente o melhor ponto de início é a gramática, com isso este padrão fornece uma maneira simples de construir reconhecedores diretamente de sua gramática.

- *LL(1) Recursive-Descent Lexer*

O objetivo deste padrão é emitir uma sequência de símbolos. Cada símbolo tem dois atributos primários: um tipo de *token* (símbolo da categoria) e o texto associado. Por exemplo, no Português, temos categorias como verbos e substantivos, bem como símbolos de pontuação, como vírgulas e pontos. Todas as palavras dentro de uma determinada categoria são do mesmo tipo de *token*, embora o texto associado seja diferente. O tipo de nome do *token* representa o categoria identificador. Então precisamos tipos de *token* para o vocabulário *string* fixa símbolos como também lidar com espaços em branco e comentários.

- *LL(1) Recursive-Descent Parser*

Esse é o mais conhecido padrão de análise descendente recursiva. Ele só precisa consultar o símbolo de entrada atual para tomar decisões de análise. Para cada regra de gramática, existe um método de análise no analisador. Este padrão analisa a estrutura sintática da sequência sinal de uma frase usando um único *token lookahead*. Este analisador pertence à LL(1) classe do analisador de cima para baixo, em especial, porque usa um único sinal de verificação à frente (daí o “1” no nome). É o principal mecanismo de todos os padrões de análise subsequentes. Este padrão mostra como implementar as decisões de análise que utilizam um símbolo único da visão antecipada. É a forma mais fraca de descendente recursivo parser, mas o mais fácil de compreender e aplicar.

- *LL(k) Recursive-Descent Parser*

Este padrão utiliza a o modo *top-down* para percorrer um árvore semântica com o auxílio de expressões booleanas que ajudam na tomada de decisão e estas expressões são conhecidas como predicados semânticos.

2.4 Refactoring

Por definição, *refactoring* é corresponde a um conjunto de transformações de código que objetiva melhorar atributos internos de qualidade do software (como facilidade de compreensão e manutenção), mas que é caracterizado por preservar o comportamento do sistema.

Ou seja, muitos tipos de transformação podem ser aplicados em um software, mas, segundo M. Fowler et al. [5], uma transformação somente pode ser considerada um *refactoring* quando leva a uma melhoria na facilidade de entendimento do software. Contrastando esta visão, existem mudanças com objetivo de melhorar o desempenho do software onde somente são alteradas as estruturas internas; permanecendo inalterado o comportamento do software. Entretanto, uma melhoria na performance do software geralmente eleva o grau de dificuldade para sua compreensão, o que faz com que algumas dessas evoluções visando desempenho não sejam caracterizadas como *refactoring*.

De acordo com as abordagens ágeis de desenvolvimento, um software que não é constantemente melhorado em termos de decisões de design, tem o seu design deteriorado, o que leva a dificuldades de entendimento e modificação do código. Em geral, um design inadequado tem mais código que o necessário para realizar a mesma tarefa. O que leva

a um sintoma apontado como crucial para oportunidades de melhoria: a existência de código duplicado (frequentemente considerado um *bad smell*).

A Listagem 2.1 exemplifica um possível *refactoring* relacionado à redução da quantidade de linhas de código e *rejuvenecimento* das decisões de design com o uso de construções mais atuais da linguagem Java. Neste caso, a parte superior da listagem descreve um código escrito antes da versão Java 8 da linguagem; enquanto que a parte inferior descreve o código resultante após o *rejuvenecimento*— demonstrando a aplicação de um *filter* em uma *collection*. No exemplo, é possível perceber uma redução significativa de código. Vale destacar que a transformação descrita na Listagem 2.1 preserva o comportamento

Listing 2.1: Uso do padrão FILTER

```
//...
for(T e: collection) {
    if(e.pred(args)) {
        otherCollection.add(e);
    }
}

//might be replaced by:
collection.stream().
    filter(e->pred(args)).
    forEach(e -> otherCollection.add(e));
```

Tendo em vista que aplicar um *refactoring* demanda tempo, isto pode se tornar uma tarefa custosa para empresas. Este fator é determinante para que programadores não utilizem essa prática frequentemente. Com esse cenário, é imprescindível o uso de ferramentas que refatorem ou auxiliem nessa atividade.

2.5 Análise estática

Em computação análise estática é a referência a qualquer processamento realizado em código fonte sem a necessidade de executá-lo, com isto a análise estática torna-se uma poderosa técnica por permitir rápidas considerações por possibilitar uma larga exploração em um projeto podendo evitar erros triviais e simular alguns cenários para tal análise sem a necessidade do projeto ser executado.

Ferramentas que auxiliem a análise estática tem grande chance de ser um poderoso auxílio no desenvolvimento do software tendo em vista que pode reduzir a quantidade de erros e diminuir a quantidade de *refactoring* o qual tem um custo elevado para os projetos de software.

É nesse contexto que este trabalho faz sua contribuição por utilizar a análise estática para verificar não a possibilidade de falhas ou *bad smell*, mas sim de identificar chances reais de evoluir para últimas *features* da linguagem Java sem interferir no comportamento interno do programa conforme preconiza M.Fowler et al [5].

A linguagem Java proporciona duas maneiras de realizar análise estática, a primeira é através código fonte, *.java* e a segunda através do *bytecode*, *.class*. Este trabalho foca em realizar análise no código fonte, entre tanto nada impede que o trabalho seja realizado da segunda maneira. Existem programas renomados que realizam tal análise utilizando os *bytecodes* e um destes programas é o FindBugs [2].

Para obter sucesso através das análises realizadas, é necessário determinar padrões para encontrar características que dejesam ser evoluídas para a última versão da linguagem Java. Estes padrões são estabelecidos em uma estrutura que seja capaz de pesquisar nos nós da árvore da representação intermediária para extrair as informações pertinentes.

A técnica utilizada para pesquisar nos nós das árvores foi utilizar o padrão de projeto *Visitor* proposto por Gamma et al [9], pois este possibilitar que seja realizada uma operação sobre todos os elementos de uma estrutura, neste caso a operação é a pesquisa e a estrutura a representação intermediária.

A verificação de software possibilita a detecção de falhas de maneira precoce durante as fases de desenvolvimento entretanto este não é o objetivo deste trabalho pois existem ferramentas consolidadas que realizam tal análise de maneira excepcional. Aqui o objetivo principal é alertar ao desenvolvedor a possibilidade de usar o que há de mais recente na linguagem Java.

Capítulo 3

Analizador Estático e Caracterização do Uso de Construções da Linguagem Java

Com o intuito de obter uma compreensão sobre o uso das construções da linguagem Java, tornou-se necessária a implementação de uma ferramenta de análise estática de propósito bem específico, por outro lado com capacidade de ser extensível para extrair diferentes tipos de informações. Utilizando esse suporte ferramental, descrito na Seção 3.1, foi conduzido um estudo empírico para caracterizar o uso de construções da linguagem Java, cujos resultados estão descritos na Seção 3.2.

3.1 Analisador Estático

A Figura 3.1 apresenta uma visão geral dos elementos que compõem o analisador estático desenvolvido durante a condução deste trabalho de graduação. Em linhas gerais, tal suporte ferramental recupera do sistema de arquivos todos os arquivos contendo código fonte escrito na linguagem Java, realiza o *parse* desses arquivos gerando uma representação intermediária correspondente, mais adequada para as análises de interesse deste projeto, aplica uma série de mecanismos de análise estática para coletar as informações sobre o uso das características da linguagem de programação e, por fim, gera os resultados no formato apropriado para as análises estatísticas (no contexto deste projeto, foi feita a opção pelo formato CSV).

