UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Artes, Ciências e Humanidade – EACH
Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação – PpgSI

Felipe de Alencar Albuquerque

Detecção interprocedimental de clones semânticos

São Paulo
2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Artes, Ciências e Humanidades

Felipe de Alencar Albuquerque

Detecção interprocedimental de clones semânticos

São Paulo
Novembro 2013

Felipe de Alencar Albuquerque

Detecção interprocedimental de clones semânticos

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências. Programa: Sistemas de Informação.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora. A versão original encontra-se disponível na Escola de Artes, Ciências e Humanidades.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Lordello
Chaim

São Paulo
Novembro 2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Biblioteca

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Albuquerque, Felipe de Alencar

Detecção interprocedimental de clones semânticos / Felipe de Alencar Albuquerque ; orientador, Marcos Lordello Chaim. – São Paulo, 2013.
[117] f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Informação, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.

Versão corrigida.

1. Verificação e validação de software. 2. Geração de código.
3. Inspeção de software . 4. Revisão de software. 5. Engenharia de software. I. Chaim, Marcos Lordello, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 004.24

Dissertação de mestrado sob o título “Detecção interprocedimental de clones semânticos”, defendida por Felipe de Alencar Albuquerque e aprovada em 08 de novembro de 2013, em São Paulo, Estado de São Paulo, pela banca examinadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. Marcos Lordello Chaim
Orientador

Prof. Dr. Rosana Teresinha Vaccare Braga
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Luciano Vieira de Araújo
Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho à minha família, sem a qual eu não teria chegado tão longe.

Agradeço principalmente ao meu orientador professor doutor Marcos Lordello Chaim pela confiança e paciência.

À professora doutora Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques pelo auxílio no levantamento bibliográfico.

Ao professor doutor Luciano Vieira de Araújo pelos comentários fornecidos no Exame de Qualificação desta pesquisa.

“Muitos são os obstinados que se empenham no caminho que escolheram, poucos os que se empenham no objetivo.”

(Friedrich W. Nietzsche)

Resumo

Fragmentos de código duplicado, ou clones, são inseridos em aplicativos por serem uma maneira simples de reuso, dentre outros motivos. Clones são, portanto, comuns em programas. No entanto, a atividade de manutenção pode ficar custosa se o código do programa analisado possuir muitos clones, principalmente os semânticos, os quais podem possuir códigos distintos, mas realizam tarefas similares. Nesse sentido, a utilização de ferramentas que automatizam a tarefa de detectar clones é desejável. Ferramentas atuais de detecção de clones semânticos são capazes de identificar esses clones com altas taxas de acerto. No entanto, elas não são capazes de identificar clones semânticos considerando também os fluxos dos procedimentos ou funções que são invocados dentro dos fragmentos de código comparados. Essa limitação pode levar as ferramentas a indicarem clones semânticos falso positivos. Este trabalho apresenta uma técnica de detecção de clones semânticos que considera as chamadas de procedimentos presentes nos programas. Essa técnica apresentou uma taxa de acertos 2,5% maior do que técnicas convencionais de acordo com um *benchmark*, também desenvolvido neste trabalho. Esse *benchmark* foi criado com base nas classificações de clones fornecidas por programadores da indústria e da academia. A técnica interprocedimental de detecção de clones semânticos pode ser utilizada para evolução, manutenção, refatoração e entendimento de programas.

Palavras-chave: duplicação de código, clones semânticos, detecção de clones, grafos de dependência de programas.

Abstract

Fragments of duplicated code, or clones, are embedded in applications as they are a simple way to reuse code, among other reasons. Clones are therefore common in programs. However, the maintenance activity may be costly if the program code has many clones to analyze, specially semantic clones, which are semantically similar but may have different syntax. In this regard, the use of tools that automate the task of detecting clones is desirable. Current tools for detecting semantic clones are able to identify those clones with high hit rates. However, they are not able to detect semantic clones also considering the flow of procedures or functions that are invoked within the compared code fragments. This limitation can lead the tools to indicate false positive semantic clones. This paper presents a technique that takes into account the procedure calls in programs to detect semantic clones. This technique showed a 2.5% higher hit rate than conventional techniques according to a benchmark also developed in this work. This benchmark was created based on evaluations provided by programmers from academic and industrial settings. The interprocedural semantic clone detection technique can be used for evolution, maintenance, refactoring and understanding of programs.

Keywords: code duplication, semantic clones, clone detection, program dependence graphs.

Sumário

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiv
1 Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos	4
1.3 Organização do texto	5
2 Conceitos Fundamentais	6
2.1 Grafos de fluxo de controle (GFC)	6
2.2 Conceitos de definição e uso de variáveis	7
2.3 Grafos de dependência de programas (GDP)	8
2.3.1 Dependências de dados	9
2.3.2 Dependências de controle	10
2.3.3 Exemplo de GDP	10
2.3.4 Algoritmos para a criação de GDPs	11
2.4 Clones	12
2.4.1 Similaridade de texto	12
2.4.2 Similaridade de funcionalidade	13
2.5 Detecção de Clones	14
2.5.1 Técnicas textuais	14
2.5.2 Técnicas léxicas	15

2.5.3	Técnicas sintáticas	15
2.5.4	Técnicas semânticas	16
2.5.5	Técnicas híbridas	16
2.6	Conclusão do capítulo	17
3	Levantamento Bibliográfico	18
3.1	Definição do levantamento bibliográfico	18
3.1.1	Questão que guiou o levantamento	18
3.1.2	Escopo dos estudos	18
3.1.3	Seleção dos artigos	19
3.1.4	Critérios de inclusão e exclusão	20
3.1.5	Artigos selecionados	20
3.2	Trabalhos relacionados	21
3.2.1	Komondoor e Horwitz (2001)	22
3.2.2	Krinke (2001)	24
3.2.3	Liu et al. (2006)	26
3.2.4	Bellon et al. (2007)	28
3.2.5	Gabel, Jiang e Su (2008)	29
3.2.6	Albuquerque, Neves e Chaim (2012)	30
3.3	Discussão	32
3.3.1	Estruturas de dados utilizadas	32
3.3.2	Técnicas de comparação de GDPs	32
3.3.3	Pontos fortes e deficiências	33
3.3.4	Formas de avaliação	34
3.3.5	Reprodutibilidade das avaliações realizadas	36
3.4	Conclusão do capítulo	36

4	<i>Benchmark</i> para Detectores de Clones	38
4.1	Metodologia para a criação do <i>benchmark</i>	39
4.1.1	Definição dos tipos de clones considerados	39
4.1.2	Obtenção de candidatos a clones de projetos de código aberto . . .	41
4.1.3	Formulação do treinamento sobre clones	43
4.1.4	CrITÉRIOS para a seleção dos programadores	44
4.1.5	CrITÉRIOS para a classificação de candidatos a clones	45
4.2	Obtenções das classificações dos candidatos a clones	45
4.2.1	Execução da atividade preliminar	46
4.2.2	Execução da atividade principal	48
4.2.3	Computação e análise dos resultados fornecidos pelos grupos	49
4.3	Criação do <i>benchmark</i>	58
4.3.1	Criação do projeto com os pares de métodos	58
4.3.2	Mecanismo de análise dos resultados	59
4.4	Conclusão do capítulo	63
5	Detecção Interprocedimental de Clones Semânticos	65
5.1	Definição da técnica	65
5.2	Filtro e heurísticas para análise interprocedimental	66
5.3	Modelagem e desenvolvimento da técnica	68
5.3.1	Desenvolvimento de melhorias de desempenho na BJCD	69
5.3.2	Incorporação da detecção interprocedimental de clones na BJCD . .	72
5.4	Validações das técnicas propostas	75
5.4.1	Avaliação do filtro de tamanho mínimo de GDPs	76
5.4.2	Avaliação dos consumos de tempo e memória da análise interproce- dimental	77

5.4.3	Comparação da taxa de acerto da análise convencional com a inter-procedimental	79
5.5	Ameaças à validade	80
5.6	Conclusão do capítulo	81
6	Contribuições e Trabalhos Futuros	84
	Referências	86
	Apêndice A Automação do sorteio de clones	90
	Apêndice B Formulário de ciência da criação do <i>benchmark</i>	95
	Apêndice C Formulário de avaliação da criação do <i>benchmark</i>	97
	Apêndice D Arquitetura de alto nível da ACDRA	99

Lista de Figuras

1	<i>System.out.println()</i> imprime b no console	3
2	<i>System.out.println()</i> retorna $b + 1$	4
3	Corpo do método <i>replaceVariables()</i> . Fonte: Koskela (2008)	6
4	Grafo de fluxo de controle do método <i>replaceVariables()</i>	7
5	Programa <i>sort</i> e seu grafo def-uso	8
6	Dependência de dados	9
7	Dependência de dados com redefinição	9
8	Dependência de dados com redefinição dentro de condição	9
9	Dependência de controle	10
10	Método <i>foo(String)</i>	11
11	GDP para o método <i>foo(String)</i>	11
12	Identificação de números pares original	13
13	Identificação de números pares com similaridade textual	13
14	Identificação de números pares com similaridade semântica	14
15	Comparação de GDPs utilizando fatiamento de programas. Fonte: Komondoor e Horwitz (2001). Tradução livre.	23
16	Código fonte de exemplo para geração de um GDP granular. Fonte: Krinke (2001)	25
17	Trecho do GDP granular referente ao código fonte da Figura 16. Fonte: Krinke (2001). Tradução livre.	25
18	Vértices antes da normalização da <i>BJCD</i> . Fonte: Albuquerque, Neves e Chaim (2012)	31

19	Vértices após a normalização da <i>BJCD</i> . Fonte: Albuquerque, Neves e Chaim (2012)	31
20	Processo de sorteio de candidatos a clones	43
21	Exibição dos candidatos a clones utilizando o Eclipse	47
22	Tipos de clones detectados pelos programadores	47
23	Percentuais dos tipos de clones classificados	53
24	<i>fireEditingStopped()</i> e <i>fireEditingCanceled()</i>	54
25	<i>rotateCW()</i> e <i>rotateCCW</i>	55
26	<i>createRowRealMatrix(double[])</i> e <i>createColumnRealMatrix(double[])</i>	56
27	<i>PolyKernel.setOptions(String[])</i> e <i>AdaBoostM1.setOptions(String[])</i>	57
28	Experiência dos programadores participantes	58
29	Ilustração da criação do PCCB	59
30	ACDRA - Arquivo de resultados esperados	60
31	ACDRA - Arquivo de resultados reportados	60
32	ACDRA - Arquivo de configurações	61
33	ACDRA - Arquivo de resultados da análise automática dos resultados . . .	62
34	Exemplo de estrutura de diretórios para execução da ACDRA	63
35	Comando para executar a ACDRA	63
36	Análise interprocedimental em <i>bytecodes</i>	66
37	Análise interprocedimental em <i>bytecodes</i>	67
38	Análise interprocedimental em <i>bytecodes</i>	67
39	Análise interprocedimental em <i>bytecodes</i>	68
40	Passos para a geração de GDPs na <i>BJCD</i> após as melhorias	69
41	Algoritmo para construir grafos de fluxo de controle	71
42	Exemplo de dependências múltiplas de fluxo de controle	71
43	Arquitetura em alto nível do detector interprocedimental de clones semânticos	73

44	Pseudocódigo de heurísticas de detecção interprocedimental de clones . . .	74
45	Métodos com nomes iguais na mesma classe, mas com comportamentos diferentes	75
46	Configuração de filtro de tamanho mínimo de GDP na BJCD	76
47	Configuração de análise interprocedimental na BJCD	78
48	Novas chamadas a <i>fireEditingStopped()</i> e <i>fireEditingCanceled()</i>	82
49	Novos códigos para <i>fireEditingStopped()</i> e <i>fireEditingCanceled()</i>	83
50	Arquitetura de alto nível da ACDRA	100

Lista de Tabelas

1	Critérios de busca utilizados na máquina de busca <i>ACM Digital Library</i> . .	20
2	Critérios de busca utilizados na máquina de busca <i>IEEE Xplore</i>	20
3	Critérios de busca utilizados na máquina de busca <i>Springer Link</i>	21
4	Critérios de busca utilizados na base indexada <i>Google Acadêmico</i>	21
5	Critérios de busca utilizados na base indexada <i>ScienceDirect</i>	22
6	Tipos de artigos selecionados na revisão	22
7	Estruturas de dados utilizadas na detecção de clones	32
8	Tipos de técnicas de detecção de clones semânticos	33
9	Filtros heurísticos para melhorar o desempenho das técnicas	33
10	Citações de pontos positivos de técnicas de detecção de clones semânticos .	34
11	Citações de deficiências de técnicas de detecção de clones semânticos	34
12	Tipos de avaliação de técnicas de detecção de clones semânticos	35
13	Dados para avaliações de detecção de clones semânticos	36
14	Programas selecionados para compor o <i>benchmark</i>	42
15	Comparação de classificações de candidatos a clones	47
16	Disponibilização de pares de clones a programadores	49
17	Consolidação de pares de código sorteados	50
17	Consolidação de pares de código sorteados	51
17	Consolidação de pares de código sorteados	52
18	Consolidação das avaliações dos experimentos	57
19	Propriedades do arquivo de configurações da ACDRA	61

20	Comparação das execuções da BJCD baseada na JaBUTi contra a BJCD baseada na ASM	72
21	Avaliação de filtro de número mínimo de nós de GDPs para jtopas-0.8 . . .	77
22	Avaliação de filtro de número mínimo de nós de GDPs para checkstyle-5.5	77
23	Avaliação de tempo da análise interprocedimental para jtopas-0.8	79
24	Avaliação de tempo da análise interprocedimental para checkstyle-5.5 . . .	79
25	Comparação de resultados da análise convencional com a interprocedimental	80

Capítulo 1

Introdução

Fragmentos de código fonte que são similares segundo um critério pré-definido são chamados de *clones* [8]. Clones podem existir em códigos fontes de aplicativos por diferentes motivos. Leitão (2004) explica que clones podem ser inseridos em aplicativos por serem uma maneira simples de reuso, o que diminui o tempo de desenvolvimento. Outro motivo que leva à existência de clones é a aplicação de padrões de codificação no aplicativo. No entanto, trechos similares de código fonte não são necessariamente oriundos de cópia e colagem de código. A falta de comunicação entre programadores que estão trabalhando em um mesmo aplicativo também pode levar à introdução de clones. Pode ocorrer de dois ou mais programadores escreverem procedimentos ou funções similares para serem utilizados em partes distintas do mesmo aplicativo. Além disso, programadores inexperientes podem preferir copiar trechos de código fonte complexos e fazer pequenas alterações neles a alterar um outro que seja funcional. Esses motivos, dentre outros não citados, fazem com que a existência de clones seja comum na maioria dos sistemas. Apesar de facilitar o desenvolvimento inicial de sistemas, a clonagem de código tende a dificultar a manutenção.

Por exemplo, faz-se necessário realizar manutenções quando um comportamento indesejado é detectado em uma funcionalidade de um aplicativo. O trecho de código que contém o defeito inserido pelo programador deve ser corrigido e uma nova versão do sistema deve ser gerada e disponibilizada. Quando a clonagem de código é realizada em um aplicativo, há o risco de o fragmento de código fonte defeituoso ser clonado para diversas outras partes dele. Nesse caso, a atividade de manutenção exige que esses clones sejam identificados e que uma análise seja feita para saber se estão tendo o comportamento esperado ou se correções também devem ser feitas nesses trechos de código fonte. O mesmo se aplica quando há outras situações que demandam que o código fonte seja alterado, como uma mudança de requisitos de negócios. Quanto mais clones um aplicativo possuir de um trecho de código fonte que necessite de manutenção, mais custosa será a atividade, pois mais trechos de código e funcionalidades do aplicativo deverão ser analisados. Identificar clones de um fragmento de código fonte em um aplicativo é uma atividade cuja complexidade varia de acordo com o tamanho desse aplicativo e com o tipo de modificações que

foram realizadas pelos programadores após clonar o código. Se o aplicativo possuir muitos arquivos e procedimentos para serem analisados, será mais trabalhoso encontrar clones.

As modificações realizadas por programadores variam de simples alterações de comentários, espaços em branco e indentação a alterações de nomes de parâmetros e variáveis, reordenação de comandos existentes no código original e adição de novos comandos [8]. Clones podem surgir ainda de trechos de código que não foram copiados, mas escritos por programadores diferentes em um mesmo aplicativo. Nesses casos, trechos de código fonte totalmente diferentes sintaticamente podem ainda assim serem similares semanticamente, ou seja, dados os mesmos parâmetros e condições de entrada, os fluxos de dados e controle dos dois trechos podem ser similares. Clones com essa natureza são chamados de *clones semânticos*. A detecção manual de clones pode não ser intuitiva ou trivial nesses cenários.

Nesse sentido, a utilização de ferramentas que automatizam a tarefa de detectar clones é desejável. Essas ferramentas empregam técnicas sistemáticas de detecção de clones [8]. Por serem processadas por computadores, tendem a ser mais rápidas do que a análise manual de um programador. Como as técnicas aplicadas por essas ferramentas são sistemáticas, o processo de detecção de clones torna-se menos propenso a falhas humanas e clones não triviais de identificar durante o processo de análise manual são mais facilmente identificados.

1.1 Motivação

Segundo a avaliação de Roy, Cordy e Koschke (2009), as ferramentas de detecção automática de clones são capazes de identificar clones de acordo com um determinado limite no que se refere às alterações realizadas por programadores. Algumas ferramentas são capazes de detectar somente clones nos quais os comentários, espaços em branco e indentação foram alterados. Por outro lado, outras ferramentas são capazes de detectar clones de acordo com a semântica do código fonte ao invés de sua sintaxe. Clones nos quais comandos foram reordenados são detectáveis por essas ferramentas. São as técnicas de detecção de clones e de normalização de código fonte empregadas pelas ferramentas que definem quais tipos de alteração elas podem identificar. Cada grupo de técnicas de detecção de clones possui vantagens e desvantagens e é aplicável em situações distintas. Em cenários de manutenção de aplicativos, em que também é interessante detectar clones semânticos, a utilização de ferramentas baseadas em técnicas semânticas é indicada.

Segundo Liu et al. (2006) e Gabel, Jiang e Su (2008), as ferramentas atuais de detecção

de clones semânticos são capazes de identificar esses clones com altas taxas de acerto. No entanto, essas ferramentas não são capazes de analisar os fluxos de dados e controle de fragmentos de código fonte considerando também os fluxos dos procedimentos ou funções que são invocados dentro desses fragmentos. Essa limitação pode levar as ferramentas a indicarem falsos positivos de clones semânticos.

Quanto menos falsos positivos forem reportados pelas ferramentas que automatizam o processo de detecção de clones, menor será o trabalho de análise dos programadores durante o processo de manutenção. Os objetivos desta pesquisa são baseados na motivação exposta.

As ferramentas atuais de detecção de clones semânticos são capazes de detectar clones em procedimentos considerando as dependências de dados e controle presentes em seus Grafos de Dependência de Programas (GDPs) [10]. Essas técnicas, porém, não consideram as chamadas de procedimentos que são realizadas dentro dos nós dos GDPs. Essa deficiência das ferramentas pode levá-las a reportar falsos positivos em alguns casos.