Atualmente existem diversas ferramentas e bibliotecas de programação que auxiliam a construção de analisadores estáticos, conforme as nossas necessidades. Entretanto, devido a maior experiência dos participantes do projeto com uso da linguagem Java, foi feita a opção por se utilizar a infraestrutura da plataforma *Eclipse Java Development Tools* [1] (Eclipse JDT). O Eclipse JDT fornece um conjunto de ferramentas que auxiliam na construção de ferramentas que permitem processar código fonte escrito na linguagem de programação Java. A plataforma Eclipse JDT é composta por 4 componentes principais: APT, *Core*, *Debug* e UI. Neste projeto a plataforma foi usada essencialmente através do *JDT Core*, que dispõe de uma representação Java para a navegação e manipulação dos elementos de uma árvore sintática AST gerada a partir do código fonte, onde os elementos da representação correspondem às construções sintáticas da linguagem (como pacotes, classes, interfaces métodos e atributos).

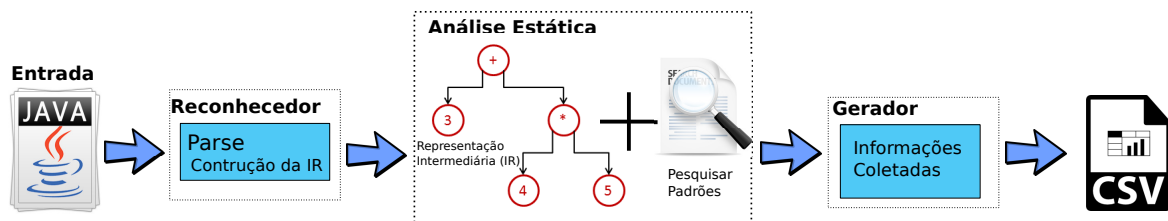


Figura 3.1: Visão geral da arquitetura do analisador estático

A **AST** provida pelo **JDT** é composta por 122 classes, como, por exemplo, existem 22 classe para representar sentenças como *IF-Than-Else*, *Switch*, *While*, *BreakStatement* entre outras. Existem cinco classes que trabalham exclusivamente com métodos referenciados e seis classes exclusivas que tratam os tipos declarados, como classes, interfaces e enumerações em Java. O Eclipse JDT [1] disponibiliza ainda um *parser* para a linguagem Java que atende a especificação Java 8 da linguagem e que produz a representação intermediária baseada no conjunto de classes Java mencionado anteriormente e que corresponde a uma **AST** do código fonte. A plataforma também oferece uma hierarquia de classes para travessia na **AST**, de acordo com o padrão de projeto *Visitor* [9], e que facilita a análise estática de código fonte.

O padrão de projeto *Visitor* [9] é um padrão de projeto de característica comportamental que representa uma operação a ser realizada sobre elementos de uma árvore de objetos. Neste caso, a operação a ser realizadas é visitar nós de interesse da **AST** Java (como os nós que representam o uso de uma expressão Lambda em Java). Cada *visitor* permite que uma nova operação seja criada sem que a estrutura da árvore de objetos sofra alterações. Com isso, torna-se relativamente simples adicionar novas funcionalidades em um *visitor* existente ou criar um novo *visitor*. Por outro lado, a biblioteca Eclipse JDT não fornece mecanismos para extração e exportação de dados. Entretanto, no contexto deste projeto, foi implementado um conjunto de classes que visam obter maior facilidade e flexibilidade na exportação das informações coletadas durante a travessia nos nós das ASTs. Essa flexibilidade foi alcançada com a utilização de introspecção de código, que em Java é conhecido como *reflection*. As próximas seções apresentam mais detalhes sobre a arquitetura e implementação do analisador estático, descrevendo as principais decisões de projeto relacionadas às cinco fases do analisador estático.

3.1.1 Entrada do Analisador Estático

O analisador estático recebe como entrada um arquivo **CSV** (*comma-separated values*) que contém informações sobre os projetos a serem analisados, como nome do projeto, caminho absoluto para uma pasta no sistema de arquivos contendo o código fonte do projeto e a quantidade de linhas de código previamente computadas (conforme ilustrado na Figura 3.1). As informações contidas no arquivo **CSV** são processadas por um conjunto de classes utilitárias que percorrem os diretórios de um determinado projeto e seleciona todos os arquivos fonte da linguagem Java. Os arquivos contendo código fonte Java servem então como a entrada descrita na representação abstrata do analisador estático (Figura 3.1). Ou seja, para cada projeto são recuperados os arquivos contendo código fonte Java, que são convertidos para uma representação intermediária (por meio de um parser

existente); processados e analisados com uma infraestrutura de *visitors*, e os resultados das análises são ,por fim, exportados.

Conforme mencionado, essa fase do analisador estático realiza o processamento de cada arquivo Java dos projetos analisados. Sob a perspectiva de usabilidade, o usuário deve executar o programa principal informando, na linha de comando, o caminho para o arquivo **CSV** contendo as definições dos projetos. Isso produz uma lista contendo todos os projetos a serem processados (ver Linha 25 no Listing: 3.2). Após a lista de projetos ter sido carregada, cada projeto é analisado com o uso da classe **ProjectAnalyser**, que possui um método (**analyse**) com a lógica necessária para processar a base de código fonte de cada projeto. A Figura 3.3 apresenta a implementação do método **analyse**, que recebe como parâmetro um projeto. Note na linha seis da Figura 3.3 que o resultado do *parse* em um arquivo fonte produz uma instância da classe **CompilationUnit** que pertence a plataforma Eclipse JDT e que representa a AST de um determinado arquivo Java. Essa classe possui um método **accept**, conforme o padrão de projeto *visitor*, que é usado para pela ferramenta de análise estática para coletar as informações do uso de construções Java por meio de uma análise da representação intermediária. Isso é feito considerando cada um dos *visitors* aplicados em uma análise específica.

```
1 public class Main {
2     public static void main(String[] args) {
3         String pathCsv = "','';
4
5         if(args.length == 1) {
6             System.out.println("Args: ' + args[0].toString());
7             pathCsv = args[0];
8         }else {
9             System.out.println("Error: inform a valid csv file!!!\nEXIT'");
10            System.exit(0);
11        }
12
13        ReadCsv rcsv = new ReadCsv(pathCsv);
14
15        List<String> errors = rcsv.getError();
16
17        errors.forEach(e -> System.out.println("Error in ' + e));
18
19        ApplicationContext ctx = CDI.Instance().getContextCdi();
20
21        ProjectAnalyser pa = ctx.getBean("'pa'", ProjectAnalyser.class);
22
23        List<Project> projects = rcsv.readInput();
24
25        try {
26            projects.stream().forEach(project -> pa.analyse(project));
27        }catch(Exception t) {
28            t.printStackTrace();
29        }
30    }
31 }
```

Figura 3.2: Classe que representa o programa principal do analisador estático

```

public void analyse(Project p) {
    CompilationUnit compilationUnit = null;
    List<String> fs = IO.list(p.getPath(), new String[] { 'java' });

    for (String file : fs) {
        compilationUnit = Parser.Instance().parse(new File(file));

        for (IVisitor visitor : listVisitors){
            visitor.getCollectedData().setProject(p);
            visitor.setFile(file);
            visitor.setUnit(compilationUnit);

            compilationUnit.accept((ASTVisitor) visitor);
        }
    }
    exportData();
}

```

Figura 3.3: Implementação do método `analyse`, na classe `ProjectAnalyser`.

3.1.2 Análise da Representação Intermediária

Conforme mencionado na seção anterior, o resultado do *parser* em um arquivo fonte produz uma instância da classe `CompilationUnit`, que corresponde a uma **AST** com todas as definições de tipo e implementação de comportamento presentes em um módulo Java. A plataforma Eclipse JDT oferece uma infraestrutura de classes para realizar a travessia em uma **AST**, usando o padrão de projeto *visitor*. Dessa forma, foi feita uma implementação de biblioteca de *visitors*, para extrair as informações presentes na representação intermediária.

No contexto deste projeto, e objetivando um maior grau de reuso, toda classe *visitor* precisa herdar de uma classe abstrata e parametrizada em relação a um tipo `T`, a classe `Visitor<T>`, onde o tipo `T` deve corresponder a classe usada para armazenar as informações coletadas pelo *visitor*. O parâmetro de tipo `T` faz referência a uma classe composta basicamente por atributos e por operações de acesso (*getters* e *setters*), que serve para representar os dados extraídos. Em geral, de acordo com a arquitetura do analisador estático proposto, para cada construção que se deseja identificar o perfil de adoção nos projetos, são criadas duas classes: uma classe (`public class C{ ...}`) que representar as informações de interesse associadas ao uso de uma construção da linguagem Java e uma classe (`public class CVisitor extends Visitor<C> { ...}`) que *visita* a construção de interesse na árvore sintática abstrata. Por exemplo, a Figura 3.4 apresenta o código necessário para visitar e popular informações relacionadas a declaração de enumerações. A classe `public class Visitor<T> { ...}` possui uma coleção de objetos do tipo parametrizado, sendo possível adicionar instâncias desses objetos com a chamada `collectedData.addValue()`. Note que o exemplo apresentado corresponde a um dos mais simples *visitors* implementados. Outros *visitors* possuem uma lógica mais elaborada, como por exemplo os *visitors* que identificam oportunidades para usar construções como *multi-catch* ou *lambda expressions*.


```

public class EnumDeclaration {
    private String file;
    private int startLine;
    private int endLine;

    //constructor + getters and setters.
}

public class EnumDeclarationVisitor extends Visitor<EnumDeclaration> {

    @Override
    public boolean visit(org.eclipse.jdt.core.dom.EnumDeclaration node) {

        EnumDeclaration dec = new EnumDeclaration(...);

        collectedData.addValue(dec);

        return true;
    }
}

```

Figura 3.4: Classes usadas para capturar declarações de enumerações.

Descrição dos Visitors

Os *visitors* implementados neste projeto são brevemente descritos a seguir, enquanto que a Tabela 3.1 apresenta duas métricas relacionadas à complexidade de implementação, em termos de complexidade ciclomática e total de linhas de código fonte. A complexidade ciclomática é dada pela quantidade de caminhos independentes em um trecho de código, enquanto que a quantidade de linhas de código foi computada ignorando comentários e linhas em branco. Vale ressaltar que a complexidade ciclomática dos *visitors* varia entre um e oito (com a média igual a 2.5). A quantidade média de linhas de código necessária para escrever um *visitor* é 47.

- **AIC:** Coleta informações relacionadas a declaração de *Anonymous Inner Classes*. Tal informação é útil para estimar oportunidades de uso de expressões lambda.
- **ExistPattern:** Coleta informações de laços **foreach** que iteram sobre uma coleção com o intuito de verificar se um determinado objeto está presente na coleção. Tal informação é útil para estimar oportunidades de uso de expressões lambda.
- **FieldAndVariableDeclaration:** Coleta informações relacionadas a declarações de atributos e variáveis, com o intuito de extrair informações sobre a adoção de Java Generics.
- **FilterPattern:** Coleta informações de laços **foreach** que iteram sobre uma coleção com o intuito de filtrar elementos presentes na coleção. Tal informação é útil para estimar oportunidades de uso de expressões lambda.

- **ImportDeclaration**: Coleta informações relacionadas à importação de bibliotecas, sendo útil para estimar a adoção de bibliotecas voltadas para programação concorrente ou integração com linguagens de scripting, por exemplo.
- **LambdaExpression**: Coleta informações relacionadas à adoção de expressões lambda.
- **Lock**: Verifica se os métodos utilizam algum dos mecanismos de *lock* suportados diretamente pela linguagem Java, como **Lock**, **ReentrantLock**, **ReadLock** ou **WriteLock**.
- **MapPattern**: Coleta informações de laços **foreach** que iteram sobre uma coleção com o intuito de aplicar alguma operação sobre os elementos presentes na coleção. Tal informação é útil para estimar oportunidades de uso de expressões lambda.
- **MethodCall**: Coleta informações relacionadas às chamadas de método, sendo útil para estimar o uso da API de introspecção de código, por exemplo.
- **MethodDeclaration**: Coleta informações relacionadas às declarações de métodos, sendo útil para identificar padrões de uso de Java Generics, por exemplo.
- **ScriptEngine**: Coleta informações relacionadas ao uso da API Java para integração com linguagens de scripting.
- **SwitchStatement**: Coleta informações relacionadas ao uso de sentenças **switch-case**, com o intuito principal de identificar o uso de **strings** nesse tipo de sentença.
- **SwitchString**: Coleta informações associadas às oportunidades de reestruturação de código para usar sentenças **switch-case** com **strings**.
- **TryStatement**: Coleta informações relacionadas ao uso de blocos **try-catch**, em particular para estimar o uso da construção **try-with-resources**.
- **TypeDeclaration**: Coleta informações sobre os tipos declarados (classes, interfaces, enumerações), com o intuito, por exemplo, de estimar a adoção de Java Generics.

Tabela 3.1: Estimativa da complexidade de desenvolvimento de cada *visitor*.

Visitor	CC	LoC
AIC	6	64
ExistPattern	28	116
FieldAndVariableDeclaration	8	81
FilterPattern	43	168
ImportDeclaration	1	63
LambdaExpression	1	33
Lock	12	75
MapPattern	27	103
MethodCall	2	22
MethodDeclaration	5	45
ScriptingEngine	5	39
SwitchStatement	3	35
SwitchStringOpportunities	3	50
TryStatement	11	80
TypeDeclaration	2	41

Extensibilidade para Inclusão de Novos Visitors

Para tornar a solução mais extensível, foram utilizados os mecanismos de *Injeção de Dependência* e introspecção de código. Injeção de dependência (*Dependency Injection*, **DI**), é um mecanismo de extensibilidade mais conhecido como um padrão de projeto originalmente denominado de inversão de controle (*Inversion of Control*, **IoC**). De acordo com esse mecanismo, a sequência de criação dos objetos depende de como os mesmos são solicitados pelo sistema. Ou seja, quando um sistema é iniciado, os objetos necessários são instanciados e injetados de forma apropriada, geralmente de acordo com arquivo de configurações. O mecanismo de injeção de dependência foi incorporado na arquitetura com o uso do *framework* Spring [3], o que não causou nenhum impacto significativo na solução inicialmente proposta e que não fazia uso de tal mecanismo— nesse caso, os *visitors* eram instanciados de maneira *programática*. O uso do mecanismo de injeção de dependência serviu para flexibilizar não apenas a incorporação de novos *visitors*, mas também para definir, de forma mais flexível, a estratégia de exportação dos dados coletados. Graças ao mecanismo de injeção de dependência, o desenvolvedor pode concentrar seu esforço na criação de *visitors*, fazendo como que estes implementem a lógica necessária para extrair as informações. Para que novos *visitors* se conectem à plataforma, tornou-se necessário declarar o *visitor* no arquivo com a definição dos objetos gerenciados pelo Spring [3].

3.1.3 Exportação dos Dados

Na versão atual do suporte ferramental desenvolvido nessa monografia, os dados coletados pelo analisador estático são exportados exclusivamente no formato **CSV**. Esse formato facilita as análises estatísticas usando o ambiente e linguagem de programação R [16]. Também com foco na extensibilidade do sistema, os componentes envolvidos na geração de relatórios utilizam os mecanismos de injeção de dependência, mencionado na seção anterior, e introspecção de código, via *API Reflection* da linguagem de programação Java. Tal mecanismo oferece aos programadores a capacidade de escrever componentes que podem observar e até modificar a estrutura e o comportamento dos objetos em tempo de execução.