Os exemplos das Figuras 1 e 2 ilustram dois métodos de programas Java cujos GDPs possuem os mesmos fluxos de dados e controle. Esses métodos, porém, fazem internamente chamadas a métodos que realizam tarefas distintas. A chamada *System.out.println(b)* no *metodo1()*, da Figura 1, imprime valor de *b* no console. Já a chamada *System.out.println(b)* no *metodo2()*, da Figura 2, utiliza a classe *System* contida no próprio arquivo Java. Essa chamada soma 1 ao valor de *b* e retorna o novo valor.

```
package tests;

public class MetodosSemanticamenteDiferentes1 {
    void metodo1() {
        int a, b = 10;
        for (a = 10; a > 0; a--) {
            b *= a;
        }
        System.out.println(b);
    }
}
```

Figura 1 – *System.out.println()* imprime *b* no console

Ferramentas de detecção semântica de clones atuais, mesmo as que são baseadas em comparação textual das instruções dos nós dos GDPs, reportariam esses dois métodos como clones semânticos com 100% de similaridade. Porém, conforme observado nos exemplos, esses métodos possuem comportamentos diferentes se as chamadas internas

```
package tests.system;

public class MetodosSemanticamenteDiferentes2 {
    void metodo2() {
        int a, b = 10;
        for (a = 10; a > 0; a--) {
            b *= a;
        }
        System.out.println(b);
    }
}

class System {
    static DifferentOut out;

    class DifferentOut {
        int println(int value) {
            return value + 1;
        }
    }
}
```

Figura 2 – `System.out.println()` retorna $b + 1$

de métodos forem consideradas.

1.2 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa foi elaborar uma técnica de detecção de clones semânticos levando em consideração as chamadas de procedimentos.

Objetivos específicos da pesquisa foram:

- desenvolver uma técnica de análise interprocedimental de clones semânticos;
- desenvolver uma ferramenta capaz de gerar grafos de dependência de programas;
- desenvolver uma ferramenta capaz de identificar clones semânticos a partir de grafos de dependência de programas, realizando análises interprocedimentais;
- elaborar um *benchmark* para poder avaliar a técnica proposta;
- avaliar a técnica proposta em comparação à não utilização de análises interprocedimentais com a utilização do *benchmark* criado.

Uma nova técnica de detecção de clones semânticos foi proposta nesta pesquisa e uma ferramenta foi criada para validá-la. Essa técnica propõe analisar chamadas de procedimentos dos fragmentos de código fonte comparados para detectar diferenças semânticas. Uma pesquisa foi conduzida com programadores da indústria e da academia para que um *benchmark* de detectores de clones fosse criado. Esse *benchmark* foi utilizado para comparar uma abordagem de detecção de clones semânticos sem chamadas interprocedimentais com uma abordagem utilizando essa técnica. Os resultados da comparação mostraram que a técnica de detecção de clones interprocedimentais apresenta uma taxa de acertos maior em comparação às técnicas convencionais. Essa taxa foi de 97,5% para a técnica interprocedimental contra 95% da técnica convencional. No entanto ela necessita de um maior tempo para ser executada, sendo que a diferença pode chegar a 33,84%. A técnica proposta pode ser utilizada para auxiliar na execução de atividades de manutenção, evolução, refatoração [11] e entendimento de programas.

1.3 Organização do texto

O restante do texto está dividido como se segue. O Capítulo 2 é dedicado à explicação dos conceitos fundamentais necessários para o entendimento do trabalho desenvolvido. O Capítulo 3 apresenta o levantamento bibliográfico realizado com o intuito de estudar técnicas de detecção de clones semânticos. Esse capítulo também contém um resumo dos artigos estudados. O Capítulo 4 apresenta o processo de criação do *benchmark* de detectores de clones. O Capítulo 5 descreve a técnica de detecção de clones interprocedimental, assim como seu desenvolvimento na plataforma Java e sua validação. Por fim, o Capítulo 6 contém a conclusão, as contribuições da pesquisa e os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Conceitos Fundamentais

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos fundamentais para o entendimento da pesquisa realizada. Os conceitos de grafos de fluxo de controle, definições e usos, grafos de dependência de programas, clones e técnicas de detecção de clones são apresentados.

2.1 Grafos de fluxo de controle (GFC)

Um GFC é um grafo orientado, com um nó de entrada e um nó de saída, que representa a decomposição de um programa em conjuntos disjuntos de comandos [12]. Segundo Maldonado, Barbosa e Vincenzi (2004), um GFC pode ser representado como $G = (N, E, s)$, onde N é o conjunto de nós, E o conjunto de arestas e s o nó de entrada. Cada nó do grafo representa um bloco de comandos, no qual a execução do primeiro comando resulta nas execuções dos outros comandos existentes nesse mesmo bloco, sequencialmente. Cada bloco tem um ou mais predecessores e um ou mais sucessores, com exceção do primeiro, que não tem predecessor e do último, que não tem sucessor. As arestas do grafo de fluxo de controle representam os possíveis desvios que podem existir entre os blocos.

A Figura 3 ilustra o corpo do método *replaceVariables()*, retirado de Koskela (2008), com as linhas numeradas e a Figura 4 ilustra o grafo de fluxo de controle desse método. A identificação dos blocos de instruções é o número da linha da primeira instrução contida em cada bloco.

```

1. String result = this.templateText;
2. for (Entry<String, String> entry : this.variables.entrySet()) {
3.     String regex = "\\$\\{" + entry.getKey() + "\\}";
4.     result = result.replaceAll(regex, entry.getValue());
5. }
6. return result;
```

Figura 3 – Corpo do método *replaceVariables()*.
Fonte: Koskela (2008)

Figura 4 – Grafo de fluxo de controle do método `replaceVariables()`

Os GFCs são utilizados na geração de grafos de dependência de programas, que por sua vez são usados nas técnicas de detecção de clones semânticos.

2.2 Conceitos de definição e uso de variáveis

Uma variável é definida, em geral, quando ela está do lado esquerdo de uma operação de atribuição, quando ela está em uma operação de entrada ou quando está em chamadas de procedimentos como parâmetro de saída. Quando uma variável não estiver sendo definida, está ocorrendo um uso dessa variável. Há dois tipos de usos de variáveis, que são o *c-uso* e *p-uso*. O *c-uso* (uso computacional) afeta uma computação que está sendo realizada ou permite a visualização do resultado de uma definição anterior; o *p-uso* (uso predicativo) afeta o fluxo de controle do programa.

Uma maneira de representar as definições e usos de variáveis é o grafo proposto por Rapps e Weyuker (1982), chamado grafo *def-uso*, uma extensão do GFC. Sua estrutura básica é a mesma que a do GFC, porém são adicionadas informações de definições e usos de variáveis aos nós e às arestas. A Figura 5 contém um programa elaborado que ordena um vetor de inteiros. Os números inseridos dentro de comentários referem-se aos nós aos quais cada comando está associado. Ela também apresenta o grafo de fluxo de controle obtido a partir do programa.

Os conceitos de definição e uso, assim como GFCs, são utilizados na geração de grafos de dependência de programas.

Figura 5 – Programa sort e seu grafo def-uso

2.3 Grafos de dependência de programas (GDP)

GDPs são grafos que explicitam tanto as dependências de dados quanto as de controle de programas. Cada vértice de um GDP representa um predicado ou um comando de um programa. As arestas que chegam a um vértice podem ser arestas de dados ou fluxos de controle dos quais o predicado ou comando representado por esse vértice depende [10].

As próximas subseções estão organizadas conforme se segue. A primeira subseção define o conceito de dependência de dados. A subseção seguinte define o conceito de dependência de controle. A terceira subseção é dedicada à ilustração da criação de um GDP, dado um fragmento de código fonte. A subseção final apresenta algoritmos para a criação de GDPs.

2.3.1 Dependências de dados

Uma dependência de dados ocorre quando, dados dois comandos ou predicados X e Y , sendo que X ocorre antes que Y no fragmento de código fonte, X define o valor de uma variável que Y utiliza e não existe nenhum outro comando ou predicado entre X e Y que defina essa variável. Um exemplo de dependência de dados ocorre no código ilustrado na Figura 6. A linha 1 define o valor da variável A . A linha 2 utiliza a variável A para definir o valor da variável B . Como não há nenhum comando ou predicado entre as linhas 1 e 2 que defina a variável A , a linha 2 tem uma dependência de dados com a linha 1. Esse exemplo é semelhante ao encontrado no trabalho de Ferrante, Ottenstein e Warren (1987).

```
1: A = 1
2: B = A * 3
```

Figura 6 – Dependência de dados

Já no exemplo da Figura 7 a linha 1 define o valor da variável A , porém a linha 2 o redefine antes que a linha 3 a utilize para computar o valor da variável B . A linha 3, portanto, possui dependência de dados somente com a linha 2.

```
1: A = 1
2: A = A + 1
3: B = A * 3
```

Figura 7 – Dependência de dados com redefinição

Uma exceção para a redefinição de variáveis ocorre quando o valor de uma variável é redefinido dentro de uma condição. Dado que a redefinição está ocorrendo dentro da condição, ela pode não ocorrer se o predicado da condição for falso. O comando que utiliza a variável depende tanto da última definição que está fora da condição quanto da que está dentro dela. A Figura 8 ilustra esse caso. A linha 1 define o valor da variável A . A linha 2 redefine esse valor, porém dentro de uma condição. A linha 3 utiliza a variável A para calcular o valor da variável B . Nesse caso, linha 3 depende tanto da linha 1 quanto da linha 2.

```
1: A = 1
2: SE CONDICAO_FOR_VERDADEIRA ENTÃO (A = A + 1) FIM SE
3: B = A * 3
```

Figura 8 – Dependência de dados com redefinição dentro de condição

2.3.2 Dependências de controle

Uma dependência de controle ocorre quando a execução de um comando ou predicado depende do resultado de outro predicado. É possível observar uma dependência de controle no fragmento de código fonte da Figura 9. O comando da linha 2 somente será executado se o predicado da linha 1 for verdadeiro. A linha 2, portanto, tem uma dependência de controle com a linha 1.

```
1: SE CONDICAO_FOR_VERDADEIRA ENTÃO  
2:     A = A * B  
3: FIM SE
```

Figura 9 – Dependência de controle

2.3.3 Exemplo de GDP

Segundo Ferrante, Ottenstein e Warren (1987) há diversas maneiras de representar GDPs. Um exemplo de GDP pode ser visualizado na Figura 11. O grafo ilustrado nessa figura representa o método escrito na linguagem Java [15] contido na Figura 10. Um vértice no grafo foi atribuído para cada comando e predicado. As definições do parâmetro do método e da variável de retorno ocorrem no vértice 0. O vértice 1 representa o predicado que testa o valor do parâmetro de entrada. O vértice 2 define a variável de retorno caso o predicado do vértice 1 seja verdadeiro. O vértice 3 retorna o valor definido no método.

As arestas foram definidas de acordo com o seguinte raciocínio. O vértice 1 depende da definição do parâmetro de entrada, portanto há uma aresta de dependência de dados do vértice 0 para o 1, pois o vértice 0 define esse parâmetro. É necessário que o predicado do vértice 1 seja verdadeiro para o comando no vértice 2 ser executado, portanto há uma aresta de dependência de controle do vértice 1 para o 2. O comando contido no vértice 3 retorna o valor definido para a variável de retorno. Os vértices 0 e 2 podem definir esse valor, portanto há arestas provenientes desses vértices dirigindo-se para o vértice 3.

Dependências de dados são derivadas das relações de definições e usos de variáveis dos comandos e predicados, enquanto as dependências de controle são obtidas utilizando uma derivação da representação do GFC do programa.

```

public String foo(int i) {
    String ret = "bar";

    if (i == 0) {
        ret = "foo";
    }

    return ret;
}

```

Figura 10 – Método foo(String)

Figura 11 – GDP para o método foo(String)

2.3.4 Algoritmos para a criação de GDPs

Ferrante, Ottenstein e Warren (1987) e Harrold, Malloy e Rothermel (1993) propuseram algoritmos para a criação de GDPs.

O algoritmo de Ferrante, Ottenstein e Warren (1987) utiliza grafos de fluxo de controle, árvores de pós-dominância [17] e dados de definição e uso para a criação dos GDPs. O GFC e os dados de definição e uso são recebidos como entrada para o algoritmo. A partir do GFC, a árvore de pós-dominância é criada para então ser percorrida juntamente ao GFC para a definição das dependências de controle. Uma vez criado o subgrafo de dependência de controle, as dependências de dados são obtidas utilizando os dados de

definição e uso para criação de subgrafos de dependência de dados, conforme descrito em Kuck et al. (1981). O GDP é derivado da união do subgrafo de dependência de controle com o de dependência de dados.

Harrold, Malloy e Rothermel (1993) propuseram um algoritmo que é incorporado ao compilador *GNU C Compiler* [19] e faz uso de árvores sintáticas abstratas para criar o subgrafo de dependência de controle e para coletar os dados de definição e uso. O algoritmo diferencia programas estruturados dos não estruturados para a construção do subgrafo. Programas não estruturados são aqueles que possuem o comando *goto*, enquanto os outros são estruturados, de acordo com os autores do algoritmo.

Ferrante, Ottenstein e Warren (1987) ressaltam que o espaço em memória requerido para a criação de GDPs pode ser grande dependendo da quantidade de dependências dados e controle. Harrold, Malloy e Rothermel (1993) destacam que as presenças de grafos de fluxo de controle e de árvores de pós-dominância influenciam no espaço e no tempo necessário para criar o GDP.

As complexidades assintóticas [20] de ambos os algoritmos apresentados para a criação de GDPs são $O(n^2)$, sendo n o número de nós do grafo de definição e uso que originou o GDP.

GDPs são utilizados por técnicas de detecção de clones semânticos. As próximas seções apresentam os conceitos de clones e detecção de clones, respectivamente. Diferentes tipos de técnicas de detecção de clones são apresentados na próxima seção.

2.4 Clones

De acordo com Roy, Cordy e Koschke (2009) dois fragmentos de código fonte são clones se forem similares. Há dois tipos principais de critérios de similaridade: texto e funcionalidade. As próximas subseções definem os tipos de similaridades de texto e de funcionalidade.

2.4.1 Similaridade de texto

A similaridade de texto leva em consideração os códigos fontes dos programas. Técnicas baseadas nesse tipo de similaridade podem detectar clones que contenham alterações em nomes de variáveis e funções, inserções de espaços em branco e comentários, formatação e outras alterações que influenciem diretamente no código fonte. Considerem-se os frag-

mentos de códigos fontes das Figuras 12 e 13 como exemplo. O fragmento de código fonte da Figura 13 contém uma série de alterações realizadas no fragmento de código fonte original cuja função é identificar números pares, ilustrado na Figura 12. Um comentário foi adicionado, o nome da variável do tipo inteiro foi alterado de *i* para *j*, as linhas em branco foram removidas e o comando *if* foi escrito em somente uma linha e sem as chaves. Ferramentas baseadas em técnicas de similaridade de texto devem ser capazes de identificar os fragmentos de códigos fontes das Figuras 12 e 13 como clones.

```
int i = 1;

while (i <= 10) {

    if (i % 2 == 0) {
        System.out.println(i + " é par");
    }

    i++;
}
```

Figura 12 – *Identificação de números pares original*

```
// Verifica de 1 a 10 se os números são pares
int j = 1;
while (j <= 10) {

    if (j % 2 == 0) System.out.println(j + " é par");
    j++;
}
```

Figura 13 – *Identificação de números pares com similaridade textual*

2.4.2 Similaridade de funcionalidade

As técnicas baseadas em similaridade de funcionalidade, ou semântica, são capazes de detectar clones mesmo que haja grande variação nas sintaxes dos fragmentos de códigos fontes comparados. Considere o fragmento de código fonte da Figura 12.

O fragmento de código fonte da Figura 14 realiza a mesma funcionalidade, porém possui uma estrutura sintática diferente. Ao invés do laço *while*, um laço *for* com a mesma funcionalidade foi utilizado. A declaração da variável do tipo inteiro e o incremento dela estão dentro da declaração do laço ao invés de ocorrer uma linha antes e ao final dele, respectivamente. Ferramentas que utilizam técnicas baseadas em similaridade de

funcionalidade devem ser capazes de identificar os fragmentos de códigos fontes 12 e 14 como clones.

```
for (int i = 1; i <= 10; i++) {  
  
    if (i % 2 == 0) {  
        System.out.println(i + " é par");  
    }  
  
}
```

Figura 14 – Identificação de números pares com similaridade semântica

2.5 Detecção de Clones

Roy, Cordy e Koschke (2009) dividiram as técnicas de detecção de clones em cinco categorias. Os critérios para a classificação das técnicas foram o tipo de informação analisada e os tipos de técnicas de análise. As subseções seguintes descrevem as categorias de detecção de clones propostas pelos autores.

2.5.1 Técnicas textuais

As técnicas textuais utilizam diretamente o fragmento de código fonte do programa para detectar os potenciais clones. Em geral não são realizadas grandes alterações no fragmento de código fonte antes da análise [8].

Uma técnica popular para análise textual é a utilização de “impressões digitais” [21]. Números identificadores são atribuídos a cada fragmento de código fonte, e depois comparados. Fragmentos de códigos fontes clonados são aqueles que possuem números iguais.

Outra técnica utilizada é a proposta por Ducasse, Rieger e Demeyer (1999), conhecida como *dot plots*. Nessa técnica as linhas dos fragmentos de códigos fontes são inseridas em um plano cartesiano de duas dimensões, onde um ponto é identificado por uma coordenada (x, y) . Os valores de x e y são os números identificadores das linhas do primeiro e do segundo fragmento de código fonte, respectivamente. Se x e y forem iguais, as linhas são consideradas clones. Clones podem, portanto, ser identificados como diagonais no plano cartesiano de duas dimensões.

2.5.2 Técnicas léxicas

As técnicas léxicas inicialmente transformam os fragmentos de códigos fontes em *tokens* léxicos, como os utilizados em compiladores [23]. Os *tokens*, em seguida, são varridos em busca de réplicas.

Segundo Roy, Cordy e Koschke (2009) técnicas léxicas são, em geral, mais robustas que as textuais quando há alterações menores nos fragmentos de códigos fontes. Formatação, alteração de nomes de variáveis e adição de espaços são exemplos dessas alterações.

As abordagens de Baker (1992) e Kamiya, Kusumoto e Inoue (2002) são exemplos de técnicas de análise léxica. Ambas são capazes de identificar os mesmos tipos de clones. A última técnica difere-se da primeira por ser capaz de remover diferenças superficiais no fragmento de código fonte. A presença ou não de chaves do corpo de um comando *if* na linguagem Java é um exemplo de diferença superficial.

Baker e Manber (1998) criaram uma técnica que utiliza como base técnicas léxicas para a detecção de clones a partir da leitura de *bytecodes* compilados para a *Java Virtual Machine* (JVM) [27].

2.5.3 Técnicas sintáticas

As técnicas sintáticas convertem os fragmentos de códigos fontes em árvores sintáticas abstratas [23] ou GFCs antes da análise. Existem dois principais tipos de técnicas sintáticas para detecção de clones: as baseadas em comparação de árvores e as baseadas em métricas.

As técnicas baseadas em comparação de árvores detectam clones utilizando a busca de subárvores similares nas árvores sintáticas abstratas. A ferramenta *CloneDr*, proposta por Baxter et al. (1998), utiliza uma técnica baseada em comparação de árvores.

O segundo tipo de técnicas de análise sintática são as técnicas baseadas em métricas. As definições de variáveis, funções, classes, comandos e outras formas sintáticas são utilizadas para o cálculo de métricas que servem como base para a comparação de fragmentos de códigos fontes. Em algumas abordagens, como a de Mayrand, Leblanc e Merlo (1996), os nomes atribuídos, as expressões e o fluxo de controle também são utilizados para o cálculo das métricas.