A geração dos relatórios utiliza a classe `public class CSVData<T> { ... }` onde o tipo parametrizado `<T>` é o mesmo utilizado para representar os dados coletados pelos *visitors*. Os dados são obtidos através dos métodos de acesso (*getters*) destas classes e exportados para arquivos **CSV**. O método `export()` da classe **CSVData<T>** descobre quais dados são armazenados nos objetos do tipo `<T>`, usando o mecanismo de introspecção de código. Com isso, é possível generalizar a implementação e simplificar a exportação de dados coletados a partir de *visitors* específicos. Ou seja, após a descoberta dos dados coletados pelos *visitors* usando introspecção, é possível recuperar os mesmos assumindo a existência de métodos de acesso (*getters* de acordo com a especificação Java Beans) e, como isso, exportá-los em arquivos **CSV** de saída. A Figura 3.5 apresenta o uso desse mecanismo para generalizar a exportação dos dados.

```

public class CSVData<T> implements Data<T> {

    @Override
    public void export() {
        StringBuffer str = new StringBuffer("");

        if(data == null) { return; }

        for(T value : data) {
            //reflection code...
            for(Field f: value.getClass().getDeclaredFields()){

                String fieldName = f.getName();
                String prefix = "get";

                if(f.getType().isPrimitive() &&
                   f.getType().equals(Boolean.TYPE)) {
                    prefix = "is";
                }

                String methodName = prefix +
                    Character.toUpperCase(fieldName.charAt(0)) +
                    fieldName.substring(1);

                Method m = value.getClass().getDeclaredMethod(methodName);
                str.append(m.invoke(value));
                str.append(";");

                writer.append(str.toString());
                writer.append("\n");

                writer.flush();
            }
        }
    }
}

```

Figura 3.5: Exportação de dados usando o mecanismo de introspecção de código.

3.2 Resultados

Essa seção descreve os resultados de um estudo empírico sobre a adoção de *features* da linguagem Java e *standard libraries*, que pode ser parcialmente compreendido como uma replicação de um estudo existente [13]. Adicionalmente, a contribuição deste trabalho investiga outras quatro características da linguagem Java além de *Java Generics*, que são *Java Lambda Expression*, *Multi-catch*, *Try-Resource* e *Switch-String*.

Para a realizar essa investigação, quarenta e seis projetos opensource foram escolhidos e separados em 3 grupos: **G1** projetos iniciados antes do lançamento de *Java Generics*, **G2** projetos iniciados após o lançamento de *Java Generics* e **G3** projetos com a última *release* em 2015. Alguns destes projetos são os mesmos utilizados em [8, 13, 19], e também fora separados pela natureza da projeto. Isto é, os projetos foram classificados como *aplicações*, *bibliotecas* e *servidores/banco de dados*, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Projetos.

	System	Release	Group	LOC
Application	ANT	1.9.6	G1	135741
	ANTLR	4.5.1	G1/G3	89935
	Archiva	2.2.0	G2/G3	84632
	Eclipse	R4_5	G1	13429
	Eclipse-CS	6.9.0	G1	20426
	FindBugs	3.0.1	G1/G3	131351
	FitNesse	20150814	G2/G3	72836
	Free-Mind	1.0.1	G1	67357
	Gradle	2.7	G2	193428
	GWT	2.7.0	G2	15421
	Ivy	2.4.0	G2/G3	72630
	jEdit	5.2.0	G1	118492
	Jenkins	1.629	G2/G3	113763
	JMeter	2.13	G1/G3	111317
	Maven	3.3.3	G1/G3	78476
	Openmeetings	3.0.6	G2/G3	50496
	Postgree JDBC	9.4.1202	G1/G3	43596
	Sonar	5.0.1	G2/G3	362284
	Squirrel	3.4.0	G1	252997
	Vuze	5621-39	G1	608670
	Weka	3.6.12	G1	274978
Library	Axis	1.4	G2	121820
	Commons Collections	4.4.0	G1	51622
	Crawler4j	4.1	G2/G3	3986
	Hibernate	5.0.1	G1/G3	541116
	Isis	1.9.0	G2	262247
	JClouds	1.9.1	G2/G3	301592
	JUnit	4.1.2	G1/G3	26456
	Log4j	2.2	G1/G3	69525
	MyFaces	2.2.8	G2/G3	222865
	Quartz	2.2.1	G2	31968
	Spark	1.5.0	G2/G3	31282
	Spring-Framework	4.2.1	G1/G3	531757
	Storm	0.10.0	G2/G3	98344
	UimaDucc	2.0.0	G2	96020
	Wicket	7.0.0	G2/G3	211618
	Woden	1.0	G2/G3	29348
	Xerces	2.11.0	G1	126228
Servers - Databases	Cassandra	2.2.1	G2/G3	282336
	Hadoop	2.6.1	G2/G3	896615
	Jetty	9.3.2	G1	299923
	Lucene	5.3.1	G1	506711
	Tomcat	8.0.26	G1/G3	287897
	UniversalMedia Server	5.2.2	G3	54912
	Wildfly	9.0.1	G1/G3	392776
	Zookeeper	3.4.6	G3	61708

3.3 Adoção de Java Generics

Relacionado com a adoção de *Java Generics*, a maioria dos projetos apresenta um porção significativa entre a quantidade de tipos genéricos e a quantidade total de tipos declarados em média (5.31% e 12.31%). Pode-se verificar que em 16% dos sistemas não declaram nenhum tipo genérico e que o projeto *Commons Collections* é o projeto que faz uso mais expressivo de tipos parametrizados: 75% de todos os tipos declarados são genéricos.

Também foi investigada a relação entre tipos genéricos declarados e todos os tipos considerando os tipos e idade dos sistemas. Tabela 3.3 apresenta um resumo desta observação onde é possível verificar que o uso típico de *Java Generics* não muda significativamente entre os tipos de projetos Java, embora essa proporção seja mais baixa para aplicações e servidores/bancos de dados com versões anteriores ao lançamento do Java SE 5.0.

Tabela 3.3: Resumo dos tipos agrupados por idade e do tipo dos projetos.

Tipo de Projeto	Antes Java SE 5.0	Tipo	Tipo Genérico	Ratio(%)
Aplication	Yes	18168	177	0.97
Aplication	No	16148	744	4.61
Library	Yes	21537	1198	5.56
Library	No	22639	947	4.18
Server/Database	Yes	18038	552	3.10
Server/Database	No	11790	760	6.45

Existe um número expressivo de atributos e variáveis declaradas como instâncias de tipos genéricos. Considerando um total de 925 925 variáveis e atributos declarados em todos os projetos, 84 880 são instâncias de tipos genéricos, aproximadamente 10% de todas as declarações. Além disso, a partir destes atributos e variáveis declaradas como instância de tipos genéricos, quase 17% são instâncias dos tipos presentes na Tabela 3.4. Note que, em um trabalho anterior, Parning et al. [13] apresenta `List<String>` com quase 25% de todas as ocorrências de tipos genéricos. O que pode ser confirmado que `List<String>` ainda é o tipo com maior frequência de uso entre os tipos genéricos. Por outro lado, é importante observar que, em um total de 730 720 métodos, apenas 6157 (0.84%) são *métodos parametrizados*.

Tabela 3.4: Tipo declarado X Número de instância

Tipo	Número de Instância
<code>List<String></code>	4993
<code>Class<?></code>	3033
<code>Set<String></code>	2872
<code>Map<String,String></code>	2294
<code>Map<String,Object></code>	1554

Também foi investigado o uso mais avançado de *Java Generics*, incluindo construções que fazem polimorfismo não universal. Com este recurso é possível criar classes paramétricas que aceitam qualquer tipo **T** como argumento, uma vez que um tipo **T** satisfaça

um determinada pré-condição. Isto é, o tipo **T** deve ser um qualquer um subtipo (usando o modificador *extends*) ou um super-tipo (usando o modificador *super*) de um determinado tipo existente. Estes modificadores podem ser usados tanto na declaração de novos tipos, bem como na declaração de campos e variáveis em combinação com o *wildcard* (?). A partir de 4355 tipos genéricos declarados em todos os sistemas, observou-se que 1271 (aproximadamente 30%) usam alguns desses modificadores (*extends*, *super*, ou ?). Notavelmente, o modificador *extends* é o mais comum, e está presente em todos os tipos genéricos que usam os modificadores ? e *super*. Alguns casos de uso são combinações de modificadores, como no exemplo da Listing: 3.1, onde a classe `IntervalTree` (projeto CASSANDRA) é parametrizado de acordo com três parâmetros de tipo (C, D e I). Com relação aos campos e declarações de variáveis, quase 13% de todos os casos genéricos usam o ? *wildcard* e 3,13% usam o *extends*.

Listing 3.1: Declaração não trivial de Generics.

```
public class IntervalTree<C extends Comparable<? super C>, D, I extends
    Interval<C, D>> implements Iterable<I>{
    //...
}
```

Os resultados mostram que *Java Generics* é uma *feature* em que corresponde a 5% de todos os tipos declarados dos sistemas, portanto, uma grande quantidade de código repetido e coerções de tipos foram evitados usando tipos genéricos. Além disso, a partir desses tipos genéricos, quase 30% usam um recurso avançado (como *extends* e *super* envolvendo parâmetros de tipo). Também foi observado que quase 10% de todos os atributos e variáveis declaradas são tipos genéricos, embora a maior parte são instâncias de tipos genéricos da biblioteca *Java Collection*. Finalmente, embora Parnin et al. [13] argumentam que uma classe como *StringList* pode cumprir 25% das necessidades de desenvolvedores entretanto, o uso de *Java Generics* não deve ser negligenciada devido aos benefícios que são incorporados ao sistema.

3.4 Adoção de Java Lambda Expression

Considerando os sistemas pesquisados, o uso de *Java Lambda Expression* ainda é muito limitado, independente das expectativas e reivindicações sobre os possíveis benefícios dessa construção. Na verdade, apenas cinco projetos adotam este recurso conforme a Tabela 3.5, embora o cenário de uso (quase 90%) está relacionado com testes unitários.

Essa observação levou a um questionamento se algum *framework* de teste unitário (particularmente o Mockito) conduzia os desenvolvedores a usar expressões lambda em testes automatizados. Entretanto após analisar manualmente o código fonte não foi encontrado nenhum indício da adoção de *Java Lambda Expression* para testes unitários o que pode-se concluir que tais testes ocorreram de forma *ad-hoc* através de esforços individuais de cada desenvolvedor. Ou seja, a partir de milhares de casos de testes unitários no *Hibernate*, apenas poucos testes para uma biblioteca específica (relacionados com *cache*) usam *Java Lambda Expression*. Este pequeno uso de *Java Lambda Expression* pode ser principalmente motivado por uma decisão estratégica do projeto para evitar a migração do código fonte ultrapassado para a versão mais atual.

Tabela 3.5: Ocorrências de Expressões Lambda.

Sistema	Ocorrências Expressões Lambda
Hibernate	168
Jetty	2
Lucene	11
Spark	77
Spring-framework	121

Foi enviado mensagens para grupos do desenvolvedores sobre o assunto, e algumas respostas esclarecem a atual situação da adoção de Java *Lambda Expression*. Primeiro de tudo, para sistemas estabelecidos, as equipes de desenvolvedores muitas vezes não podem assumir que todos os usuários sejam capazes de migrar para uma nova versão do Java *Runtime Environment*. Por exemplo, o seguinte *post* explica uma das razões para não adotar algumas construções adicionada a linguagem Java:

“É, sobretudo, para permitir que as pessoas que estão vinculados (por qualquer motivo) a versões mais antigas do **JDK** utilizem nosso software. Há um grande número de projetos que não são capazes de usar novas versões do **JDK**. Eu sei que este é um tema controverso e acho que a maioria de gostaria de usar todos esses recursos. Mas não devemos esquecer as pessoas que usam nosso software em seu trabalho diário” (<http://goo.gl/h0uloY>).

Além disso, uma abordagem inicial utilizando uma nova característica da linguagem é mais oportunista. Ou seja, os desenvolvedores não migram todo o projeto, mas em vez disso as modificações que introduzem estas novas construções de linguagem ocorrem quando eles estão implementando novas funcionalidades. Duas respostas a estas perguntas deixam isso claro:

“Nós tentamos evitar reescrever grandes trechos de código base, sem uma boa razão. Em vez disso, tirar proveito dos novos recursos de linguagem ao escrever novo código ou refatoração código antigo.” (<https://goo.gl/2WgjVG>)

“Eu, pessoalmente, não gosto da ideia de mover todo o código para uma nova versão Java, eu modifico áreas que atualmente trabalho.” (<http://goo.gl/GQ4Ckn>).

Observe que não se pode generalizar estas conclusões com base nessas respostas, uma vez que não foi conduzida uma investigação empírica mais estruturada em termos de *survey*. No entanto, estas respostas podem apoiar trabalhos contra a adoção antecipada de novos recursos de linguagem por sistemas estabelecidos com uma enorme comunidade de usuários.

Também foi efetuada uma busca no *STACK OVERFLOW* tentando descobrir se Java *Lambda Expression* é um tema discutido atualmente ou não ¹, utilizando *tags* Java e Lambda. Foi encontrada mais de 1000 questões respondidas. Este número é bastante expressivo, quando considerou-se uma busca por questões marcadas com as *tag* de Java Generics levou-se a um número próximo de 10 000 perguntas, embora *Generics* tenha

¹Última pesquisa realizada em Novembro 2015

sido introduzido há mais de dez anos. Possivelmente, Java *Lambda Expression* está sendo usado principalmente em pequenos projetos e experimentais. Isso pode contrastar com os resultados anteriores [8], que sugerem uma adoção antecipada de novos recursos da linguagem (mesmo antes de lançamentos oficiais). Com base nesses resultados, pode-se argumentar que a adoção antecipada de novos recursos da linguagem ocorre em projetos pequenos e experimentais.

Também foi feita uma investigação sobre as oportunidades de adoção de Java *Lambda Expression* nos projetos estudados. Desta forma, foi complementado um testou maior [10], que investigou as mesmas questões porém eu um número de inferior de projetos. Existem dois cenários típicos para *refactoring* utilizando Expressões Lambda: *Anonymous Inner Classes* (AIC) e *Enhanced for Loops* (EFL). É importante notar que nem todas as AICs e EFLs podem ser reescritas utilizando Java *Lambda Expression*, e existem rígidas condições que são detalhadas em [10]. Neste trabalho foi utilizado uma abordagem mais conservadora para considerar se é possível refatorar *Enhanced for Loops* para Java *Lambda Expression*, o que evita falsos positivos. Entretanto, foram consideradas somente oportunidades de refatorar EFL para Java *Lambda Expression* em três casos particulares: EXIST PATTERN, BASIC FILTER PATTERN e BASIC MAPPING PATTERN, descritos nas Listagens: 3.2, 3.3 e 3.4.