2.5.4 Técnicas semânticas

Essa categoria compreende as técnicas de detecção de clones semânticos. Os GDPs são utilizados para a identificação dos clones na maior parte das abordagens propostas nessa categoria.

Segundo Roy, Cordy e Koschke (2009) as técnicas semânticas diferem das sintáticas na forma de tratar a ordem das expressões e do fluxo de controle no fragmento de código fonte. Nas técnicas semânticas as expressões e o fluxo de controle são considerados independentes, pois as ordens de ocorrência no fragmento de código fonte não importam. Já nas técnicas sintáticas as ordens de ocorrência das expressões e do fluxo de controle são relevantes. Esse aspecto possibilita que clones com comandos reordenados ou com novos comandos entrelaçados possam ser encontrados com essas técnicas, desde que não haja alterações nos fluxos de dados e controle [2].

Komondoor e Horwitz (2001) criaram uma ferramenta que utiliza grafos de dependência de programas para detectar clones utilizando fatiamento de programas [30]. Krinke (2001) desenvolveu um algoritmo para a detecção de clones com grafos de dependência de programas granulares. São grafos de dependência de programas semelhantes a árvores sintáticas abstratas. Liu et al. (2006), Gabel, Jiang e Su (2008) e Albuquerque, Neves e Chaim (2012) também criaram técnicas de detecção de clones semânticos.

A técnica proposta nesta pesquisa pertence ao grupo de técnicas de detecção de clones semânticos, portanto as essas técnicas são analisadas em detalhe na Seção 3.2.

2.5.5 Técnicas híbridas

A última categoria contém as técnicas híbridas de detecção de clones. As abordagens dessa categoria combinam as técnicas dos quatro outros grupos.

Leitão (2004) criou uma ferramenta que combina técnicas sintáticas com técnicas semânticas. As técnicas sintáticas utilizam as árvores sintáticas abstratas enquanto as semânticas utilizam grafos de chamadas [31].

Baker e Manber (1998) combinaram as técnicas léxicas utilizadas pela ferramenta *Dup* [32] com as textuais da ferramenta *Siff* [33] para detectar clones provenientes de *bytecodes*.

2.6 Conclusão do capítulo

Os conceitos básicos para a detecção de clones semânticos foram apresentadas neste capítulo. Primeiro, grafos de fluxo de controle e definições e usos foram definidos e explicados. Grafos de dependência de programas foram então apresentados e dois algoritmos para criação de grafos de dependência de programas foram sucintamente apresentados. Os conceitos de clones e de detecção de clones foram definidos. As técnicas de detecção de clones foram apresentadas no final do capítulo.

A técnica proposta nesta pesquisa tem como intuito detectar clones semânticos, portanto um capítulo foi dedicado ao entendimento específico de técnicas semânticas. O próximo capítulo apresenta um levantamento bibliográfico sobre essas técnicas.

Capítulo 3

Levantamento Bibliográfico

Os procedimentos realizados para o levantamento bibliográfico acerca das técnicas de detecção de clones semânticos são explicados neste capítulo. Dados relevantes dos artigos retornados pelo levantamento bibliográfico foram sumarizados e relações entre esses artigos foram analisadas. Uma discussão sobre o levantamento e sobre os artigos retornados por ele é apresentada no final do capítulo.

3.1 Definição do levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico realizado teve como objetivo identificar as técnicas de detecção de clones semânticos existentes. Os pontos fortes e as deficiências das técnicas foram elencados. Outro objetivo do levantamento foi identificar formas de avaliação e comparação de técnicas de detecção de clones semânticos. *Benchmarks* e comparações entre técnicas já desenvolvidas na literatura estavam no escopo dessa revisão.

3.1.1 Questão que guiou o levantamento

Uma questão foi elaborada para que os objetivos do levantamento fossem alcançados:

Quais são as técnicas existentes para realizar a detecção de clones semânticos?

O escopo do levantamento foi definido com base nessa questão.

3.1.2 Escopo dos estudos

Os objetos do levantamento foram artigos que apresentam técnicas de detecção de clones semânticos e tenham algum tipo de avaliação delas. Artigos que apresentam novas técnicas de detecção de clones e *surveys* que citam esses artigos foram selecionados.

Somente os artigos publicados a partir de janeiro de 2006 foram considerados. Essa data foi escolhida para delimitar os resultados retornados pela pesquisa, trazendo apenas

os artigos mais recentes. Artigos publicados em datas anteriores que foram citados nos artigos mais recentes foram adicionados à revisão.

Somente artigos na língua inglesa estavam no escopo desta revisão. O idioma é amplamente aceito em trabalhos científicos de periódicos e conferências da área. Além disso, todos os principais trabalhos da área estão escritos nesse idioma.

As bases digitais *online ACM Digital Library*¹, *IEEE Xplore*² e *Springer Link*³ e as bases indexadas *Google Acadêmico*⁴ e *ScienceDirect*⁵ foram utilizadas como fonte de pesquisa. Trabalhos anteriores relacionados à detecção de clones realizados pelo autor deste trabalho também foram considerados.

A estratégia de seleção dos artigos foi elaborada após a definição do escopo da pesquisa.

3.1.3 Seleção dos artigos

Cadeias de busca com palavras-chave definidas de acordo com o escopo de pesquisa e seus sinônimos foram construídas. As cadeias de busca foram submetidas às máquinas de busca das fontes selecionadas.

As cadeias de busca de pesquisa utilizadas para cada máquina de busca, assim como os demais parâmetros de busca estão descritas nas Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5. Os termos *clone detection* e *program dependence graph* foram utilizados nas buscas. Artigos datados de janeiro de 2006 ou posteriores e publicados em periódicos e conferências foram selecionados. Artigos antigos citados naqueles inicialmente selecionados também foram adicionados. Alguns campos de filtro foram preenchidos, a depender da máquina de busca.

Novas pesquisas com os mesmos parâmetros de busca foram realizadas nas mesmas máquinas de busca, exceto pelo termo *program dependence graph*, que mudou para *program dependency graph*.

Após a leitura em alto nível dos artigos e a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, os trabalhos foram selecionados, uma vez que suas relevâncias foram confirmadas pelo revisor (no caso, o aluno). O orientador foi consultado quando houve dúvidas sobre as relevâncias dos artigos. A próxima subseção detalha a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos.

¹<http://dl.acm.org/>

²<http://ieeexplore.ieee.org>

³<http://www.springerlink.com/>

⁴<http://scholar.google.com.br/>

⁵<http://www.sciencedirect.com/>

Tabela 1 – Critérios de busca utilizados na máquina de busca ACM Digital Library

Palavras-chave	<i>“clone detection” “program dependence graph”</i>
Publicados desde	2006
Tipos de publicação	<i>Journal, Proceeding, Transaction e Magazine</i>
Texto presente em	<i>Full text e Abstract</i>

Tabela 2 – Critérios de busca utilizados na máquina de busca IEEE Xplore

Palavras-chave	<i>AND .QT.clone detection.QT. AND .QT.program dependence graph.QT.</i>
	em Todo o texto & Metadados
Editor	IEEE, AIP, IET, AVS e IBM
Tipos de publicação	<i>Conferences e Journals</i>
Período de publicação	<i>Specify Range from 2006 To Present</i>

3.1.4 Critérios de inclusão e exclusão

Os seguintes critérios de inclusão foram aplicados nos artigos retornados pela pesquisa:

- trabalhos que proponham técnicas de detecção de clones semânticos;
- *surveys* sobre detecção de clones que incluam técnicas de detecção de clones semânticos.

Os seguintes critérios de exclusão foram aplicados nos artigos retornados pela pesquisa:

- artigos não publicados em periódicos ou conferências;
- artigos que não contenham avaliações de técnicas de detecção de clones semânticos.

Os artigos que foram aceitos de acordo com os critérios de inclusão e exclusão citados foram sintetizados conforme descrito na próxima seção.

3.1.5 Artigos selecionados

Foram retornados 118 artigos na pesquisa. Esses artigos foram lidos e submetidos aos critérios de inclusão e exclusão descritos na Subseção 3.1.4. Após a aplicação dos critérios e descarte de artigos duplicados, oito artigos foram selecionados. Os artigos selecionados foram Liu et al. (2006), Bellon et al. (2007), Gabel, Jiang e Su (2008), Koschke (2008),

Tabela 3 – Critérios de busca utilizados na máquina de busca Springer Link

Palavras-chave	$\{clone\ detection\} \{program\ dependence\ graph\}$
	em Todo o texto
Publicados desde	1/1/2006
Categoria	<i>Only Journals</i>

Tabela 4 – Critérios de busca utilizados na base indexada Google Acadêmico

Palavras-chave	<i>“clone detection” “program dependence graph”</i>
Exibir artigos publicados entre	2006
	Com pelo menos um resumo

Roy e Cordy (2008), Roy, Cordy e Koschke (2009), Albuquerque, Neves e Chaim (2012) e Rattan, Bhatia e Singh (2013). Os artigos Komondoor e Horwitz (2001) e Krinke (2001), por serem citados pela maioria dos artigos selecionados e por apresentarem técnicas de detecção de clones semânticos, foram adicionados à revisão bibliográfica.

A Tabela 6 resume os tipos de artigos selecionados. Foram cinco artigos de novas técnicas [1–3, 5, 6], quatro *surveys* [8, 34–36] e um artigo cujo intuito é avaliar técnicas existentes [4].

Os artigos de técnicas de detecção de clones semânticos são discutidos na próxima seção. A forma de avaliação de técnicas de detecção de clones aplicada por Bellon et al. (2007) também é discutida na próxima seção. As *surveys* não são apresentadas em detalhes por serem resumos de diversos artigos que apresentam técnicas de detecção de clones, mas seus dados são apresentados na Seção 3.3, de discussão.

3.2 Trabalhos relacionados

Esta seção contém resumos e discussões das técnicas de detecção de clones semânticos propostas pelos artigos estudados. As características das técnicas propostas por Komondoor e Horwitz (2001), Krinke (2001), Liu et al. (2006), Gabel, Jiang e Su (2008) e Albuquerque, Neves e Chaim (2012), assim como as formas de avaliação utilizadas pelos autores e suas conclusões são apresentadas. A avaliação realizada por Bellon et al. (2007) também é apresentada.

Tabela 5 – Critérios de busca utilizados na base indexada ScienceDirect

Palavras-chave	“clone detection” AND “program dependence graph”
	em Todos os campos
Incluir	Journals
Período de publicação	2006 to Present

Tabela 6 – Tipos de artigos selecionados na revisão

Artigo	Nova Técnica	Survey	Avaliação de técnicas
Bellon et al. (2007)			X
Koschke (2008)		X	
Roy e Cordy (2008)		X	
Roy, Cordy e Koschke (2009)		X	
Komondoor e Horwitz (2001)	X		
Krinke (2001)	X		
Liu et al. (2006)	X		
Gabel, Jiang e Su (2008)	X		
Albuquerque, Neves e Chaim (2012)	X		
Rattan, Bhatia e Singh (2013)		X	
Total	5	4	1

3.2.1 Komondoor e Horwitz (2001)

Komondoor e Horwitz (2001) criaram uma técnica baseada em fatiamento de programas para navegar nos GDPs referentes aos fragmentos de códigos fontes dos programas comparados e encontrar subgrafos isomorfos [37]. O algoritmo desenvolvido é dividido em três fases. A primeira é encontrar pares de clones, a segunda é remover pares de clones que estejam contidos em pares de clones maiores e a terceira é a combinação dos pares de clones restantes em busca de montar grupos maiores de clones.

A primeira fase do algoritmo é a mais importante e deve ser observada detalhadamente. Nessa fase, os GDPs dos fragmentos de código fonte são comparados e os nós são divididos em classes de equivalência com base na sintaxe do comando ou predicado presente neles. Os nós dos GDPs são comparados e pares são formados quando dois nós estão na mesma classe de equivalência. A técnica de fatiamento de programas é aplicada recursivamente a partir desses pares para encontrar os próximos nós que serão comparados, navegando pelas arestas de dependência de fluxo de dados e de controle em sentido contrário. Nos casos de nós que representam predicados, o fatiamento de progra-

mas também é aplicado no sentido direto das dependências. O algoritmo somente para quando os nós comparados não estiverem na mesma classe de equivalência. Os grafos isomorfos são obtidos como resultado desse processo.

A Figura 15, retirada do artigo, ilustra a comparação de dois fragmentos de programas tendo como início os nós contendo o comando $*p++ = c;$. Esses grafos contém nós que representam esse comando, portanto o fatiamento continua sendo executado para os predecessores desses nós em seus respectivos GDPs. O algoritmo continua até a comparação do nó 5 do fragmento 1 com o 8 do fragmento 2. Por conterem condições diferentes dentro da definição do laço *while*, os nós foram classificados em classes de equivalência distintas. No final do processo, os conjuntos de nós $C1 = \{1a, 2a, 3a, 4a\}$ do fragmento 1 e $C2 = \{1b, 2b, 3b, 4b\}$ do fragmento 2 são retornados como conjuntos de clones.

Figura 15 – Comparação de GDPs utilizando fatiamento de programas.

Fonte: Komondoor e Horwitz (2001). Tradução livre.

Segundo os autores, os benefícios da abordagem são a capacidade de encontrar clones com comandos fora de ordem, emaranhados com outros comandos e não contíguos e a capacidade de encontrar fragmentos de código fonte candidatos à extração para novas funções.

A avaliação da técnica proposta ocorreu conforme se segue. Primeiramente, uma ferramenta que aplica o algoritmo foi desenvolvida para programas escritos na linguagem C [38]. Essa ferramenta foi submetida aos códigos fontes de três utilitários do Unix [39], que contém de 1.500, 2.445 e 11.540 linhas de código, respectivamente. Os tamanhos dos GDPs referentes aos utilitários e os tempos de execução para cada fase do algoritmo foram obtidos. Os autores analisaram os clones encontrados pela ferramenta e concluíram que ela foi capaz de encontrar os tipos de clones citados nos benefícios da abordagem, apresentados

previamente. Os autores indicaram ainda uma limitação da ferramenta, que é encontrar muitas vezes variantes de clones ideais (que são aqueles que podem ser identificados por seres humanos) ao invés de encontrarem os próprios clones. Essas ocorrências levam a um número elevado de falsos positivos⁶.

Mais execuções da ferramenta foram realizadas, dessa vez com bibliotecas com menos linhas de código. Os objetivos eram entender o quanto a ferramenta era capaz de encontrar clones ideais ou suas variantes, saber quantos clones “desinteressantes” a ferramenta encontrava e saber a proporção de clones fora de ordem, emaranhados ou não contíguos que ocorriam na prática em programas. Os pesquisadores selecionaram um subconjunto não especificado de clones, analisaram-nos, destacaram manualmente os clones considerados ideais, fora de ordem, emaranhados e não contíguos e mostraram as quantidades encontradas de cada um desses tipos de clone. Finalmente, os autores extraíram os clones do código fonte original e apresentaram o percentual de redução obtido. Esse percentual foi de 1,9% no pior caso e de 4,9% no pior caso.

Os autores concluíram que a técnica criada é capaz de encontrar tipos de clones que outras técnicas não conseguiriam encontrar, especialmente os que envolvem clones não contíguos, fora de ordem, emaranhados e com alteração de nomes de variáveis. Ainda segundo os autores, a ferramenta criada raramente deixa de reportar clones ideais e raramente reporta clones desinteressantes. Os autores alegaram que a lentidão na execução da ferramenta ocorreu devido ao modo que o algoritmo foi desenvolvido e não por causa da abordagem de utilização de GDPs com fatiamento de programas. O número de variantes de clones ideais encontrados pela ferramenta também foi apontado como um problema encontrado na ferramenta.

3.2.2 Krinke (2001)

Krinke (2001) utilizou GDPs granulares como estrutura de dados para detectar clones. O GDP granular é uma especialização daquele definido por Ferrante, Ottenstein e Warren (1987) e é similar a uma árvore sintática abstrata. Declarações de variáveis e de procedimentos ganham vértices nesse tipo de GDP. Todos os nós possuem uma classe (comando, expressão ou chamada de procedimento, por exemplo), um operador (um tipo ou constante, por exemplo) e um valor. O GDP granular também possui arestas especiais: arestas de dependência imediata de controle, dependência de valor e dependência de referência. A diferença entre as arestas de valor e de referência é que, para um nó

⁶O número não foi apresentado pelos autores

n ser dependente de um nó p por valor, basta o valor de uma variável computada em p ser utilizado por n enquanto a dependência por referência exige que o valor da variável computada em p seja guardado em alguma variável de n . A Figura 17 ilustra um trecho de um GDP granular referente ao fragmento de código fonte contido na Figura 16. Ambas as figuras foram retiradas do artigo.

```
void f ( int a, int b, int c ) {
    x = a * (y = b + c);
    z = x + y;
}
```

Figura 16 – Código fonte de exemplo para geração de um GDP granular.
Fonte: Krinke (2001)

Figura 17 – Trecho do GDP granular referente ao código fonte da Figura 16.
Fonte: Krinke (2001). Tradução livre.

Para Krinke, dois grafos de atributos e direcionados são isomorfos se todas as arestas estiverem relacionadas por uma função bijetora na qual a aresta do outro grafo e os atributos das arestas incidentes são os mesmos. Krinke destaca que o problema de saber se dois grafos são isomorfos é NP completo [20]. O problema foi relaxado para que a aplicação da técnica fosse viável. O algoritmo proposto no artigo é o que se segue. Sejam V_1 e V_2 nós similares e E_1 e E_2 as arestas que saem de V_1 e V_2 , respectivamente. E_1 e E_2 são particionadas em classes de equivalência baseadas nos atributos dos vértices e os nós alcançados por essas arestas são adicionados a G_1 e G_2 , resultados do algoritmo.

O algoritmo é executado para cada par de nós similares dos grafos, ou até o número de execuções recursivas chegar a fator de relaxamento k . Esse fator define o máximo de subcaminhos que podem ser percorridos nos grafos.

Uma ferramenta que aplica a técnica em programas escritos na linguagem C foi desenvolvida e avaliada. Primeiramente foram realizados testes para encontrar um valor adequado para k . A ferramenta foi executada em 15 utilitários do Unix com diferentes valores de k . O tamanho dos utilitários em linhas de código, os números de nós e arestas dos GDPs gerados, os tempos de execução para cada k e os números de clones encontrados foram fornecidos pelo autor do artigo. O autor ainda cita que o valor de k tende a não influenciar muito no resultado do algoritmo quando é muito grande. Ele cita que $k = 20$ deve ser um bom valor para a maior parte dos casos. Ele analisou um subgrupo não especificado dos clones obtidos pela ferramenta e observou um acerto de 100%.

No final do artigo o autor afirma que a técnica proposta é viável mesmo sendo um problema de complexidade não polinomial. O autor também cita dois obstáculos. O primeiro é o caso em que há um número grande de clones no código fonte, no qual o programa não pode ser aplicado devido ao grande tempo de execução. O segundo é a quantidade de clones pequenos que a ferramenta indica ao invés de indicar os clones maiores, compostos de vários desses clones menores. Ainda segundo o autor, o ideal seria a ferramenta agrupar os diversos clones pequenos em grupos maiores de clones.