Listing 3.2: EXIST PATTERN.

```
//...
for(T e : collection){
    if(e.pred(args)){
        return true;
    }
}
return false;

//pode ser refatorado para:
return collection.stream().anyMatch(e->pred(args));
```

Listing 3.3: FILTER PATTERN.

```
//...
for(T e : collection){
    if(e.pred(args)){
        otherCollection.add(e);
    }
}

//pode ser refatorado para:
collection.stream().filter(e->pred(args)).forEach(e->otherCollection.add(e));
```

Listing 3.4: MAP PATTERN.

```
//...
for(T e : collection){
    e.foo();
    e = blah();
    otherCollection.add(e);
}

//pode ser refatorado para:
```

```
collection.stream().forEach(e->{
    e.foo();
    e = blah();
    otherCollection.add(e);
});
```

Mesmo com uma abordagem conservadora, foram encontradas 2496 casos em que poderiam ser efetuados o *refactoring* **EFL** para Expressão Lambda. Atualmente, a maior parte destes 2190 casos correspondem ao MAP PATTERN.

3.4.1 Análises adicionais

Os principais resultados dessa monografia estavam relacionados à investigação discutida nas seções anteriores. Por outro lado, a infraestrutura construída durante a realização desse trabalho favorece a investigação de outras construções da linguagem Java. Conforme discutido por Jeffrey L. Overbey et al. [12], desenvolvedores Java mantém construções ultrapassadas ao longo histórico de versões de um software o que de fato é possível devido a compatibilidade mantida entre as versões da linguagem. Tais construções somente seriam evitadas caso ocorresse uma ruptura desta filosofia de compatibilidade da linguagem tal como ocorreu na linguagem Fortran [12], quando foi introduzido o paradigma de orientação a objetos—levando a quebra de compatibilidade com versões anteriores da linguagem Fortran.

Baseado nesta assertiva, foi feita uma investigação adicional que visa minerar o uso de construções obsoletas em código fonte existente e encontrar possíveis casos de trechos de código que poderiam ser evoluídos ao longo das versões da linguagem Java. Essas situações caracterizam cenários potenciais de melhoria de código e preservam o comportamento do sistema (tipicamente um *refactoring*), com o objetivo único de usar construções introduzidas nas versões 7 e 8 da linguagem Java. Dentre as evoluções da linguagem, essa seção descreve os resultados para se identificar oportunidades de adoção das características **multi-catch**, **try resource** e **switch com string** bem como se as mesmas estão sendo adotadas.

3.4.2 Oportunidades para uso da construção **multi-catch**

O mecanismo de tratamento de exceção sempre esteve presente na linguagem Java; entretanto, Java 7 forneceu uma evolução elegante e que permite ao desenvolvedor utilizar blocos **multi-catch** que possibilitam a concatenação de **catchs** iguais ou similares. Com isso, a adoção deste recurso permite a redução da lógica duplicada em **catchs** distintos de uma mesma construção **try-catch**.

Com as análises realizadas, foi possível identificar uma quantidade significativa de oportunidades de uso dessa construção, conforme exibido na Figura: 3.6. Ao todo 95% dos projetos pesquisados possuem oportunidades reais para aplicação de **multi-catch** e foram encontrados 1474 blocos **try** que possuem *catchs* repetidos. Estas ocorrências estão distribuídas em 1028 arquivos e totalizando 30 936 **LOC!**. Importante observar que o teste de similaridade entre os blocos **catch** foi realizado através de uma chamada a um método externo que verifica a igualdade da árvore sintática. Apesar dessa abordagem não fazer uso de uma estratégia de análise de similaridade de código mais robusta, a mesma

pode ser facilmente alterada de acordo com algum algoritmo existente. A Tabela: 3.6 exibe a distribuição de oportunidades de multi-catch pela natureza do sistema.

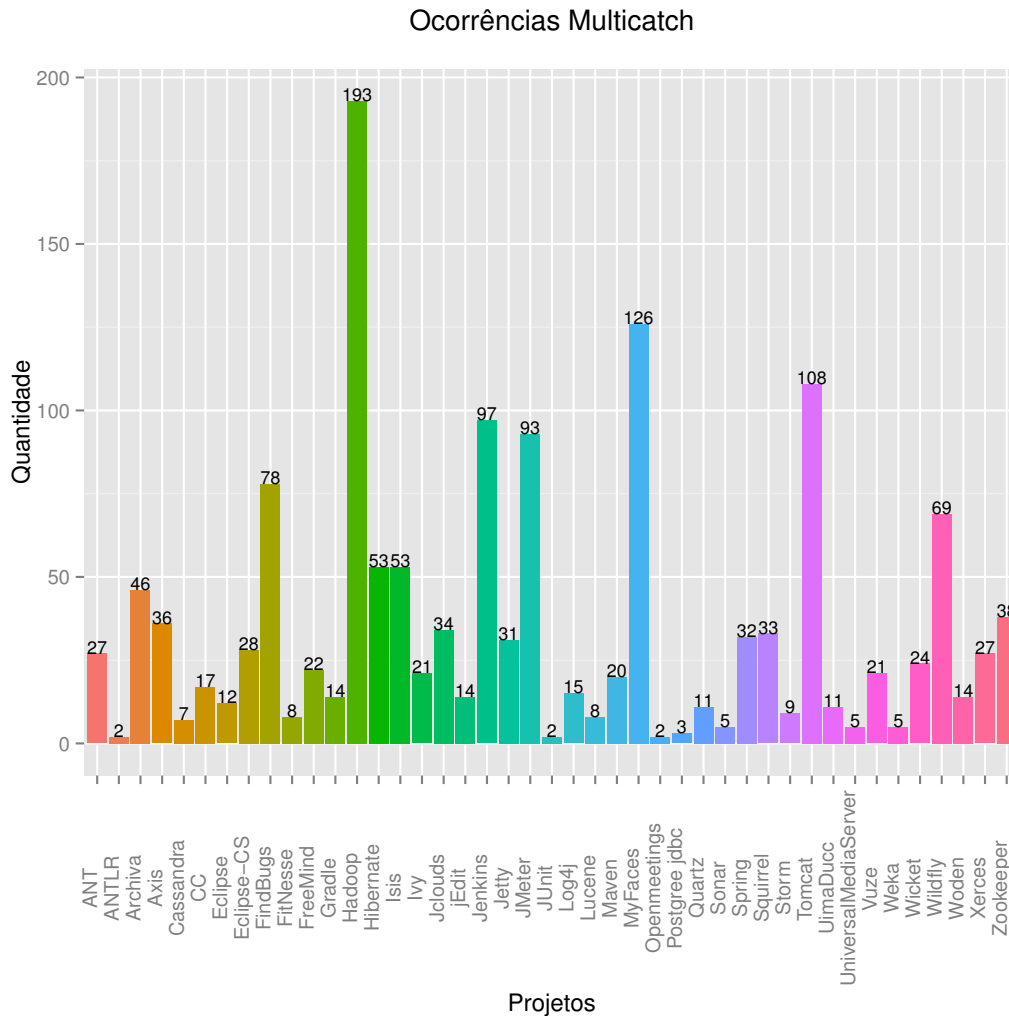


Figura 3.6: Oportunidades de multi-catch nos projetos.

A implantação de multi-catch em um projeto pode ser iniciada com substituição de blocos catch aninhados por este recurso tornando evidente a redução significativa das **LOC!** duplicadas. A classe `AbstractNestablePropertyAccessor` do projeto *Spring 4.2.0.RC2* contém `catch` duplicado conforme a listagem: 3.5. Entretanto após um *refactoring* na Listing: 3.5 para implantação do recurso multi-catch pode-se verificar na Listing: 3.6 a redução significativa de código duplicado na ordem de 42% o que torna este recurso muito útil sem causar grandes mudanças no software.