3.2.3 Liu et al. (2006)

Liu et al. (2006) criaram uma ferramenta capaz de detectar clones semânticos a partir da obtenção dos histogramas de vértices dos GDPs dos códigos fontes como estrutura de dados auxiliar, com o intuito de filtrar os GDPs que são submetidos à análise de isomorfismo. O algoritmo está dividido em dois subproblemas. O primeiro subproblema é identificar quando dois subgrafos são clones e o segundo é identificar quando a maioria, se não todos, os nós de dois GDPs são clones.

A detecção de subgrafos clonados é realizada utilizando análise de isomorfismo entre eles. O problema de encontrar isomorfismo é relaxado em um fator que diz o quanto um GDP pode ser diferente de outro para, mesmo assim, ser considerado clone. O fator é calculado como se segue. Os histogramas $h(g)$ e $h(g')$ de vértices dos grafos comparados, g e g' respectivamente, são obtidos. Cada entrada dos histogramas é referente à frequência de um tipo de vértices nos grafos. Os dois histogramas são submetidos a testes de hipóteses como função de similaridade. O objetivo é estimar uma distribuição multinomial k -

dimensional $P(g)$ de $h(g)$ e verificar se $h(g')$ pode ser uma observação de $P(g)$. Se for, (g, g') são submetidos à análise de isomorfismo.

Outros fatores que relaxam o problema de encontrar GDPs clonados são a exclusão de GDPs menores do que um tamanho pré-definido e a exclusão de comparações nas quais o primeiro subgrafo comparado for maior do que o segundo.

Segundo os autores, as características dos GDPs de serem, em geral, de tamanho pequeno, aliadas à sua estrutura e à falta de necessidade de descobrir se todos pares de subgrafos são isomorfos (na maioria dos casos um par já basta) para detectar clones, tornam o algoritmo de busca viável. Os fatores aplicados para relaxar o problema de encontrar subgrafos isomorfos também viabilizam a técnica proposta.

Uma ferramenta, chamada *GPLAG*, foi criada para avaliar a técnica proposta. Essa ferramenta foi comparada com as ferramentas *Moss*⁷ e *JPLAG*⁸. Apesar de também executar para programas em Java, a *GPLAG* foi validada em programas C. Três testes foram executados pelos autores.

No primeiro teste o programa *join*⁹ do C foi clonado com reordenação de comandos, alteração de comandos de controle e inversão de lógicas condicionais, sem alterar o resultado final da execução. As ferramentas *Moss* e *JPLAG* foram executadas para o *join*. O código do programa *join* foi alterado (sem alterar a semântica) enquanto as ferramentas não errassem em seus apontamentos de clones. Quando as ferramentas falharam em seus reportes, a *GPLAG* foi executada e os resultados foram comparados.

O segundo teste foi de eficiência. A *GPLAG* foi executada diversas vezes em vários programas escritos na linguagem C, alternando configurações de parâmetros de execução de fatores de relaxamento (inclusive aplicar ou não aplicar os fatores).

O terceiro e último teste foi a aplicação da *GPLAG* em bibliotecas maiores do que o *join*, sem alteração de código fonte, com o intuito de simular uma aplicação mais usual de detecção de clones semânticos.

Os autores afirmam que os experimentos demonstraram que a ferramenta foi mais efetiva e eficiente em comparação às outras, e que ela é aplicável na prática. Afirmam ainda que técnicas semânticas são superiores a outras por encontrarem tipos de clones que envolvem reordenação de código fonte no qual as linhas reordenadas não tem dependência de dados e inserção e remoção de comandos que não influenciam no grafo. A técnica pro-

⁷<http://www.wisdomandwonder.com/link/1684/moss-a-system-for-detecting-software-plagiarism>

⁸<https://www.ipd.uni-karlsruhe.de/jplag/>

⁹Os autores não especificaram onde encontrá-lo e nem em qual versão ele estava

posta pela *GPLAG* tem como ponto forte, além disso, a escalabilidade devido à aplicação dos fatores de relaxamento, mantendo uma taxa baixa de falsos negativos.

3.2.4 Bellon et al. (2007)

O objetivo de Bellon et al. (2007) foi realizar comparações entre diversas técnicas de detecção de clones. Autores de técnicas de detecção de clones foram contactados para que suas ferramentas fossem submetidas a um *benchmark* que seria criado por ele. As ferramentas *Dup* [32], *CloneDR* [28], *CCFinder* [25], *DupliX* [2], *CLAN* [40] e *Duploc* [22] foram submetidas ao *benchmark*.

O primeiro teste foi realizado com ferramentas de pequeno porte, com o objetivo de detectar potenciais problemas na execução principal. Alguns problemas foram encontrados, o que levou a pequenas normalizações nos códigos fontes das bibliotecas que foram submetidas às ferramentas.

O segundo passo foi a execução do teste principal, no qual as ferramentas foram executadas a fim de analisar bibliotecas escritas nas linguagens C e Java. Os autores das ferramentas avaliadas tiveram a oportunidade de executá-las duas vezes durante o teste principal. A primeira vez foi sem configurações iniciais nas ferramentas, e a segunda vez foi com direito a adaptar estas configurações aos experimentos conduzidos. Essa adaptação das configurações teve um tempo pré-definido de cinco semanas para ser efetuada. Os candidatos a clones reportados pelas ferramentas foram obtidos como resultado das execuções.

O *benchmark* foi criado após a coleta dos candidatos a clones reportados pelas ferramentas. Houve uma distribuição automática dos candidatos a clones para que o oráculo (o próprio Bellon) pudesse escolhê-los de forma que não soubesse qual ferramenta os reportou. O oráculo selecionou manualmente dois por cento dos clones enviados pelas ferramentas para fazer parte do *benchmark*. Um conjunto adicional de clones, escritos manualmente por Bellon, foi inserido ao conjunto formado pelos clones previamente selecionados.

Os conjuntos de clones reportados pelo oráculo e o conjunto de candidatos a clones reportados pelas ferramentas foram aplicados a métricas e os dados resultantes destas aplicações foram analisados. Taxas de precisão e de recuperação e quantidade de candidatos a clones rejeitados (ou seja, considerados não clones) pelas ferramentas são exemplos de métricas.

Não foi tirada conclusão definitiva sobre uma ferramenta ser melhor do que outra. O

autor destacou características das ferramentas. Seguem as considerações do autor sobre a ferramenta de análise semântica.

A ferramenta de análise semântica avaliada [2] somente é sensível a clones com adições e remoções de linhas e inversões de comandos no código fonte e não executou para todas as bibliotecas devido a problemas de esgotamento de memória. A não execução para algumas bibliotecas diminuiu o número de candidatos submetidos pela ferramenta, o que também degradou sua avaliação. A ferramenta de Krinke também mostrou um baixo desempenho em termos de velocidade de execução.

A definição de clones como sendo blocos seguidos de texto também teve influência negativa na avaliação da ferramenta *DupliX*, que é baseada em GDPs, o que faz sua definição de clones ser baseada em funções.

O material utilizado durante a pesquisa e os resultados estão disponíveis na *internet*¹⁰.

3.2.5 Gabel, Jiang e Su (2008)

Os autores do artigo separam GDPs em subgrafos, chamados por eles de *threads* semânticas, baseando-se no conceito de componentes fracamente conectados. Esses componentes são trechos de um GDP que não dependem um do outro. Esses subgrafos são obtidos utilizando fatiamento de programas. Segundo os autores, a técnica proposta gera conjuntos de árvores a partir das *threads* semânticas encontradas. Essas árvores são então submetidas à análise da ferramenta *DECKARD* [41]. A *DECKARD* é capaz de encontrar semelhanças em árvores por meio de transformação delas em vetores numéricos de características e posterior análise de proximidade de vetores vizinhos.

Os autores do artigo separaram a validação em geração de GDPs e detecção de clones. O ambiente de execução foi um sistema operacional *Fedora 6/64bit* com um processador 2.66GHz *Core 2 Duo* e 4GB de memória RAM. A ferramenta *CodeSurfer 2.1p1*¹¹ foi utilizada para a geração de GDPs. A JVM *Sun Java 1.6.0u1 64-bit Server*¹² foi utilizada como plataforma para a execução dos experimentos. Após a geração dos GDPs, a ferramenta criada foi executada em bibliotecas escritas na linguagem C. Dados foram coletados e uma análise qualitativa foi realizada.

Segundo os autores, a taxa de falsos positivos reportados pela ferramenta foi relativamente baixa e dependente do número mínimo de nós de comandos do GDP configurado

¹⁰<http://www.bauhaus-stuttgart.de/clones/>

¹¹<http://www.grammatech.com/products/codesurfer/overview.html>

¹²<http://www.oracle.com/technetwork/java/javae/downloads/index.html>

antes da execução da ferramenta. Quando esse número foi configurado para 4, a taxa de falsos positivos foi para zero. A ferramenta proposta encontra mais clones com tamanho médio maior. Foi observado que diversos clones semânticos estavam contidos em clones sintáticos.

Os pontos fortes relatados pelos autores foram a eficiência da ferramenta, a capacidade de encontrar comandos reordenados e com substituição de comandos de controle e a possibilidade de utilizá-la para detectar defeitos e para entendimento do código. A capacidade de encontrar clones em fragmentos de código que são menores do que procedimentos e funções também foi ressaltada pelos autores do artigo, visto que outras técnicas baseadas em grafos encontram clones tendo funções como unidade mínima de trabalho. Os autores citam a técnica proposta como sendo uma técnica escalável de detecção de clones, baseando-se em comparações do tempo de execução dela com tempos citados em outros artigos, de outras ferramentas.

3.2.6 Albuquerque, Neves e Chaim (2012)

Albuquerque, Neves e Chaim (2012) criaram uma ferramenta chamada *Bytecode Java Clone Detector (BJCD)* para detectar clones semânticos a partir dos *bytecodes* dos programas escritos para a plataforma Java. Esse é um trabalho publicado com participação do autor desta pesquisa, porém foi desenvolvido anteriormente a ela.

Os passos do algoritmo são os que se seguem. Primeiramente é realizada uma integração com a ferramenta *Java Bytecode Understanding and Testing (JaBUTi)* [42], que lê os *bytecodes* e gera GFCs. A partir desses GFCs o algoritmo de criação de GDPs proposto por Ferrante, Ottenstein e Warren (1987) é executado. Os GDPs gerados são submetidos à análise de isomorfismo da ferramenta. O algoritmo desenvolvido para detectar subgrafos isomorfos é baseado no de Komondoor e Horwitz (2001), no qual os GDPs são navegados com aplicação do fatiamento de programas. A função de similaridade de Albuquerque, Neves e Chaim (2012) é baseada nas instruções *bytecode* existentes no nós dos GDPs.

Os *bytecodes* dos GDPs são normalizados para que os tipos de variáveis e a ordem de definição ou uso de variáveis sejam ignorados. As Figuras 18 e 19, retiradas do trabalho, representam a normalização de dois nós de GDPs. Na Figura 18, o nó 1 contém os *opcodes* (códigos de instruções *bytecode*) *ILOAD* da variável 1, *ILOAD* da variável 2, *IADD* e *ISTORE* na variável 3. O nó 2 contém as instruções *LLOAD* da variável 2, *LLOAD* da variável 1, *LSUB* e *LSTORE* na variável 3. Após a normalização, conforme ilustrado na Figura 19, o nó 1 fica com os *opcodes* *LOAD*, *LOAD*, *ADD* e *STORE*. O nó 2

fica com as instruções *LOAD*, *LOAD*, *SUB* e *STORE*. Todos os *opcodes* dos dois vértices são similares, exceto as instruções *ADD* do nó 1 e a *SUB* do nó 2.

Figura 18 – Vértices antes da normalização da BJCD.
 Fonte: Albuquerque, Neves e Chaim (2012)

Figura 19 – Vértices após a normalização da BJCD.
 Fonte: Albuquerque, Neves e Chaim (2012)

Um percentual de *opcodes* devem ser iguais após a normalização dos nós dos GDPs para que esses nós sejam considerados clones. É possível configurar esse percentual na ferramenta. Esse mecanismo oferece a possibilidade de calibrar a ferramenta para uma biblioteca específica na qual, por exemplo, os métodos não são idênticos somente por um ter retorno e o outro não.

A avaliação da ferramenta ocorreu como se segue. Os cenários levantados por Roy, Cordy e Koschke (2009) foram escritos na linguagem Java. A *BJCD* foi executada para esses cenários. A execução inicial para cada cenário foi de 100% de similaridade, sendo que a cada execução onde a ferramenta não detectou um clone o percentual foi diminuído, até que o clone fosse encontrado.

Os autores destacam como pontos positivos da ferramenta a capacidade de encontrar clones nos quais o código esteja reordenado ou com inserções de linhas. Por trabalhar com *bytecodes*, a ferramenta detecta clones mesmo quando grandes alterações no código fonte são realizadas, uma vez que os fluxos de dados e controle são mantidos. Por outro lado, a ferramenta não tem boa eficácia em cenários nos quais linhas de código são removidas entre o código original e o clone.

3.3 Discussão

Esta seção tem como objetivo apresentar uma discussão sobre as técnicas de detecção de clones apresentadas. Dados presentes nas *surveys* retornadas pela revisão também são discutidos nesta seção.

3.3.1 Estruturas de dados utilizadas

Diferentes técnicas de detecção de clones e heurísticas aplicadas para melhorar o desempenho de execução são apresentadas nos artigos estudados. Uma das técnicas utilizadas para encontrar GDPs isomorfos é a transformação deles em estruturas parecidas com árvores, utilizada por Krinke (2001) e Gabel, Jiang e Su (2008). As técnicas apresentadas nos dois artigos possuem, segundo seus autores, desempenhos distintos. A técnica baseada na transformação de GDPs em árvores e dessas árvores em vetores para posterior análise de vizinhança [5] é escalável, enquanto a técnica de transformar GDPs em estruturas mais granulares, parecidas com árvores [2] tem como pontos fracos justamente os desempenhos de tempo e memória. Outras técnicas de detecção de clones transformam os GDPs em vetores de características [3] ou mantêm o GDP em seu estado inicial [1, 6]. A Tabela 7 descreve as estruturas de dados utilizadas nos artigos. A técnica de Liu et al. (2006) transforma GDPs em vetores. As técnicas que mantêm o GDP em seu estado inicial [1, 6] possuem problemas no desempenho de tempo de execução, segundo seus autores.

Tabela 7 – *Estruturas de dados utilizadas na detecção de clones*

Estrutura	Artigos
GDP sem transformações	Komondoor e Horwitz (2001) Albuquerque, Neves e Chaim (2012)
Transformação em vetores	Liu et al. (2006) Gabel, Jiang e Su (2008)
GDPs como árvores	Krinke (2001) Gabel, Jiang e Su (2008)

3.3.2 Técnicas de comparação de GDPs

As três técnicas que utilizam navegação nas estruturas de dados criadas [1, 2, 6] apresentam pouco desempenho em relação ao tempo de execução da detecção de clones. Por outro lado, transformar as informações de fluxo de dados e controle dos trechos de

código fonte analisados em vetores numéricos para posteriores análises utilizando funções de análise de distanciamento desses vetores é uma técnica empregada em artigos de autores que afirmam que as técnicas propostas são escaláveis [3, 5]. A Tabela 8 associa as técnicas de detecção de clones aos artigos que as utilizam. Os filtros aplicados nas ferramentas de detecção de clones semânticos também influenciam no desempenho.

Tabela 8 – *Tipos de técnicas de detecção de clones semânticos*

Técnica	Artigos
Navegação na estrutura de dados	Komondoor e Horwitz (2001) Krinke (2001) Albuquerque, Neves e Chaim (2012)
Análise de distância de vetores	Liu et al. (2006) Gabel, Jiang e Su (2008)

Um filtro comumente utilizado pelos autores de artigos [3, 5] é a definição de um tamanho mínimo dos GDPs que serão analisados. Se o GDP do trecho de código fonte analisado não possuir um tamanho mínimo, não será submetido à detecção de clones. Os autores ainda afirmam que essa técnica auxilia na redução do número de falsos positivos encontrados pelas ferramentas criadas. Outra técnica utilizada para melhorar o desempenho é filtrar pares de GDPs nos quais o candidato a código original é maior do que o GDP do candidato a clone. Gabel, Jiang e Su (2008) definem que, em geral, o código original é maior do que o copiado. A Tabela 9 descreve os filtros utilizados nos artigos.

Tabela 9 – *Filtros heurísticos para melhorar o desempenho das técnicas*

Filtro	Artigos que utilizam
Tamanho mínimo do GDP	Liu et al. (2006) Gabel, Jiang e Su (2008)
Não comparar GDPs grandes com menores	Liu et al. (2006)

3.3.3 Pontos fortes e deficiências

Os artigos estudados indicam pontos fortes e deficiências tanto de técnicas semânticas de detecção de clones em geral [4, 8, 34–36] quanto das técnicas propostas nos artigos [1–3, 5, 6]. Dentre os pontos positivos, os principais citados são as capacidades de detectar clones com reordenação de comandos na qual não há alteração nos fluxos de dados e controle [1–6, 8, 34] e clones nos quais comandos são inseridos ou removidos [1–6, 34].

Um ponto positivo levantado tanto por Liu et al. (2006) quanto por Gabel, Jiang e Su (2008) é a escalabilidade das técnicas propostas. Rattan, Bhatia e Singh (2013) também mencionam a escalabilidade como ponto positivo dessas ferramentas de detecção de clone semântico. Esses autores também mencionam a baixa quantidade de falsos positivos reportados pelas ferramentas. A detecção de clones menores do que funções e procedimentos (funções e procedimentos são o escopo de um GDP típico) é destacada por Gabel, Jiang e Su (2008). A Tabela 10 exibe o total de artigos que citam cada ponto positivo apresentado.

Tabela 10 – Citações de pontos positivos de técnicas de detecção de clones semânticos

Ponto positivo	Total
Detectar clones com reordenação de comandos	8
Detectar clones com inserção e remoção de comandos	7
Escalabilidade	3
Poucos falsos positivos	3
Detectar clones em trechos menores do que procedimentos e funções	1

A principal deficiência destacada pelos autores dos artigos estudados é a lentidão apresentada nas execuções das ferramentas [1, 2, 4, 8, 34, 36]. A segunda principal deficiência citada sobre as técnicas estudadas é o alto consumo de memória [2, 4, 34]. A alta quantidade de falsos positivos reportados pelas ferramentas analisadas também é uma deficiência citada em artigos estudados [1, 2, 8, 36]. A Tabela 11 exibe o total de artigos que citam cada deficiência apresentada.

Tabela 11 – Citações de deficiências de técnicas de detecção de clones semânticos

Deficiência	Total
Lentidão de execução	7
Alto número de falsos positivos	5
Alto consumo de memória	4

As observações de pontos positivos e deficiências realizadas nos artigos foram baseadas em diferentes formas de avaliação. A próxima subseção apresenta essas formas de avaliação.

3.3.4 Formas de avaliação

Benchmarks utilizados nos artigos estudados e comparações com outras ferramentas de detecção de clones semânticos ou com ferramentas que utilizem outros tipos de técnicas

foram observados. Apenas Bellon et al. (2007) utilizaram um *benchmark* para avaliar as técnicas de detecção de clones. Liu et al. (2006) também utilizaram ferramentas baseadas em técnicas diferentes da semântica para comparar com a ferramenta de detecção de clones construída. Roy, Cordy e Koschke (2009) utilizaram uma análise baseada em cenários e suposições. Os autores supuseram quais seriam os comportamentos de algumas ferramentas de detecção de clones em diversos cenários de duplicação de código propostos por eles. A partir dessas suposições, notas qualitativas foram dadas às ferramentas para cada cenário avaliado. Nenhuma comparação com outras técnicas de detecção de clones foi realizada em quatro de cinco artigos cujo objetivo principal era propor técnicas de detecção de clones semânticos [1, 2, 5, 6]. Nesses artigos os autores executaram suas ferramentas em bibliotecas de teste e analisaram taxas de erros e outros critérios em amostras dos clones reportados pelas ferramentas. A Tabela 12 ilustra os tipos de avaliação observados nos artigos estudados e os artigos que os aplicaram.