Listing 3.5: Código sem adoção de multi-catch

```
try {
    ...
} catch (ConverterNotFoundException ex) {
    PropertyChangeEvent pce = new PropertyChangeEvent(this.rootObject,
        this.nestedPath + propertyName, oldValue, newValue);
```

Tabela 3.6: Oportunidades de multi-catch por tipo do sistema.

Natureza	Ocorrências
Application	551
Library	464
Servers - Database	459
Total	1474

```

    throw new ConversionNotSupportedException(pce, td.getType(), ex);
} catch (ConversionException ex) {
    PropertyChangeEvent pce = new PropertyChangeEvent(this.rootObject,
        this.nestedPath + propertyName, oldValue, newValue);
    throw new TypeMismatchException(pce, requiredType, ex);
} catch (IllegalStateException ex) {
    PropertyChangeEvent pce = new PropertyChangeEvent(this.rootObject,
        this.nestedPath + propertyName, oldValue, newValue);
    throw new ConversionNotSupportedException(pce, requiredType, ex);
} catch (IllegalArgumentException ex) {
    PropertyChangeEvent pce = new PropertyChangeEvent(this.rootObject,
        this.nestedPath + propertyName, oldValue, newValue);
    throw new TypeMismatchException(pce, requiredType, ex);
}

```

Listing 3.6: Refactoring com uso de multi-catch

```

try {
    ...
} catch (ConverterNotFoundException ex | IllegalStateException ex) {
    PropertyChangeEvent pce = new PropertyChangeEvent(this.rootObject,
        this.nestedPath + propertyName, oldValue, newValue);
    throw new ConversionNotSupportedException(pce, td.getType(), ex);
} catch (ConversionException ex | IllegalArgumentException ex) {
    PropertyChangeEvent pce = new PropertyChangeEvent(this.rootObject,
        this.nestedPath + propertyName, oldValue, newValue);
    throw new TypeMismatchException(pce, requiredType, ex);
}

```

3.4.3 Try Resource

Como continuação da evolução do mecanismo de exceção de Java 7 introduziu `try-resource` onde o `resource` é um objeto que implemente `java.lang.AutoCloseable` ou `java.io.Closeable` e com isso o mecanismo garante o encerramento do recurso com encerramento do `statement` o que antes de recurso só era capaz utilizando um bloco `finally`².

Listing 3.7: Try sem adoção de resource.

```

static String readFirstLineFromFileWithFinallyBlock(String path)
    throws IOException
{
    BufferedReader br = new BufferedReader(new FileReader(path));
    try {

```

²try-resource pode utilizar `catch` e `finally` de forma igual ao `try-catch`

```

        return br.readLine();
    } finally {
        if (br != null) br.close();
    }
}

```

Listing 3.8: Try adotando resource.

```

static String readFirstLineFromFileWithFinallyBlock(String path)
                                                    throws IOException
{
    try ( BufferedReader br = new BufferedReader(new
        FileReader(path)); ){
        return br.readLine();
    }
}

```

Este trabalho contribui com a pesquisa para verificar como é a adoção deste recurso, após a realização das análise foram encontrados 1616 ocorrências de utilização onde a Figura: 3.7 demonstra a distribuição por projetos e somente 13 projetos o utilizam totalizando apenas 28% dos projetos verificados.

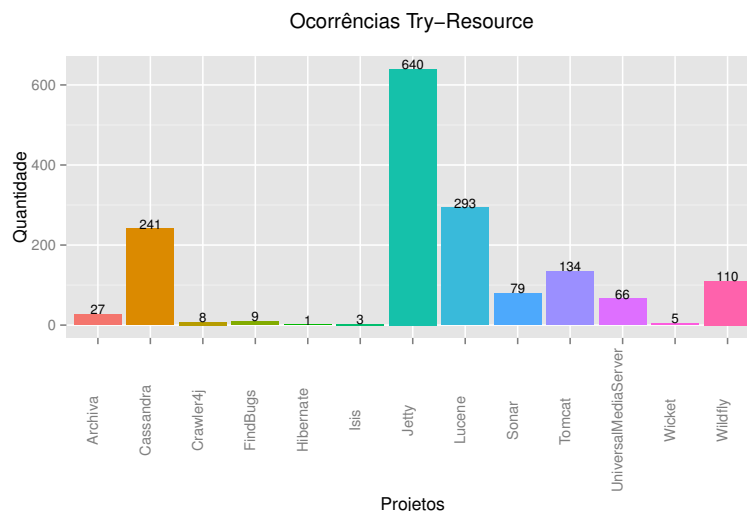


Figura 3.7: Adoção de Try-Resource nos projetos.

A Tabela: 3.7 exibe a distribuição deste recurso por tipo de sistema. Onde pode-se constatar que os **Servers-Database** realizaram uma adoção significativa de 91% em relação aos demais tipos.

Tabela 3.7: Adoção Try-Resource por tipo do sistema.

Natureza	Ocorrências
Application	115
Library	17
Servers - Database	1484
Total	1616

3.4.4 Switch String

O suporte de `String` em `Switch` foi permitido em Java 7 este recurso ajuda a preservar um padrão de codificação tendo em vista que atualmente é permitido operações de seleção em um conjunto de constantes de `String`. Além de possuir desempenho superior ao `if-then-else` conforme a documentação [4] informa pois o gerado para `switch` que utilizam `string` é mais eficiente que o `if-then-else`.

Como contribuição deste trabalho foi feita uma pesquisa para verificar se tal recurso é adotado tendo em vista os benefícios que pode trazer para o projeto além de ser uma característica de fácil implementação. De um total de 6827 utilizações de `switch` nos sistemas apenas 66 fazem uso de `string` o que corresponde a menos de 1% do total o que leva entender que tal característica não é aproveitada em sua plenitude. A Tabela: 3.8 exibe os projetos em houve ocorrência.

Tabela 3.8: Adoção Switch String por tipo do sistema.

Sistema	Ocorrências
Cassandra	14
FindBugs	3
Jetty	16
Lucene	2
Sonar	1
Spring	2
Tomcat	8
UniversalMediaServer	18
Wicket	1
Wildfly	1
Total	66

Com intuito de encontrar oportunidades de aplicar este recurso, foi verificado a existência de `if-then-else` que invoquem na sua expressão um método e verificando se este método utiliza o `equals()` comparando `String` conforme demonstrado na Listing: 3.9 o qual é a oportunidade possível de efetuar um *refactoring* para o `switch`.

Listing 3.9: Modelo para aplicação de Switch com String.

```
if (String.equals("...")) {  
    ...  
}
```

Direcionado pelo padrão da Listagem: 3.9 foram encontrados o total de 4940 oportunidades distribuídas em 45 dos 46 projetos, o que confirma que este recurso não está sendo adotado em sua plenitude. A Figura: 3.8 exibe a quantidade de oportunidades em cada projeto verificado, e a Tabela: 3.9.