Tabela 12 – *Tipos de avaliação de técnicas de detecção de clones semânticos*

Técnica de avaliação	Artigos
Sem comparações com outras ferramentas	Komondoor e Horwitz (2001) Krinke (2001) Gabel, Jiang e Su (2008) Albuquerque, Neves e Chaim (2012)
Comparações com outras ferramentas	Liu et al. (2006) Bellon et al. (2007)
<i>Benchmark</i>	Bellon et al. (2007)

Alguns dados foram coletados e analisados em um número maior de artigos, o que sugere que são importantes para uma avaliação correta de ferramentas de detecção de clones semânticos. Esses dados podem ser vistos na Tabela 13, juntamente aos totais de artigos que os utilizaram em suas avaliações. O tamanho das bibliotecas submetidas aos testes (em linhas de código) foi o dado mais utilizado em avaliações [1–6], seguido pelos clones reportados pelas ferramentas [2–6] e o tempo de execução da detecção de clones [1, 2, 4–6]. O número de nós dos GDPs processados [1–3], os tipos dos clones reportados pelas ferramentas [3, 4] e os tamanhos dos clones encontrados (em linhas de código) [4, 5] também foram considerados relevantes por mais de um artigo. Como os outros dados foram citados por apenas um artigo, não são apresentados.

A próxima subseção apresenta uma discussão acerca da reprodutibilidade das avaliações realizadas nos artigos.

Tabela 13 – Dados para avaliações de detecção de clones semânticos

Dado	Total de artigos
Tamanhos das bibliotecas validadas (em linhas de código)	6
Clones reportados pela ferramenta	5
Tempo de execução da detecção de clones	5
Número de nós dos GDPs processados	3
Tipos dos clones reportados	2
Tamanhos dos clones encontrados (em linhas de código)	2

3.3.5 Reprodutibilidade das avaliações realizadas

Finalmente, quanto à capacidade de reproduzir os experimentos executados nos artigos estudados, somente Bellon et al. (2007) deixam disponíveis os dados de teste e as amostras de clones consideradas nas avaliações, mas as versões dos programas Java são antigas, o que faz com que avaliações nessas versões de programas não sejam mais aplicáveis. Os demais autores não especificaram quais candidatos a clones foram considerados nas avaliações das ferramentas. Os ambientes de execução das ferramentas e as versões das bibliotecas submetidas a testes também não foram especificados, o que dificulta a reprodução dos experimentos.

3.4 Conclusão do capítulo

Um levantamento bibliográfico realizado com o objetivo de identificar técnicas de detecção de clones semânticos, assim como as formas mais comuns de avaliar estas técnicas e seus pontos fortes e deficiências, foi apresentada neste capítulo. Uma questão foi elaborada para guiar a revisão bibliográfica. Cadeias de busca e filtros de pesquisa foram submetidos a diferentes máquinas de busca. Os resultados das pesquisas foram submetidos a critérios de inclusão e exclusão de artigos, e os artigos que passaram nesses últimos filtros foram analisados. Os conteúdos dos artigos foram sintetizados e características relevantes para responder a questão formulada foram extraídas e analisadas.

Cinco artigos nos quais os autores apresentaram propostas de novas técnicas de detecção de clones semânticos, um artigo no qual diversas técnicas de detecção de clones (semânticos e não semânticos) foram avaliadas por meio de um *benchmark* e quatro *surveys* foram analisados.

Foi possível separar as técnicas de detecção de clones em grupos durante as análises dos

artigos. Tanto grupos de estruturas de dados utilizadas quanto de técnicas de análise de similaridade foram destacados. Técnicas que transformam os GDPs em vetores numéricos tendem a ser mais escaláveis do que técnicas que navegam pelos nós dos GDPs, segundo os autores. Ambos os grupos de técnicas compartilham os pontos positivos de detectar clones com comandos reordenados e com inserções e remoções de linhas de comando. No que se refere aos desempenhos de memória e tempo de execução, no entanto, as técnicas baseadas em vetores numéricos são mais eficazes do que as técnicas de navegação nas estruturas de dados. As técnicas baseadas em vetores numéricos também apresentam um número menor de falsos positivos do que as técnicas de navegação em GDPs. Os pontos positivos e as deficiências levantados são baseados, porém, em análises realizadas pelos autores dos artigos as quais tem pouca possibilidade de reprodução, pois somente Bellon et al. (2007) tornaram os dados utilizados em suas comparações disponíveis e informaram detalhadamente o ambiente no qual as ferramentas foram executadas.

Apenas Bellon et al. (2007) utilizaram um *benchmark* para avaliar técnicas de detecção de clones semânticos. Porém, esse *benchmark* tende a favorecer técnicas que analisam os clones textualmente ao invés de semanticamente, segundo os próprios autores do artigo. Além desse artigo, que comparou ferramentas de detecção de clones semânticos com outras ferramentas, baseadas em outras técnicas, somente Liu et al. (2006) compararam ferramentas de detecção de clones semânticos com outras ferramentas. O restante dos autores realizaram análises sem comparações ou com comparações baseadas em cenários e suposições. Não houve comparações de ferramentas que utilizam técnicas baseadas em GDPs com outras ferramentas do mesmo tipo, nas quais ambas as ferramentas foram executadas e os resultados confrontados, em nenhum dos artigos estudados.

Nenhuma das técnicas apresentadas prevê chamadas de procedimentos dentro dos nós dos GDPs, o que pode levar a um número elevado de falsos positivos. A proposta deste trabalho é criar uma técnica capaz de detectar clones com a capacidade de analisar as chamadas de procedimentos. A forma de avaliação será baseada em um *benchmark*, assim como apresentado por Bellon et al. (2007). Os próximos capítulos apresentam um *benchmark* criado para avaliar técnicas de detecção de clones semânticos e uma técnica que leva em consideração as chamadas de procedimentos durante a análise dos trechos de código candidatos a clone.

Capítulo 4

Benchmark para Detectores de Clones

Avaliações de ferramentas de detecção automática de clones em sistemas com várias linhas de código são atividades que demandam tempo e critério dos avaliadores, conforme pode ser observado em artigos analisados [1–5, 8, 34, 35]. Diversos pares de fragmentos de código candidatos a clones devem ser analisados e classificados como clones ou não clones. As comparações de candidatos a clones são comumente simplificadas por autores de artigos presentes na literatura por serem trabalhosas. Por exemplo Bellon et al. (2007) analisaram apenas dois por cento dos candidatos a clones reportados em seus experimentos e Roy, Cordy e Koschke (2009) aplicaram análises qualitativas e subjetivas para comparar detectores de clones. A pouca reprodutibilidade de experimentos também é um problema encontrado em alguns trabalhos. Por exemplo, Komondoor e Horwitz (2001) obtiveram amostras aleatórias de candidatos a clones para analisarem a técnica proposta, o que dificulta a exata reprodução do experimento realizado. A utilização de *benchmarks* que possuam conjuntos previamente estabelecidos de clones para serem analisados e que avaliem automaticamente os resultados retornados pelos detectores de clones é uma solução para mitigar os problemas de tempo de execução, subjetividade e reprodutibilidade dos experimentos, pois *benchmarks* dessa natureza não exigem a extensa participação de pessoas no processo de análise. *Benchmarks* são, portanto, conjuntos de programas e operações pré-definidos com o intuito de avaliar determinada característica de um outro programa. No contexto desta pesquisa, a taxa de acertos das ferramentas de detecção de clones será avaliada com auxílio do *benchmark*, que será composto por um conjunto de métodos candidatos a clones.

Um *benchmark* de detectores de clones foi criado nesta pesquisa. Esse *benchmark* disponibiliza diferentes tipos de clones para análise, de acordo com as diversas definições de clones existentes na literatura. O *benchmark* é também capaz de ler os resultados dos detectores de clones quando exportados em um formato específico e calcular as taxas de acertos.

4.1 Metodologia para a criação do *benchmark*

Foi necessário definir os tipos de clones considerados no experimento. Para tanto, um estudo foi realizado na literatura sobre tipos de clones reportados por outros autores. Esses tipos de clones foram agrupados em um novo conjunto de tipos de clones, proposto na pesquisa atual.

Projetos de código aberto foram selecionados e os candidatos a clones foram extraídos deles no passo seguinte. Um dos objetivos da atividade é que esses candidatos a clones sejam analisados por programadores, portanto foi necessário preparar um treinamento para que eles tivessem conhecimento suficiente para realizar a atividade. Critérios foram definidos para a seleção dos programadores envolvidos na pesquisa e para a classificação de candidatos a clones por parte desses programadores.

As seções a seguir detalham os passos supracitados.

4.1.1 Definição dos tipos de clones considerados

Os tipos de clones propostos nesta seção são baseados em leituras de artigos sobre detecção de clones. Dois artigos de *survey* sobre detecção de clones, um de avaliação de detectores de clones utilizando *benchmark* e outro no qual uma técnica de detecção de clones é proposta foram avaliados e os tipos de clones definidos nesses artigos foram analisados.

Rattan, Bhatia e Singh (2013) realizaram uma revisão sistemática sobre técnicas de detecção de clones e propuseram os seguintes tipos de clones:

- **Tipo 1:** cópias exatas
- **Tipo 2:** cópias com variações nos nomes dos identificadores, nas constantes ou nos tipos de variáveis e retornos de funções;
- **Tipo 3:** cópias com adição ou remoção de linhas de código;
- **Tipo 4:** clones similares funcionalmente sem necessariamente serem similares textualmente (clones semânticos).

Roy, Cordy e Koschke (2009) realizaram uma *survey* sobre técnicas de detecção de clones e, baseados nos estudos realizados, definiram os seguintes tipos de clones:

- **Tipo 1:** cópias nas quais linhas em branco ou comentários foram adicionados ou que tiveram mudanças na indentação;
- **Tipo 2:** cópias com as modificações do Tipo 1 e adicionalmente com variações nos nomes dos identificadores, nas constantes ou nos tipos de variáveis e retornos de funções;
- **Tipo 3:** cópias com as modificações do Tipo 2 e adicionalmente com adição ou remoção de linhas de código;
- **Tipo 4:** cópias que realizam a mesma computação, porém variam sintaticamente, ou seja, são clones semânticos.

O artigo de Liu et al. (2006) apresenta uma técnica de detecção de clones semânticos. Os autores definem os seguintes tipos de clones:

- **Tipo 1:** cópias nas quais linhas em branco ou comentários foram adicionados ou que tiveram mudanças na indentação;
- **Tipo 2:** cópias com variações nos nomes dos identificadores;
- **Tipo 3:** cópias com reordenação de comandos;
- **Tipo 4:** cópias com substituição de comandos de controle.

Bellon et al. (2007) construíram um *benchmark* para avaliar detectores de clones. Os tipos de clones definidos pelos autores, conforme eles afirmam no artigo, têm foco em alterações textuais. Seguem os tipos de clones definidos no artigo:

- **Tipo 1:** cópia exata;
- **Tipo 2:** cópias com variações nos nomes dos identificadores e nos tipos de variáveis e retornos de funções;
- **Tipo 3:** cópias com alteração, adição ou remoção de comandos.

É possível observar que alguns tipos de alterações, como por exemplo a alteração dos nomes dos identificadores e a inserção de espaços em branco e comentários estão presentes em mais de um artigo. Alterações inerentes a clones semânticos podem ser observadas nos artigos de Rattan, Bhatia e Singh (2013), Roy, Cordy e Koschke (2009) e Liu et al. (2006).

Bellon et al. (2007) definiram também o tipo de clone mais básico, que é a cópia exata do código. Os tipos de clones a seguir são uma contribuição do trabalho atual e são baseados naqueles encontrados nos artigos estudados. Esses tipos de clones serão utilizados para classificar os clones encontrados nesta pesquisa:

- **Tipo 1:** cópia exata;
- **Tipo 2:** cópias nas quais linhas em branco ou comentários foram adicionados ou que tiveram mudanças na indentação;
- **Tipo 3:** cópias com variações sintáticas leves, como alterações nos nomes dos identificadores, nas constantes utilizadas e na disposição do código;
- **Tipo 4:** cópias com alterações nos tipos de variáveis e retornos de funções;
- **Tipo 5:** cópias com adição ou remoção de linhas de código;
- **Tipo 6:** cópias com reordenação de comandos;
- **Tipo 7:** cópias com substituições simples de estruturas de controle. Por exemplo, uma substituição de um comando *while* por um *for* é considerada uma substituição simples de estruturas de controle;
- **Tipo 8:** cópias com substituições lógicas na estrutura de controle, por exemplo a inversão lógica de um comando *if (a) then b else c* por *if (!a) then c else b*.

Os tipos de clones mais granulares do que os presentes na literatura têm como objetivo possibilitar que análises mais específicas quanto à capacidade de detectar clones sejam realizadas.

4.1.2 Obtenção de candidatos a clones de projetos de código aberto

Os programas *commons-math3-3.0*¹, *weka-3.7.6*², *jtopas-0.8*³ e *checkstyle-5.5*⁴ foram selecionados por possuírem tamanhos variados e lógicas distintas de programação aplicadas. A Tabela 14 apresenta as informações inerentes aos programas. As linhas de código foram contadas utilizando a extensão *Metrics*⁵ do ambiente Eclipse⁶.

¹<http://apache.mirror.pop-sc.rnp.br/apache/commons/math/source/commons-math3-3.0-src.zip>

²<http://sourceforge.net/projects/weka/files/weka-3-7/3.7.6/weka-3-7-6.zip/download>

³<http://sourceforge.net/projects/jtopas/files/jtopas/jtopas-0.8/jtopas-0.8.tar.gz/download>

⁴<http://sourceforge.net/projects/checkstyle/files/checkstyle/5.5/checkstyle-5.5-bin.zip/download>

⁵<http://metrics.sourceforge.net/>

⁶<http://www.eclipse.org>

Tabela 14 – Programas selecionados para compor o benchmark

Programa	Tipo	Linhas de código	Métodos
jtopas-0.8	Manipulação de texto	4.373	613
checkstyle-5.5	Análise estática de código	47.825	3.128
commons-math3-3.0	Operações matemáticas	120.424	9.184
weka-3.7.6	Descoberta de conhecimento	238.514	16.877

O procedimento para a obtenção de candidatos a clones foi a execução da ferramenta *Bytecode Java Clone Detector* (BJCD) [6] para detectar os clones presentes nos programas e a seleção aleatória de pares de candidatos a clones. A *BJCD* foi selecionada para a execução preliminar pois detecta clones semânticos, além dos habitualmente detectados por outras ferramentas, e pela facilidade de acesso a ela por parte dos pesquisadores responsáveis por este trabalho. Os candidatos a clones reportados pela *BJCD* foram sorteados e agrupados antes de serem disponibilizados para as análises dos programadores. Quatro rodadas de sorteios foram realizadas, sendo que cada uma ocorreu como se segue.

A Figura 20 ilustra o processo realizado para realizar cada sorteio. Cinquenta pares de clones foram sorteados para cada programa submetido à análise da *BJCD*, totalizando duzentos pares para cada rodada. O objetivo dos sorteios iniciais foi possibilitar que os programas tivessem chances iguais de terem clones sorteados no próximo passo, visto que alguns programas possuem número de clones reportados pela *BJCD* mais elevado que outros. O segundo passo foi sortear um número aleatório de clones dentre os duzentos selecionados no primeiro passo. Foi definido que esse número aleatório deveria ser maior ou igual a cinco e menor ou igual a quinze para cada rodada.

Candidatos a clones que não foram considerados clones pela *BJCD* foram sorteados após o sorteio dos clones. Um procedimento análogo foi adotado, conforme explicado a seguir. Cinquenta pares de código classificados como não clones foram sorteados para cada programa submetido à análise da *BJCD*, totalizando duzentos pares para cada rodada. Um número de pares foi sorteado dentre esses duzentos, sendo que esse número deveria completar um total de vinte pares de código que deveriam ser analisados se somados aos pares de clones previamente sorteados em cada rodada. Vinte pares de código, dentre clones e não clones, foram destacados ao final de cada rodada de sorteios.

O processo de sorteio de clones foi automatizado e a classe utilizada está disponível no Apêndice A. O resultado final do processo de sorteios foi a seleção de oitenta candidatos a clones. Os candidatos a clones foram agrupados em quatro grupos de vinte candidatos

Figura 20 – Processo de sorteio de candidatos a clones

a clones.

4.1.3 Formulação do treinamento sobre clones

Os treinamentos dos programadores foram realizados antes dos experimentos. Os locais de realização dos experimentos foram variados, a depender da facilidade de acesso aos programadores. Os grupos de programadores da indústria foram compostos de pessoas que trabalham na mesma empresa, o que possibilitou que o treinamento fosse realizado em uma sala da empresa. Os grupos de programadores de projetos acadêmicos foram compostos de pessoas vinculadas à mesma universidade, o que possibilitou que o treinamento desses grupos fosse realizado em uma sala da própria universidade. Os grupos

foram treinados separadamente.

Os treinamentos duraram trinta minutos para cada grupo treinado e foram compostos por aulas expositivas com duração de vinte minutos seguida de dez minutos para realizar exercícios em grupo. Dúvidas podiam ser esclarecidas durante toda a duração do treinamento.

A aula expositiva abordou os seguintes temas:

1. definição básica de clonagem de código;
2. motivos comuns para a existência de clones;
3. diferenciação entre clones de texto e de funcionalidade (semânticos), de acordo com as definições apresentadas em Roy, Cordy e Koschke (2009);
4. os tipos de clones definidos na Seção 4.1.1 foram apresentados e explicados.

Os exercícios em grupo tiveram a seguinte dinâmica. Exemplos de candidatos a clones previamente sorteados foram apresentados aos programadores sem que a classificação e o tipo fossem informados. Os programadores discutiram em grupo sobre cada exemplo e definiram se os candidatos eram clones de fato e, se fossem clones, quais eram os tipos de clone aos quais os exemplos pertenciam. Os treinamentos foram considerados bem sucedidos visto que todos os grupos classificaram corretamente todos os exemplos de clones apresentados. O procedimento de treinamento seria modificado e adaptado aos grupos treinados se houvesse treinamentos mal sucedidos. Nesse caso novos treinamentos deveriam ser agendados com os grupos.

Salas que comportassem ao menos cinco pessoas e que tivessem a possibilidade de projeção de uma apresentação compilada no formato PDF no ambiente de trabalho dos programadores da indústria e salas com as mesmas características na universidade onde os programadores acadêmicos atuavam foram necessárias para a realização dos treinamentos.

Esperava-se que os programadores estivessem aptos a classificar candidatos a clones sorteados como clones ou não clones e a definir quais eram os tipos dos clones após a realização de treinamentos bem sucedidos.

4.1.4 Critérios para a seleção dos programadores

Programadores que tivessem conhecimento da linguagem de programação Java foram selecionados para a realização da atividade. Esse critério foi adotado pois todos os

candidatos a clones selecionados para o experimento foram escritos nessa linguagem de programação. A experiência de pelo menos dois anos de programação nessa linguagem foi exigida para que o programador possuísse conhecimento técnico e vivência suficientes para realizar a atividade.

Não houve a definição do número específico de programadores da indústria ou de projetos acadêmicos que poderiam participar da atividade. No entanto, um total de doze programadores foi definido como o mínimo para suprir a necessidade da atividade, sendo que o máximo era de vinte programadores. Dessa maneira cada grupo de candidatos a clones sorteados teria no mínimo três análises e no máximo cinco, visto que cada grupo de candidatos a clones sorteados era composto por vinte candidatos a clones.

4.1.5 Critérios para a classificação de candidatos a clones

Os programadores poderiam classificar os candidatos a clones segundo qualquer critério de similaridade que julgassem conveniente. Essa abordagem foi utilizada com o objetivo de que o *benchmark* resultante da atividade contivesse classificações de clones que estivessem próximas da interpretação de diferentes programadores, independente das técnicas aplicadas para a detecção de clones e da análise dos pesquisadores responsáveis pelo projeto. Essa abordagem possibilita também a discussão sobre os diferentes critérios de similaridade aplicados por programadores na detecção de clones.

4.2 Obtenções das classificações dos candidatos a clones

Projetos de desenvolvimento e manutenção de *software* podem possuir programadores com diferentes experiências de programação. O objetivo deste passo da pesquisa foi conduzir experimentos nos quais grupos de programadores com diferentes experiências, medidas em tempo de conhecimento de programação, foram formados para analisar os candidatos a clones sorteados.

Uma atividade piloto e uma atividade principal foram realizadas. Os procedimentos básicos foram similares nas duas atividades. Os indivíduos dos grupos receberam treinamentos prévios sobre clones e analisaram candidatos a clones apresentados a eles. Os indivíduos classificaram os candidatos entre clones e não clones, classificando também os tipos dos clones. Os grupos possuíam números variados de pessoas, sendo que esse

número de pessoas variava de três a cinco programadores na atividade principal e foi de duas pessoas na atividade piloto. Todos que participaram da pesquisa assinaram o formulário de ciência e o formulário de avaliação da atividade. Os formulários de ciência e de avaliação estão no Apêndice B e no Apêndice C, respectivamente.

As seções a seguir detalham as execuções das atividades.

4.2.1 Execução da atividade preliminar

Uma atividade piloto foi realizada com programadores de projetos acadêmicos, com o intuito de validar o método de condução da atividade principal e detectar antecipadamente melhorias. As melhorias detectadas foram aplicadas na atividade principal, que foi conduzida posteriormente. O procedimento adotado foi o que se segue. O treinamento descrito na Seção 4.1.3 foi apresentado para os programadores. A condução do treinamento juntamente aos exercícios durou vinte e sete minutos.

Os candidatos a clones foram apresentados aos programadores após a condução dos treinamentos e dos exercícios. Ambos os programadores foram conduzidos ao mesmo tempo ao mesmo computador e os pares de candidatos a clones previamente sorteados foram apresentados a eles. Os pares de clones foram apresentados utilizando o ambiente Eclipse e foram dispostos um método ao lado do outro, conforme ilustrado na Figura 21. Os programadores analisaram os pares de candidatos a clones e novos pares de candidatos foram apresentados a eles após as classificações dos anteriores. Os programadores conseguiram classificar onze clones no período limite de trinta minutos definido para a classificação dos candidatos a clones.

Dois formulários de avaliação, cada um preenchido por um programador, foram entregues ao condutor da atividade. O treinamento conduzido foi suficiente para que a atividade de classificação dos candidatos a clones fosse realizada, segundo os conteúdos preenchidos pelos programadores. Quanto às classificações dos candidatos a clones, houve diferença entre os clones reportados pela ferramenta e os classificados pelos programadores. A Tabela 15 e a Figura 22 resumem o cenário obtido. Enquanto a *BJCD* reportou nove métodos como clones e dois como não clones, os programadores reportaram consensualmente que cinco candidatos eram clones enquanto seis não eram. Esse resultado indicou a presença de falsos positivos na ferramenta. Por outro lado, não houve resultados falsos negativos. Foi observado também que a ferramenta detectou com sucesso clones dos tipos 3, 4 e 6.

Figura 21 – Exibição dos candidatos a clones utilizando o Eclipse

Tabela 15 – Comparação de classificações de candidatos a clones

Classificador	Clones	Não Clones
<i>BJCD</i>	9	2
Programadores	5	6

Figura 22 – Tipos de clones detectados pelos programadores

Melhorias foram identificadas no método de condução da atividade. A apresentação dos clones conjuntamente para os programadores em um mesmo computador foi considerada uma maneira inadequada de condução da atividade por dois motivos. O primeiro é a possibilidade da decisão de um programador influenciar a do outro por eles estarem visualizando os mesmos candidatos a clones ao mesmo tempo e estarem próximos. Outro motivo é que os programadores podem ter ritmos diferentes. Da maneira como o experimento piloto foi conduzido, um programador que leva mais tempo para analisar os clones

pode atrapalhar andamento das análises dos outros. Além disso, abrir os candidatos a clones no Eclipse consumiu um tempo que poderia ter sido utilizado para a classificação de mais candidatos a clones. A impressão dos pares de clones em folhas de papel e a distribuição individual aos programadores foi considerada no método de condução da atividade principal para sanar esses problemas.

A necessidade de realizar correções na *BJCD* também foi identificada devido à presença de falsos positivos. Essas correções foram aplicadas na *BJCD* antes da execução da atividade principal. O restante do método, inclusive o treinamento, seguiu como foi definido inicialmente.

4.2.2 Execução da atividade principal

A obtenção de clones teve duração mínima de uma hora e máxima de uma hora e trinta minutos por grupo e o procedimento foi realizado separadamente para os grupos. Os locais de execução do procedimento, a exemplo do treinamento, foram salas da empresa de atuação dos grupos de programadores corporativos ou da universidade de atuação dos programadores acadêmicos.

Quatro sorteios foram realizados previamente conforme definido na Seção 4.1.2, disponibilizando oitenta pares de código para serem analisados. Os pares de clones resultantes dos sorteios foram disponibilizados em folhas de papel sulfite, um par de clones por folha. Métodos maiores demandaram mais de uma folha para impressão.

Os programadores receberam vinte candidatos a clones cada um para analisar, sendo que esses vinte candidatos a clones obrigatoriamente continham os pares de códigos sorteados em uma mesma rodada de sorteios. A distribuição dos pares de códigos é exemplificada na Tabela 16. Os grupos foram nomeados de *Grupo A*, *Grupo B*, *Grupo C* e *Grupo D* para facilitar a leitura. Os programadores foram nomeados de *Programador 1* a *Programador 12*. Os pares de códigos sorteados foram distribuídos aos programadores em ordem sequencial de rodada de sorteios, de modo que a ocorrência de programadores de um mesmo grupo analisando pares de código de uma mesma rodada sorteios fosse minimizada. Essa precaução foi necessária para evitar que as decisões de um programador influenciassem as dos outros. Programadores de um mesmo grupo que analisaram candidatos a clones de uma mesma rodada de sorteios foram dispostos na sala de modo que a visão de um programador à análise do outro fosse dificultada. Essa estratégia de distribuição dos candidatos a clones também garantiu que todos os candidatos sorteados fossem analisados três vezes.

Tabela 16 – Disponibilização de pares de clones a programadores

Programador	Grupo	Sorteio
1	A	1
2	A	2
3	A	3
4	A	4
5	A	1
6	B	2
7	B	3
8	B	4
9	B	1
10	C	2
11	C	3
12	C	4

As execuções do procedimento foram monitoradas por um pesquisador responsável pelo projeto, porém ele não pôde influenciar nas decisões dos grupos e nem tirar dúvidas sobre clonagem de código durante o procedimento.

Os resultados das análises foram escritos pelos programadores nas folhas referentes aos candidatos a clones. Discussões sobre as análises realizadas foram as últimas atividades. Os resultados das análises foram computados e analisados conforme descrito na próxima seção.

4.2.3 Computação e análise dos resultados fornecidos pelos grupos

As classificações dos pares de clones fornecidas pelos grupos foram agrupadas por sorteio e os resultados foram analisados da seguinte maneira. Como houve três classificações para cada par de código, foi possível tomar a decisão entre clone e não clone utilizando uma votação. Se um par de código tivesse mais classificações como clones, foi decidido que esse par era um clone. Caso contrário, a decisão era que o par não era um clone. Ou seja, um par de código foi considerado clone se tivesse no mínimo duas classificações como clone. A Tabela 17 exibe as consolidações realizadas para os pares de códigos sorteados.

Tabela 17 – Consolidação de pares de código sorteados

Par	“Clone”	“Não clone”	Programadores	BJCD
1	2	1	Clone	Clone
2	3	0	Clone	Clone
3	3	0	Clone	Clone
4	0	3	Não clone	Não clone
5	0	3	Não clone	Não clone
6	0	3	Não clone	Não clone
7	0	3	Não clone	Não clone
8	0	3	Não clone	Não clone
9	0	3	Não clone	Não clone
10	0	3	Não clone	Não clone
11	0	3	Não clone	Não clone
12	0	3	Não clone	Não clone
13	0	3	Não clone	Não clone
14	0	3	Não clone	Não clone
15	0	3	Não clone	Não clone
16	3	0	Clone	Clone
17	2	1	Clone	Clone
18	3	0	Clone	Clone
19	3	0	Clone	Clone
20	3	0	Clone	Clone
21	0	3	Não clone	Não clone
22	0	3	Não clone	Não clone
23	3	0	Clone	Clone
24	1	2	Não clone	Clone
25	3	0	Clone	Clone
26	0	3	Não clone	Não clone
27	3	0	Clone	Clone
28	2	1	Clone	Clone
29	0	3	Não clone	Não clone
30	0	3	Não clone	Não clone
31	0	3	Não clone	Não clone
32	0	3	Não clone	Não clone

Tabela 17 – Consolidação de pares de código sorteados

Par	“Clone”	“Não clone”	Programadores	BJCD
33	0	3	Não clone	Não clone
34	0	3	Não clone	Não clone
35	1	2	Não clone	Clone
36	2	1	Clone	Clone
37	1	2	Não clone	Clone
38	1	2	Não clone	Clone
39	3	0	Clone	Clone
40	3	0	Clone	Clone
41	0	3	Não clone	Não clone
42	3	0	Clone	Clone
43	3	0	Clone	Clone
44	3	0	Clone	Clone
45	3	0	Clone	Clone
46	3	0	Clone	Clone
47	3	0	Clone	Clone
48	0	3	Não clone	Não clone
49	0	3	Não clone	Não clone
50	0	3	Não clone	Não clone
51	0	3	Não clone	Não clone
52	0	3	Não clone	Não clone
53	0	3	Não clone	Não clone
54	0	3	Não clone	Não clone
55	3	0	Clone	Clone
56	3	0	Clone	Clone
57	2	1	Clone	Clone
58	3	0	Clone	Clone
59	3	0	Clone	Clone
60	3	0	Clone	Clone
61	0	3	Não clone	Não clone
62	0	3	Não clone	Não clone
63	3	0	Clone	Clone
64	3	0	Clone	Clone

Tabela 17 – Consolidação de pares de código sorteados

Par	“Clone”	“Não clone”	Programadores	BJCD
65	3	0	Clone	Clone
66	0	3	Não clone	Não clone
67	3	0	Clone	Clone
68	3	0	Clone	Clone
69	0	3	Não clone	Não clone
70	0	3	Não clone	Não clone
71	0	3	Não clone	Não clone
72	1	2	Não clone	Não clone
73	0	3	Não clone	Não clone
74	2	1	Clone	Clone
75	2	1	Clone	Clone
76	3	0	Clone	Clone
77	3	0	Clone	Clone
78	3	0	Clone	Clone
79	3	0	Clone	Clone
80	3	0	Clone	Clone

As consolidações tiveram como objetivo definir se os pares de código eram considerados clones ou não pelos programadores, mas também foi útil para validar a eficácia da ferramenta *BJCD*. Os experimentos indicaram 95% de acerto da ferramenta. A Figura 23 ilustra os tipos de clones detectados corretamente pela *BJCD* e analisados pelos programadores. É possível notar que os clones dos tipos 3 e 4 foram os mais reportados pelos programadores, totalizando juntos 82,35% do total, sendo que os outros tipos de clones, se somados os percentuais, totalizam 17,65%. É notável também que não houve acordo total nas classificações dos candidatos a clones para os quais os programadores discordaram da classificação da *BJCD*. Dois programadores discordaram da *BJCD*, enquanto um concordou nos pares 24, 35, 37 e 38. Isso pode indicar que, se mais programadores classificassem os candidatos a clones, os resultados poderiam variar, aumentando a taxa de acertos da *BJCD*.

As classificações dos programadores não foram iguais às da *BJCD* em quatro pares de candidatos a clones. Esses pares foram analisados e foi observado que eles possuem carac-

Figura 23 – Percentuais dos tipos de clones classificados

terísticas semelhantes. Todos os pares são métodos semelhantes, mas possuem chamadas que são distintas. A BJCD classificou esses métodos em clones enquanto os programadores os classificaram como não clones. A Figura 24 ilustra o primeiro par de candidatos com essas características. Os métodos *fireEditingStopped()* e *fireEditingCanceled()* possuem lógicas de execução similares com exceção das chamadas a *editingStopped(ChangeEvent)* e *editingCanceled(ChangeEvent)*, respectivamente.

A Figura 25 ilustra o segundo par de candidatos a clones. Nesse caso a diferença entre os métodos *rotateCW()* e *rotateCCW()* é a maneira como ambos manipulam o atributo *element*. Ambos os métodos utilizam de maneira inversa os elementos *left* e *right*. Nesse caso não há invocações de métodos, mas sim manipulações semelhantes de atributos.

A Figura 26 apresenta os métodos *createRowRealMatrix(double[])* e *createColumnRealMatrix(double[])*. Os métodos diferem por conta do primeiro realizar operações com linhas enquanto o último realiza operações com colunas. As lógicas dos métodos, no entanto, são similares. Inclusive o método invocado por ambos os métodos é o mesmo, *createRealMatrix(int, int)*. A maior variação que pode ser notada é a posição na qual a variável *i* é fornecida ao método *setEntry(int, int, int)*. Enquanto ele é fornecido como segundo parâmetro no método *createRowRealMatrix(double[])*, o método *createColumnRealMatrix(double[])* o fornece como primeiro parâmetro. Nesse caso a diferença não está


```

protected void fireEditingStopped()
{
    // Guaranteed to return a non-null array
    final Object[] listeners = mListenerList.getListenerList();
    // Process the listeners last to first, notifying
    // those that are interested in this event
    for (int i = listeners.length - 2; i >= 0; i -= 2) {
        if (listeners[i] == CellEditorListener.class) {
            ((CellEditorListener) listeners[i + 1])
                .editingStopped(new ChangeEvent(this));
        }
    }
}

protected void fireEditingCanceled()
{
    // Guaranteed to return a non-null array
    final Object[] listeners = mListenerList.getListenerList();
    // Process the listeners last to first, notifying
    // those that are interested in this event
    for (int i = listeners.length - 2; i >= 0; i -= 2) {
        if (listeners[i] == CellEditorListener.class) {
            ((CellEditorListener) listeners[i + 1])
                .editingCanceled(new ChangeEvent(this));
        }
    }
}

```

Figura 24 – `fireEditingStopped()` e `fireEditingCanceled()`

no método invocado, mas sim na ordem dos parâmetros que são fornecidos.

A Figura 27 apresenta os métodos *PolyKernel.setOptions(String[])* e *AdaBoostM1.setOptions(String[])*. Ambos possuem lógicas semelhantes, porém os métodos que eles invocam são distintos. Enquanto *PolyKernel.setOptions(String[])* invoca *setExponent(double)* e *setUseLowerOrder(boolean)*, o método *AdaBoostM1.setOptions(String[])* invoca *setWeightThreshold(int)* e *setUseResampling(boolean)*.

Não houve divergências entre os programadores para nenhum dos pares de candidatos a clones para os quais a BJCD não acertou o resultado, ou seja, três programadores decidiram que os pares não eram clones. Esses pares sugerem que os programadores que os classificaram consideram que, apesar da lógica ser semelhante, códigos que resultam em processamentos diferentes não devem ser considerados clones. Ou seja, a BJCD, na visão desses programadores, apresenta falsos positivos nesses cenários. No entanto, é importante ressaltar a importância da detecção desses tipos de clones em atividades de

```
private void rotateCW() {

    final T tmpElt      = element;
    element              = left.element;
    left.element         = tmpElt;

    final Node tmpNode  = left;
    left                = tmpNode.left;
    tmpNode.left        = tmpNode.right;
    tmpNode.right       = right;
    right               = tmpNode;

    if (left != null) {
        left.parent = this;
    }
    if (right.right != null) {
        right.right.parent = right;
    }

}

private void rotateCCW() {

    final T tmpElt      = element;
    element              = right.element;
    right.element       = tmpElt;

    final Node tmpNode  = right;
    right                = tmpNode.right;
    tmpNode.right        = tmpNode.left;
    tmpNode.left         = left;
    left                 = tmpNode;

    if (right != null) {
        right.parent = this;
    }
    if (left.left != null) {
        left.left.parent = left;
    }

}
```

Figura 25 – rotateCW() e rotateCCW

entendimento de código e refatoração, por exemplo. É possível, por exemplo, identificar os trechos de código similares, extrair as chamadas distintas e centralizar o que é comum

```
public static RealMatrix createRowRealMatrix(
    double[] rowData) {
    if (rowData == null) {
        throw new NullPointerException();
    }
    final int nCols = rowData.length;
    final RealMatrix m = createRealMatrix(1, nCols);
    for (int i = 0; i < nCols; ++i) {
        m.setEntry(0, i, rowData[i]);
    }
    return m;
}

public static RealMatrix createColumnRealMatrix(
    double[] columnData) {
    if (columnData == null) {
        throw new NullPointerException();
    }
    final int nRows = columnData.length;
    final RealMatrix m = createRealMatrix(nRows, 1);
    for (int i = 0; i < nRows; ++i) {
        m.setEntry(i, 0, columnData[i]);
    }
    return m;
}
```

Figura 26 – createRowRealMatrix(double[]) e createColumnRealMatrix(double[])

para que o código duplicado não exista mais.

Nesse sentido, propomos neste trabalho mais um tipo de clones: o **clone interprocedimental**. Define-se o clone interprocedimental como uma cópia de um código que é similar em sua lógica de execução, mas que contém invocações com comportamentos distintos, gerando portanto diferença semântica. Esse tipo de clone pode ser estudado com maiores detalhes em trabalhos futuros.