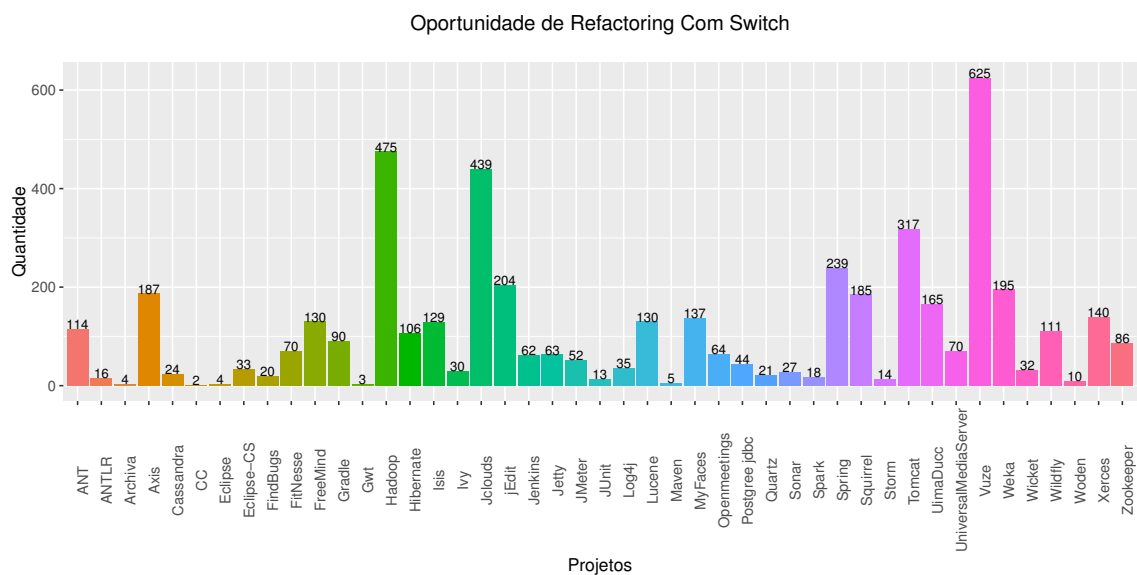


Figura 3.8: Oportunidades de *refactoring* em *if-then-else* por sistema.

Tabela 3.9: Oportunidade de aplicar **switch** por tipo de sistema.

Natureza	Ocorrências
Application	1773
Library	1881
Servers - Database	1286
Total	4940

Capítulo 4

Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Este capítulo tem o objetivo de destacar as principais características do analisador estático desenvolvido neste trabalho de conclusão, além de destacar alguns pontos relevantes para possíveis abordagens em trabalhos futuros que adotem esta ferramenta como objeto para pesquisa.

4.1 Considerações Finais

Atualmente utilizar o analisador estático projetado ao longo deste trabalho de conclusão é bem simples para o usuário final pois durante os estágios de desenvolvimento sempre foi uma premissa ocultar a complexidade encontrada no desenvolvimento para simplificar a utilização da ferramenta. Para que qualquer desenvolvedor em qualquer grau de experiência tenha confiança e segurança em adotar esta ferramenta.

Com foco em estender o projeto quer seja para analisar outras características Java quer seja para outras Linguagens este projeto com poucas modificações pode estender-se a qualquer linguagem de programação com facilidade, tudo isso devido ao mecanismo de Injeção de Dependência que foi agregado. A flexibilidade na extração dos dados deve-se a combinação dos mecanismos de Injeção e Introspecção onde facilmente pode ser modificado para que a atual de extração em arquivos **CSV** possa persistir em um banco de dados, ou utilizar as duas abordagens em conjunto.

Através deste analisador foi possível reafirmar a pesquisa que Parnin et.al. [13] realizou em 2011 ainda é atual pois não houve discrepância nos dados encontrados por este trabalho. O que serviu como métrica para comprovar a confiabilidade nos dados extraídos por esta ferramenta. Por outro lado pode-se comprovar que existem oportunidades reais de *refactoring* que são ignoradas como o mecanismo de exceção sem evolução, oportunidades de emprego de expressões lambda e aplicação do **switch-string**.

Após estas considerações pode-se afirmar que foi possível obter êxito na proposta inicial deste trabalho que foi criar uma ferramenta flexível e extensível. Além de possibilitar aprofundar o conhecimento na área de engenharia de *software* com ênfase em linguagens de programação e arquitetura de software. Visando sempre utilizar as ferramentas mais modernas durante o processo de desenvolvimento.

4.2 Trabalhos Futuros

Do vasto conteúdo que pode ser abordado ao ter como objeto de pesquisa uma linguagem de programação, esta seção tem a finalidade de enumerar algumas sugestões relevantes para o enriquecimento deste trabalho.

1. Estender a pesquisa a outras linguagens de programação seria de extrema importância para o estudo mais detalhado de um projetos pois é possível encontrar projetos que utilizam mais de uma linguagem em construção.
2. A criação de **Visitors** mais específicos para extrair outras informação quer seja da linguagem Java que seja de outra linguagem que este analisador venha a trabalhar no futuro.
3. Pode-se também armazenar os dados extraídos em um banco de dados e realizar um histórico de extração para acompanhar de forma sistemática a evolução e adoção de características da linguagem.
4. Utilizar uma linguagem de domínio específico de metaprogramação que analise o código fonte e implemente *refactoring*. Como sugestão para linguagem de metaprogramação tem-se Racal-MPL que pode ser facilmente integrada a linguagem Java através da infraestrutura do Eclipse.

Referências

- [1] Eclipse java development tools (jdt) @ONLINE. <http://www.eclipse.org/jdt/>. Accessed: 2015-07-06.
- [2] Findbugs in java programs @ONLINE. <http://findbugs.sourceforge.net/>. Accessed: 2015-07-06.
- [3] Spring framework reference documentation @ONLINE. <http://docs.spring.io/spring/docs/current/spring-framework-reference/htmlsingle/>. Accessed: 2015-06-06.
- [4] Strings in switch statements @ONLINE. <http://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/language/strings-switch.html>. Accessed: 2015-07-06.
- [5] *Refactoring: Improving the Design of Existing Code*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1999.
- [6] Rodrigo Bonifácio, Tijs van der , and Jurgen Vinju. The use of c++ exception handling constructs: A comprehensive study.
- [7] Robert Dyer, Hridesh Rajan, Hoan Anh Nguyen, and Tien N Nguyen. A large-scale empirical study of java language feature usage. 2013.
- [8] Robert Dyer, Hridesh Rajan, Hoan Anh Nguyen, and Tien N. Nguyen. Mining billions of ast nodes to study actual and potential usage of java language features. In *Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering, ICSE 2014*, pages 779–790, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [9] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, and John Vlissides. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1995.
- [10] Alex Gyori, Lyle Franklin, Danny Dig, and Jan Lahoda. Crossing the gap from imperative to functional programming through refactoring. In *Proceedings of the 2013 9th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*, pages 543–553. ACM, 2013.
- [11] Paul Klint, Ralf Lämmel, and Chris Verhoef. Toward an engineering discipline for grammarware. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, 14(3):331–380, 2005.

- [12] Jeffrey L. Overbey and Ralph E. Johnson. Regrowing a language. *ACM Trans. Program. Lang. Syst.*, 15(5):795–825, October 2009.
- [13] Chris Parnin, Christian Bird, and Emerson Murphy-Hill. Java generics adoption: How new features are introduced, championed, or ignored. In *Proceedings of the 8th Working Conference on Mining Software Repositories*, MSR '11, pages 3–12, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [14] Terence Parr. *Language Implementation Patterns: Create Your Own Domain-Specific and General Programming Languages*. Pragmatic Bookshelf, 1st edition, 2009.
- [15] Gustavo Pinto, Wesley Torres, Benito Fernandes, Fernando Castor, and Roberto S.M. Barros. A large-scale study on the usage of java’s concurrent programming constructs. *J. Syst. Softw.*, 106(C):59–81, August 2015.
- [16] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014.
- [17] Jeffrey L. Schaefer and Ralph E. Johnson. Regrowing a language: Refactoring tools allow programming languages to evolve. *SIGPLAN Not.*, 44(10):493–502, October 2009.
- [18] Max Schaefer and Oege de Moor. Specifying and implementing refactorings. *SIGPLAN Not.*, 45(10):286–301, October 2010.
- [19] A Ward and D Deugo. Performance of lambda expressions in java 8. In *Proceedings of the International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP)*, page 119. The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2015.