Formulários de avaliação do experimento foram preenchidos pelos programadores. Os resultados consolidados por grupo estão presentes na Tabela 18. Todos os programadores consideraram que o treinamento fornecido a eles foi suficiente para que conseguissem classificar os candidatos a clones e nenhum programador encontrou clones que não pertencessem aos oito tipos definidos e apresentados a eles. Conforme ilustrado na Figura 28, setenta e cinco por cento dos programadores participantes dos experimentos possuem mais do que cinco anos de experiência com programação.

```

// PolyKernel
public void setOptions(String[] options) throws Exception {
    String tmpStr;

    tmpStr = Utils.getOption('E', options);
    if (tmpStr.length() != 0)
        setExponent(Double.parseDouble(tmpStr));
    else
        setExponent(1.0);

    setUseLowerOrder(Utils.getFlag('L', options));

    super.setOptions(options);
}

// AdaBoostM1
public void setOptions(String[] options) throws Exception {

    String thresholdString = Utils.getOption('P', options);
    if (thresholdString.length() != 0) {
        setWeightThreshold(Integer.parseInt(thresholdString));
    } else {
        setWeightThreshold(100);
    }

    setUseResampling(Utils.getFlag('Q', options));

    super.setOptions(options);
}

```

Figura 27 – PolyKernel.setOptions(String[]) e AdaBoostM1.setOptions(String[])

Tabela 18 – Consolidação das avaliações dos experimentos

Grupo	Treinamento suficiente	Treinamento insuficiente	Clones sem Tipo	Menos de 5 anos com Java	Mais de 5 anos com Java
A	5	0	0	2	3
B	4	0	0	1	3
C	3	0	0	0	3
Total (%)	100,00	0,00	0,00	25,00	75,00

Todos os pares de código analisados pelos programadores foram adicionados ao *benchmark* criado e as classificações foram utilizadas como base para a análise automática dos resultados obtidos pelas ferramentas submetidas a esse *benchmark*. A próxima seção

Figura 28 – *Experiência dos programadores participantes*

detalha o processo de criação do *benchmark*.

4.3 Criação do *benchmark*

O *benchmark* foi criado com base nos resultados obtidos dos experimentos realizados com os programadores e com base nos clones adicionados pelos pesquisadores. As próximas seções detalharão os passos realizados para a utilização do *benchmark*, desde a compilação dos pares de métodos em um mesmo projeto à construção do mecanismo de análise automática.

4.3.1 Criação do projeto com os pares de métodos

Um projeto contendo os oitenta pares de clones sorteados durante o experimento foi criado. O nome desse projeto é *Programmer Classified Clone Benchmark* (PCCB), pois foi criado com base nas classificações de clones fornecidas por programadores ao invés de opiniões dos pesquisadores. A complexidade da tarefa residiu nas origens e especialidades distintas dos programas selecionados para a realização do experimento. Por exemplo, os pares de métodos da weka-3.7.6 não são compatíveis com os da jtopas-0.8, pois enquanto a primeira biblioteca contém algoritmos de inteligência artificial a última trata de operações com cadeias de texto.

Ficou definido portanto que o PCCB conteria apenas os códigos compiláveis dos candidatos a clones e suas dependências básicas. Isso significa que ele é compilável, mas

não executável segundo uma semântica objetiva, ou seja, não realiza de fato uma tarefa. Esse aspecto pode impossibilitar análises de possíveis ferramentas de detecção de clones baseadas em análise dinâmica de código [43].

O procedimento para criar o projeto está ilustrado na Figura 29 e é o que se segue. O procedimento foi realizado para todos os pares de métodos sorteados para o experimento. Para cada um dos métodos do par, a classe que possui o método foi criada no PCCB com seu nome completo, ou seja, pacote e nome da classe. O método em seguida foi copiado para dentro da classe. As classes e os métodos dos quais o método em questão depende também foram criadas no projeto. Quando as dependências também apresentaram erros de compilação, suas dependências também foram criadas no projeto.

Figura 29 – Ilustração da criação do PCCB

O resultado final foi o PCCB, um projeto que possui tanto os pares de métodos analisados pelos programadores que participaram do experimento quanto suas dependências. O objetivo dele é servir como *benchmark* para ferramentas de análise de clones. O próximo passo foi a modelagem e criação do mecanismo de análise automática dos resultados reportados pelos detectores de clones.

4.3.2 Mecanismo de análise dos resultados

Automação na análise de resultados reportados por diferentes ferramentas é um requisito para um *benchmark*, pois mitiga os problemas de escassez de tempo, de erros humanos

e de falta de reprodutibilidade dos experimentos. O mecanismo de análise automática de resultados de detectores de clones, *Automatic Clone Detection Result Analysis* (ACDRA), foi criado nesta pesquisa com o intuito de automatizar as análises realizadas. A ACDRA recebe como entrada dois arquivos delimitados por vírgulas, sendo que um deles contém os resultados reportados pela ferramenta que está sendo submetida ao *benchmark* e o outro arquivo contém os resultados esperados pelo *benchmark*.

A ACDRA processa um arquivo de resultados esperados que segue um padrão de disposição dos dados. O delimitador do arquivo é o caractere vírgula (.). Cada linha do arquivo refere-se a um par de métodos, sendo que a primeira coluna é o nome do primeiro método comparado, a segunda coluna é o nome do segundo método e a terceira coluna é o resultado esperado. O resultado esperado deve ser *true* para linhas nas quais espera-se que clones sejam reportados ou *false* caso o par de métodos não seja referente a um clone. O arquivo não contém cabeçalhos ou rodapés, conforme pode ser visualizado na Figura 30. Essa figura ilustra o cenário no qual dois resultados são esperados. O primeiro é um resultado positivo para clones na comparação entre *foo.A.metodo1* e *bar.B.metodo2*. O segundo é um resultado negativo na comparação entre *foo.A.metodo1* e *foo.A.metodo3*.

```
foo.A.metodo1,bar.B.metodo2,true  
foo.A.metodo1,foo.A.metodo3,false
```

Figura 30 – ACDRA - Arquivo de resultados esperados

O arquivo de resultados, ou seja, aquele no qual os resultados das ferramentas submetidas ao *benchmark* estarão presentes, possui formato idêntico ao arquivo de resultados esperados. A Figura 31 ilustra um arquivo de resultados reportados. Se esse arquivo fosse comparado ao da Figura 30, a análise automática reportaria um acerto de cinquenta por cento, pois a classificação da comparação entre *foo.A.metodo1* e *bar.B.metodo2* estaria correta, porém a classificação resultante da comparação entre *foo.A.metodo1* e *foo.A.metodo3* estaria incorreta, uma vez que reportou o par como clone (*true*) quando deveria ter reportado como métodos incompatíveis (*false*).

```
foo.A.metodo1,bar.B.metodo2,true  
foo.A.metodo1,foo.A.metodo3,true
```

Figura 31 – ACDRA - Arquivo de resultados reportados

A ACDRA processa um arquivo de configurações para encontrar os arquivos de resultados esperados e o de resultados reportados. Além disso é possível definir o local onde o arquivo contendo os resultados da análise será criado. O arquivo de configurações

deve estar no formato de arquivo de propriedades (*properties*), sendo que as propriedades esperadas por ele são descritos na Tabela 19. A Figura 32 ilustra um arquivo de configurações com o qual a ACDRA tentará localizar o arquivo de resultados reportados em */home/johndoe/reported.csv* e os resultados esperados em */home/johndoe/expected.csv* e criará o arquivo de resultados da análise automática em */home/johndoe/benchmark-results.csv*.

Tabela 19 – Propriedades do arquivo de configurações da ACDRA

Propriedade	Descrição
<code>br.usp.saeg.config.benchmark.reportedResultsFile</code>	Local onde a ACDRA tentará localizar o arquivo de resultados reportados
<code>br.usp.saeg.config.benchmark.expectedResultsFile</code>	Local onde a ACDRA tentará localizar o arquivo de resultados esperados
<code>br.usp.saeg.config.benchmark.oracleResultsFile</code>	Local onde a ACDRA criará o arquivo de resultados da análise

```
#File in which the results reported were exported
br.usp.saeg.config.benchmark.reportedResultsFile=/home/johndoe/reported.csv

#File in which the expected results are specified
br.usp.saeg.config.benchmark.expectedResultsFile=/home/johndoe/expected.csv

#File in which the oracle results will be exported
br.usp.saeg.config.benchmark.oracleResultsFile=/home/johndoe/oracle.csv
```

Figura 32 – ACDRA - Arquivo de configurações

O arquivo de resultados da análise automática é criado pela ACDRA após ela comparar os resultados reportados aos esperados. A Figura 33 contém o arquivo de resultados de análise automática da hipotética comparação entre os arquivos da Figura 30 e da Figura 31. As primeira linha contém o tempo de execução da comparação em milissegundos. A segunda linha é um cabeçalho e indica o início do sumário da análise. A terceira linha indica que a ferramenta reportou dois clones. A quarta linha, no entanto, que o *benchmark* esperava que apenas um clone fosse reportado. A quinta linha indica o percentual de acertos da ferramenta que gerou o arquivo de resultados, que no caso foi de cinquenta por cento. As linhas seis a nove do arquivo referem-se a uma tabela que compara os resultados positivos aos negativos, sendo que a sexta linha indica que houve um verdadeiro positivo, a sétima linha indica que não houve verdadeiros negativos, a oitava linha indica

que houve um falso positivo e a nona linha indica que não houve falsos negativos. A décima linha é um cabeçalho e indica o início da seção de detalhes. A linha onze também é um cabeçalho e descreve as colunas da seção de detalhes. A primeira coluna é o primeiro método comparado, a segunda coluna é o segundo método comparado, a terceira coluna é o resultado reportado no arquivo de resultados e a quarta coluna refere-se ao resultado esperado para a comparação. As demais linhas do arquivo são dedicadas aos detalhamentos das comparações, sendo que cada linha refere-se a um par de métodos. No caso do exemplo em questão, a décima segunda e a décima terceira linha referem-se às comparações ente *foo.A.método1* e *bar.B.método2* e *foo.A.método1* e *foo.A.método3*, respectivamente.

```

1. Time,3334345
2. Summary
3. Clones Reported by Tool,2
4. Clones Expected by Benchmark,1
5. Hit Rate,50.00%
6. True Positives,1
7. True Negatives,0
8. False Positives,1
9. False Negatives,0
10. Details
11. Method 1,Method 2,Tool Reported as Clone,Oracle Reported as Clone,
12. foo.A.metodo1,bar.B.metodo2,true,true,
13. foo.A.metodo1,foo.A.metodo3,true,false,
```

Figura 33 – ACDRA - Arquivo de resultados da análise automática dos resultados

A utilização da ACDRA é realizada utilizando-se da execução de comandos na linha de comandos do sistema operacional. É necessário ter um ambiente de execução Java (JRE - *Java Runtime Environment*)⁷ para executar a ACDRA, que foi compilada em Java. A Figura 34 ilustra uma estrutura de diretórios criada para a execução da análise automática. Com essa estrutura, em um sistema baseado no sistema operacional Linux⁸ os comandos da Figura 35 executariam a ferramenta, que exportaria o arquivo de resultado da análise automática no local definido pelo arquivo *config.properties*.

A arquitetura de alto nível da ACDRA é descrita no Apêndice D.

⁷<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>

⁸<http://www.linux.org/>

```
home
  johndoe
    config.properties
    results.csv
    expected.csv
    acdra.jar
usr
  jre
```

Figura 34 – Exemplo de estrutura de diretórios para execução da ACDRA

```
cd /home/johndoe
sudo /usr/jre/bin/java -jar acdra.jar
br.usp.saeg.clonedetection.benchmark.Benchmark config.properties
```

Figura 35 – Comando para executar a ACDRA

4.4 Conclusão do capítulo

Este capítulo descreveu os passos realizados para criar um *benchmark* de ferramentas de detecção de clones. A motivação para a criação de um *benchmark* foi apresentada. Em seguida um método de obtenção de pares de clones obtidos de programas de código aberto e classificados por programadores da indústria e da academia foi definido. A aplicação do método e a análise dos resultados obtidos por ele foram detalhados. Por fim, a estrutura, a modelagem e a maneira de utilizar o *benchmark* foram explicados.

Contribuições para a área de pesquisa de detecção de clones foram apresentadas neste capítulo. A primeira foi uma classificação de tipos de clones com base nas diversas definições existentes na literatura. O ganho com essa abordagem é a visão consolidada dos tipos de clones. Um novo tipo de clones foi identificado, o clone interprocedimental. O conhecimento desse tipo de clones é relevante para aplicações de refatoração, visto que os padrões apresentados por esse tipo de clones podem indicar possíveis pontos nos quais aplicar técnicas de extração de métodos e polimorfismo podem trazer benefícios para os sistemas, como a remoção de código duplicado. A identificação desses padrões também auxilia nas atividades de entendimento de sistemas e em manutenções como correções de erros ou evoluções no modelo de negócios.

Outra contribuição apresentada foi a classificação de pares de métodos em clones ou não clones sob o ponto de vista de programadores da indústria e da academia. Essa classificação possibilitou a confirmação de que os clones identificados em pesquisas condizem com o ponto de vista de programadores ativos no mercado e na academia e é uma fonte

confiável de classificação de clones, visto que cada par foi analisado por três programadores.

O resultado final desta parte da pesquisa foi a construção de uma base centralizada de código para realizar *benchmarks* de ferramentas de detecção de clones, o PCCB, e um mecanismo de criação automática de relatórios de clones, a ACDRA. O único mecanismo que havia até então era o de Bellon et al. (2007), que baseia-se em programas Java compilados para versões antigas da JVM.

O PCCB e a ACDRA foram utilizados para a validação da pergunta de pesquisa deste trabalho, mas antes da avaliação uma técnica de detecção interprocedimental de clones semânticos foi proposta e desenvolvida. O próximo capítulo detalha a técnica proposta.

Capítulo 5

Detecção Interprocedimental de Clones Semânticos

Em determinados casos, apesar dos códigos fontes de procedimentos comparados em um processo de detecção de clones serem similares em semântica, as chamadas de procedimentos realizadas dentro deles podem alterar o fluxo de maneira que essa similaridade deixe de ser verdadeira. Nesse cenário a técnica de detecção interprocedimental de clones semânticos pode ser aplicável. Outro cenário é na detecção de trechos de código fonte que são clones interprocedimentais. Nesses casos a lógica comum pode ser extraída e a lógica variável executada dinamicamente, utilizando, por exemplo, polimorfismo. O intuito da técnica é realizar a análise de clones também nos métodos invocados pelos métodos em análise para definir se eles são de fato clones semânticos.

Este capítulo descreve a técnica de detecção interprocedimental de clones semânticos criada neste trabalho, assim como os passos executados para desenvolvê-la e validá-la na plataforma Java.

5.1 Definição da técnica

A técnica é baseada na do trabalho de Albuquerque, Neves e Chaim (2012). O procedimento geral de detecção de clones é baseado na geração de GDPs a partir dos *bytecodes* da JVM e a comparação entre os nós dos GDPs é baseada no percentual de instruções similares após o procedimento de normalização, conforme explicado na Seção 3.2.6. Essa técnica será chamada daqui em diante de técnica *convencional* para facilitar futuras referências. A diferença é que instruções do tipo *invoke* possuem um passo a mais na análise. Instruções *invoke* são aquelas nas quais métodos são invocados. A técnica analisa também os GDPs das instruções *invoke* existentes nos nós dos GDPs. A Figura 36 ilustra um cenário no qual a análise interprocedimental altera o resultado da comparação entre dois nós de um GDP, se comparado à análise convencional. Nesse exemplo os nós 1 e 2 são similares de acordo com a abordagem de comparação de *bytecodes* pois as quatro

instruções são iguais. No entanto, se os GDPs dos *invokes* forem analisados, é possível notar que eles não são 100% similares. Para facilitar o exemplo, os GDPs dos métodos invocados foram representados com apenas um nó cada. O nó 1.1 refere-se ao GDP do método invocado pela instrução *invoke* do nó 1 e o nó 2.1 refere-se ao GDP invocado pela instrução *invoke* do nó 2. Esses dois nós não são 100% similares pois enquanto o primeiro realiza uma operação de soma o último realiza uma operação de subtração. Segundo a técnica proposta de análise interprocedimental, os *invokes* dos nós 1 e 2 são, portanto, *diferentes*, o que torna os nós menos similares.

Figura 36 – Análise interprocedimental em bytecodes

A técnica de análise interprocedimental de clones semânticos pode revelar-se, no entanto, custosa para o processo geral de detecção de clones. Os GDPs dos métodos invocados em cada nó devem ser gerados e comparados. Se os métodos invocados invocarem outros métodos, seus GDPs também devem ser comparados, recursivamente. O processo de análise de GDPs, que reconhecidamente consome maiores tempo e memória do que os outros [4, 8, 35], torna-se ainda mais custoso. Heurísticas e filtros foram propostos para mitigar esse problema. A próxima seção detalhará as três heurísticas e o filtro desenvolvidos neste trabalho.

5.2 Filtro e heurísticas para análise interprocedimental

Três heurísticas foram desenvolvidas neste trabalho com o intuito de tornar a análise interprocedimental menos custosa em relação à memória consumida e ao tempo de execução.

A primeira heurística define que o nome completo das classes dos métodos invocados concatenados aos nomes dos próprios métodos devem ser diferentes. Caso contrário os *invokes* são considerados iguais. Por exemplo, o método *foo.A.metodo1* seria considerado igual a um outro *foo.A.metodo1*, porém diferente de *foo.A.metodo2*. A Figura 37 ilustra o cenário. Os *invokes* dos nós 1 e 2 referem-se ao mesmo conjunto de nome de classe concatenado ao método, portanto os *invokes* são considerados iguais e a análise interprocedimental não é realizada.

Figura 37 – Análise interprocedimental em bytecodes

A segunda heurística define que a análise intermétodos somente será realizada para nós que tenham sido considerados clones segundo a função convencional de similaridade. Caso contrário não há motivos de comparar os *invokes*. A Figura 38 ilustra a segunda heurística. Como os nós não são similares, pois o nó 1 adiciona enquanto o nó 2 subtrai, não é necessário executar a análise interprocedimental.

Figura 38 – Análise interprocedimental em bytecodes

A terceira e última heurística define que a comparação interprocedimental é realizada somente em um nível de chamadas, ou seja, a análise tradicional será realizada ao invés da interprocedimental se um método invocado invocar outros métodos. A Figura 39 ilustra o cenário. Apenas um nível (com os nós 1 e 2) é analisado com a técnica de interprocedimental, enquanto o segundo (nós 1.1 e 2.1) utiliza a abordagem convencional. Esse comportamento faz com que os nós 1.1 e 2.1 sejam considerados similares, pois desconsidera os comportamentos específicos dos *invokes* presentes neles. Por consequência, os nós 1 e 2 são também considerados similares, dado que os métodos invocados por eles foram considerados similares.

Figura 39 – Análise interprocedimental em bytecodes

Filtros comuns em ferramentas de detecção automática de clones semânticos foram apresentados na Seção 3.3.2. O objetivo de criar filtros é diminuir o número de GDPs analisados durante a detecção automática de clones, também diminuindo a memória consumida e o tempo de processamento da detecção de clones. O filtro de tamanho de GDPs [3, 5] foi aplicado neste trabalho. Os GDPs que forem submetidos a esse filtro devem ter um número mínimo de nós para serem analisados pelo algoritmo de detecção de clones. GDPs que não tiverem o número mínimo de nós são descartados.

Uma vez que a técnica e suas heurísticas foram definidas foi possível desenvolver a técnica na ferramenta BJCD, conforme será explicado na seção a seguir, que descreve a modelagem e o desenvolvimento.

5.3 Modelagem e desenvolvimento da técnica

Esta seção tem como objetivo descrever os componentes e os passos realizados para modelar e desenvolver a técnica de detecção interprocedimental de clones semânticos. Duas fases podem ser definidas no processo de incorporação da detecção interprocedimental de clones semânticos na BJCD. A primeira foi o desenvolvimento de melhorias no consumo de memória e de diminuição do tempo de detecção de clones. A segunda foi a incorporação da detecção interprocedimental de clones semânticos. As subseções a seguir descrevem as duas fases.

5.3.1 Desenvolvimento de melhorias de desempenho na BJCD

Esperava-se que a detecção interprocedimental de clones semânticos consumisse mais memória e levasse mais tempo para ser executada do que a técnica convencional. Havia intenção de acrescentar a análise interprocedimental na BJCD e sabia-se que ela possuía como ponto fraco o elevado tempo que necessitava para detectar clones [6]. Foi necessário, portanto, desenvolver melhorias com o foco de diminuir esse tempo de análise da BJCD.

Uma análise de vazamento de memória foi realizada na BJCD com auxílio do ambiente Eclipse e do complemento *Memory Analyser*¹. Foi possível identificar que havia um vazamento de memória nas classes da JaBUTi, programa que a BJCD utilizava para criar GFCs e árvores de pós-dominância. Decidiu-se então que a BJCD não deveria mais depender da JaBUTi para gerar GFCs, mas sim de um outro programa. A biblioteca ASM² foi selecionada para realizar essa tarefa. A ASM é um programa que possui como premissa consumir pouca memória para manipular os *bytecodes* de programas compilados para a JVM.

A ASM é capaz de gerar GFCs, mas não gera árvores de pós-dominância e nem GDPs. Foi necessário desenvolver a geração de árvores de pós-dominância e de GDPs baseados nessa nova tecnologia. Um total de 243 linhas de código foram adicionadas à BJCD para realizar a integração com a ASM. O diagrama da Figura 40 ilustra os passos para a geração de GDPs, dado um método como entrada. As explicações para cada passo são as que se seguem.

Figura 40 – Passos para a geração de GDPs na BJCD após as melhorias

Invocar a ASM para obter o GFC. A ASM retorna por padrão um nó por *bytecode* da JVM, criando arestas de fluxo de controle quando necessário.

Simplificar o GFC. A granularidade de instruções e nós retornada pela ASM não é utilizada pela BJCD, sendo portanto necessário simplificar o grafo de modo que instruções

¹<http://www.eclipse.org/mat/>

²<http://asm.ow2.org/>

que são executadas em sequência estejam no mesmo nó do GFC. Portanto é esperado que nesse passo do algoritmo o número de nós do GFC diminua, mas não o número de instruções.

Remover pseudo-instruções. Pseudo-instruções não são consideradas na detecção de clones semânticos, portanto são removidas dos nós dos GFCs. As instruções *frame* (mapeamento de operações condicionais), *label* (rótulos de instruções *bytecode*), *return* (retorno de métodos), *goto* (controle de fluxo de programa) e *line number* (número da linha) são consideradas pseudo-instruções neste trabalho. As demais instruções são utilizadas na detecção de clones. Nós sem instruções podem existir após o processo de remoção de pseudo-instruções. Esses nós são eliminados do GFC e suas arestas de entrada e de saída são combinadas entre os nós antecessores e sucessores deles.

Processar definições e usos. Informações de definição e uso são adicionadas aos nós do GFC e ele é transformado em um grafo de definição e uso nesse passo. Se o nó possuir instruções *load* (carregar na memória) de variáveis, o algoritmo considera que ele está usando as variáveis. Se o nó possuir instruções *store* (gravar na memória) de variáveis, o algoritmo considera que ele está definindo as variáveis. A operação de *inc* (incremento de números inteiros) computa tanto definições quanto usos para as variáveis.

Construir a árvore de pós-dominância. Os nós do GFC são percorridos em pós-ordem e a árvore de pós-dominância é construída. A árvore de pós-dominância é utilizada no próximo passo, que é a construção do grafo de dependência de controle.

Construir o grafo de dependência de controle. Primeiramente, todas as arestas de nós que pós-dominam outros são removidas do GFC. Depois, para cada nó do GFC, o algoritmo da Figura 41 é executado. Trata-se de um algoritmo de caminho reverso de todos os antecessores dos nós do GFC. O objetivo é definir quais nós são acionados em decorrência da execução de um predicado. Há uma condição na linha 10 na qual, se o nó antecessor contiver um dos sucessores do nó de origem, todos os filhos do nó antecessor são considerados filhos do nó de origem. Essa condição prevê o cenário no qual um desvio de fluxo de controle é invocado dentro de outro conforme pode ser visualizado na Figura 42. Nessa figura a condição B é invocada dentro da condição A. Nesse caso o bloco de código C depende tanto da satisfação da condição A quanto da condição B para ser executado. Retomando o contexto da Figura 41, a linha 12 tenta encontrar recursivamente possíveis dependências de controle nos nós antecessores ao nó de origem. O resultado final é o grafo de dependência de controle.

Construir o grafo de dependência de dados. Primeiramente as variáveis utili-

```

1:  PARA CADA nó FAÇA
2:      nó.adicionar_sucessores(obter_caminho_reverso(nó, nó.sucessor))
3:  FIM PARA
4:
5:  FUNÇÃO obter_caminho_reverso(nó, nó.sucessor)
6:      PARA CADA nó.antecessor FAÇA
7:
8:          SE nó.antecessor não for nó.sucessor ENTÃO
9:
10:              SE nó.antecessor.sucessores contiver nó.sucessor ENTÃO
11:                  nó.adicionar_sucessores(nó.antecessor.sucessores)
12:              SENÃO
13:                  nó.adicionar_sucessores(
14:                      obter_caminho_reverso(nó.antecessor, nó.sucessor))
15:          FIM SE
16:      FIM SE
17:  FIM FUNÇÃO

```

Figura 41 – Algoritmo para construir grafos de fluxo de controle

```

SE (A) ENTÃO

    SE (B) ENTÃO
        C
    FIM SE

FIM SE

```

Figura 42 – Exemplo de dependências múltiplas de fluxo de controle

zadas no grafo de definição e uso (o antigo GFC) analisado são destacadas. O próximo passo é navegar nos nós desse grafo e definir para cada variável destacada quais são os nós que a definem e quais a usam. O último passo da geração do grafo de dependência de dados é gerar arestas entre os nós que usam variáveis e os primeiros a definir essas variáveis antes do uso. Por exemplo, considere quatro nós, N1, N2 e N3. Dado que N1 e N3 definem a variável A e que N2 a utilize. N2 somente possui dependência de dados em relação a N1, pois N3 define A somente depois que N2 realizou o uso. Nesse caso a aresta de dependência de controle seria atribuída entre N1 e N2.

Construir o GDP. O último passo é, para cada nó do método analisado, adicionar tanto as arestas do grafo de dependência de controle quanto as do grafo de dependência de dados. Nesse passo tanto as arestas do GFC quando as da árvore de pós-dominância são descartadas.

Testes foram realizados após a construção do módulo de geração de GDPs baseado na ASM. O objetivo foi saber se o tempo de execução da detecção de clones havia diminuído. Os programas selecionados para a construção do *benchmark* do Capítulo 4 foram executados com a BJCD utilizando a JaBUTi para gerar os grafos e depois com a BJCD utilizando a ASM. A Tabela 20 sumariza os resultados obtidos. A BJCD baseada na JaBUTi somente conseguiu executar sem esgotamento de memória no menor dos quatro programas, *jtopas-0.8*, enquanto a versão baseada na ASM executou para os quatro programas. A BJCD detectou clones em 3,70 segundos utilizando ASM e em 103,11 segundos utilizando a JaBUTi. A diferença de tempo entre as duas execuções foi de 96,00%. Concluiu-se que o desenvolvimento com a ASM trouxe resultados significativos em relação ao tempo de processamento e ao consumo de memória da BJCD. Optou-se, portanto, por utilizar essa versão da ferramenta na incorporação da detecção interprocedimental de clones semânticos. As execuções mencionadas neste trabalho, inclusive as que geraram o *benchmark* PCCB, foram realizadas utilizando essa versão da BJCD.

Tabela 20 – Comparação das execuções da BJCD baseada na JaBUTi contra a BJCD baseada na ASM

Programa	BJCD com JaBUTi (s)	BJCD com ASM (s)	Diferença (%)
jtopas-0.8	103,11	3,70	96,41
checkstyle-5.5	Esgotamento de memória	58,54	-
commons-math3-3.0	Esgotamento de memória	138,56	-
weka-3.7.6	Esgotamento de memória	3.372,33	-

5.3.2 Incorporação da detecção interprocedimental de clones na BJCD

O módulo de detecção de clones semânticos foi desenvolvido de modo que, dados dois programas, filtros são aplicados. Os pares de GDPs que satisfazem as condições de todos os filtros são submetidos ao conversor de GDPs. O conversor de GDPs transforma os grafos nas estruturas de dados que são utilizadas na análise de isomorfismo. No caso, neste trabalho, foi escolhido manter os GDPs sem alteração e realizar a análise baseada na de Albuquerque, Neves e Chaim (2012). Clones contidos em outros são removidos do processamento. Os resultados finais são exportados em arquivos físicos no final do processo. O diagrama da Figura 43 ilustra a arquitetura em alto nível do detector interprocedimental de clones semânticos.

Figura 43 – Arquitetura em alto nível do detector interprocedimental de clones semânticos

A análise interprocedimental é realizada com base na estratégia descrita a seguir. Dados dois GDPs $G = (N, A)$ e $G' = (N', A')$, onde N e N' são os conjuntos de nós de G e G' , respectivamente, e A e A' são os conjuntos de arestas de G e G' , respectivamente. Se $n \in N$ e $n' \in N'$ possuírem chamadas de procedimentos, os seguintes passos serão seguidos:

- se o restante dos comandos de N e N' forem diferentes entre si, nenhuma comparação será feita;
- se as chamadas forem para procedimentos com nomes iguais e presentes na mesma classe, serão consideradas chamadas iguais, portanto não haverá necessidade de comparação dos GDPs dessas chamadas;
- se as chamadas não forem para procedimentos com o mesmo nome ou da mesma classe, os GDPs desses procedimentos serão submetidos aos filtros e comparados;
- esses passos serão executados recursivamente, até que se possa tomar uma decisão acerca das duas chamadas, de n e n' , serem clones ou não.

O pseudocódigo da Figura 44 ilustra as regras supracitadas.

Um ponto de atenção nessa heurística é que procedimentos com o mesmo nome podem ter comportamentos diferentes, dependendo dos argumentos deles. Os argumentos não serão considerados, uma vez que a normalização das instruções dos GDPs deve ignorar os

```

FUNÇÃO analise_interprocedimental(n1, n2)

SE NÃO similar(n1, n2) ENTÃO
    RETORNAR não_similares
SENÃO

    SE possui_invokes(n1) OU possui_invokes(n2) ENTÃO

        PARA CADA par_de(n1.invokes, n2.invokes)

            SE (n1.invoke.classe IGUAL n2.invoke.classe)
                E (n1.invoke.metodo.nome IGUAL n2.invoke.metodo.nome) ENTÃO
                    RETORNAR similares
            SENÃO

                SE passa_no_filtro(n1.invoke.gdp)
                    E passa_no_filtro(n2.invoke.gdp) ENTÃO
                        RETORNAR analise_interprocedimental(
                            n1.invoke.gdp, n2.invoke.gdp)
                SENÃO
                    RETORNAR não_similares
            FIM SE

        FIM SE

    FIM PARA

    RETORNAR similares
FIM SE

FIM FUNÇÃO

```

Figura 44 – Pseudocódigo de heurísticas de detecção interprocedimental de clones

tipos dos dados que estão sendo definidos ou usados e considerar apenas o comportamento do programa [8]. A Figura 45 ilustra essa situação. Há dois métodos na mesma classe chamados *metodo*. Ambos retornam valores do tipo *Number*, porém seus parâmetros de entrada são de tipos diferentes. Enquanto um método recebe um parâmetro do tipo *Integer*, o outro recebe um *Long*. Seus comportamentos são distintos: enquanto o método que recebe um *Integer* retorna a multiplicação do parâmetro por uma constante, o método que recebe um *Long* retorna o fatorial desse número utilizando programação recursiva. Esse é um caso no qual a heurística de considerar métodos com mesmos nomes presentes

da mesma classe indicará um clone que na verdade é um falso positivo. Nesse sentido, é importante que a execução da heurística seja opcional. O ponto negativo de desativá-la é que o tempo de execução do algoritmo de detecção de clones pode aumentar devido a possíveis análises de isomorfismo em todos pares de GDPs.

```
package tests;

public class MetodosParametrosDiferentes {

    Number metodo(Long parametro) {
        return parametro * 30;
    }

    Number metodo(Integer parametro) {
        if (parametro == 0) return 1;
        return parametro * ((Integer) metodo(parametro - 1));
    }

}
```

Figura 45 – Métodos com nomes iguais na mesma classe, mas com comportamentos diferentes

Os componentes descritos nesta seção foram incorporados à BJCD, que evoluiu à sua versão 2.0 como contribuição deste trabalho.

5.4 Validações das técnicas propostas

As atividades descritas nesta seção tiveram como intuito validar e avaliar o comportamento das técnicas propostas neste trabalho. Primeiramente a eficiência do filtro de tamanho de GDPs foi avaliada. A segunda atividade teve como objetivo avaliar os consumos de memória e de tempo da técnica de detecção interprocedimental de clones semânticos utilizando diferentes valores para a heurística que define quantos níveis de chamadas devem ser avaliados. A terceira atividade de validação contou com a execução da BJCD no *benchmark* PCCB duas vezes, sendo que a análise interprocedimental não foi utilizada na primeira execução e foi utilizada na segunda execução. O objetivo dessa terceira atividade foi comparar as taxas de acertos da análise convencional de clones semânticos com a interprocedimental. As subseções a seguir detalham as atividades de validação.

5.4.1 Avaliação do filtro de tamanho mínimo de GDPs

O filtro de tamanho de GDPs foi avaliado como se segue. Os programas jtopas-0.8 e checkstyle-5.5 foram selecionados para realizar a avaliação do filtro de tamanho de GDPs. A BJCD foi executada em cada programa, variando as configurações de modo que os GDPs tivessem que possuir um nó no mínimo até três nós. Cinco execuções foram realizadas em cada programa para cada configuração, totalizando quinze execuções por programa. Os tempos de execução em milissegundos foram tomados. Um parâmetro foi adicionado à BJCD, conforme pode ser visualizado na Figura 46. O número informado nesse parâmetro é o mínimo de nós que GDPs deverão possuir para serem analisados pela BJCD.

```
# Minimum of nodes to analyse a PDG
# If not specified, the default value of 1 will be used.
br.usp.saeg.config.filter.minNodeNumber=1
```

Figura 46 – Configuração de filtro de tamanho mínimo de GDP na BJCD

A memória máxima consumida em todas as execuções foi de aproximadamente 220 *megabytes* para a jtopas-0.8 e de 464 *megabytes* para a checkstyle-5.5. O consumo de memória não variou com a variação do tamanho mínimo de GDPs.

A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos para a jtopas-0.8. As linhas representam as execuções. A primeira coluna apresenta o número da execução e as demais apresentam os tempos de execução em milissegundos para cada configuração de filtro de tamanho mínimo de GDP. As exceções são a penúltima e a última linha. A penúltima linha apresenta as médias de execução e a última linha apresenta o percentual de ganho de tempo médio que a configuração da direita apresentou em relação à da esquerda. Quanto maior o número mínimo de nós configurado, mais rápida foi a execução para a jtopas-0.8. Execuções que exigiam que GDPs possuísem no mínimo dois nós para serem comparados foram em média 9,31% mais rápidas do que as que exigiam um nó. Analogamente, execuções que exigiam três nós foram em média 10,12% mais rápidas do que execuções que exigiam dois nós.

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos para a checkstyle-5.5. A organização da tabela é igual à da Tabela 21. Os resultados obtidos reforçam os observados nas execuções para a jtopas-0.8. Quanto maior o número mínimo de nós configurado, mais rápida foi a execução também para a checkstyle-5.5. Execuções que exigiam que GDPs possuísem no mínimo dois nós para serem comparados foram em média 30,60% mais rápidas do que

Tabela 21 – Avaliação de filtro de número mínimo de nós de GDPs para jtopas-0.8

Execução	1 nó (ms)	2 nós (ms)	3 nós (ms)
1	3.678	3.023	2.910
2	3.537	3.033	2.976
3	3.647	2.999	2.930
4	3.616	3.638	2.855
5	3.447	3.563	2.940
Média	3.585	3.251	2.922
Ganho (%)	-	9,31	10,12

as que exigiam um nó. Esse é um resultado ainda mais expressivo do que o apresentado para a jtopas-0.8. Execuções que exigiam três nós foram em média 4,21% mais rápidas do que execuções que exigiam dois nós.

Tabela 22 – Avaliação de filtro de número mínimo de nós de GDPs para checkstyle-5.5

Execução	1 nó (ms)	2 nós (ms)	3 nós (ms)
1	55.664	43.005	40.376
2	56.388	41.408	42.945
3	60.202	41.767	39.693
4	65.646	45.429	39.699
5	67.677	40.449	40.426
Média	61.115	42.412	40.628
Ganho (%)	-	30,60	4,21

5.4.2 Avaliação dos consumos de tempo e memória da análise interprocedimental

O consumo de tempo da análise interprocedimental foi avaliado de maneira análoga à avaliação do filtro de tamanho mínimo de GDPs. Os programas jtopas-0.8 e checkstyle-5.5 foram selecionados para realizar a avaliação. A BJCD foi executada em cada programa, variando as configurações de modo que análises interprocedimentais que analisavam GDPs de zero (sem análise interprocedimental, ou seja, análise convencional) a três níveis de chamadas fossem executadas. Cinco execuções foram realizadas em cada programa para cada configuração, totalizando quinze execuções por programa. Os tempos de execução em milissegundos foram tomados. Um parâmetro foi adicionado à BJCD, conforme pode ser visualizado na Figura 47. Um valor maior do que zero nesse parâmetro indica que

a BJCD realizará a análise interprocedimental considerando o número de níveis de chamadas configurado. Por exemplo, o valor *1* indica que somente chamadas realizadas nos métodos originais serão consideradas, enquanto o valor *2* indica que chamadas realizadas em métodos invocados pelos originais também serão consideradas.

```
# Number of call levels to be analysed.
# A zero value means that the intermethod analysis will not be used.
# If not specified, the default value of 1 will be used.
br.usp.saeg.config.intermethod.analysedCallLevels=1
```

Figura 47 – Configuração de análise interprocedimental na BJCD

A memória máxima consumida em todas as execuções foi de aproximadamente 220 *megabytes* para a *jtopas-0.8* e de 464 *megabytes* para a *checkstyle-5.5*. O consumo de memória não variou com a variação do número de níveis analisados com a técnica interprocedimental, diferentemente do que era esperado neste trabalho.

A Tabela 23 apresenta os resultados obtidos para a *jtopas-0.8*. As linhas representam as execuções. A primeira coluna apresenta o número da execução e as demais apresentam os tempos de execução em milissegundos para cada configuração de quantidade de níveis analisados de maneira interprocedimental. As exceções são a penúltima e a última linha. A penúltima linha apresenta as médias de execução e a última linha apresenta o percentual de ganho de tempo médio que a configuração da direita apresentou em relação à da esquerda. Execuções com análise interprocedimental mostraram-se mais lentas do que as convencionais, porém o número de níveis analisados não influencia negativamente no tempo de execução uma vez que a análise interprocedimental está sendo realizada. Execuções com análise interprocedimental que analisavam um nível de chamadas foram em média 14,87% mais lentas do que as convencionais. Execuções com análise interprocedimental que analisavam dois níveis de chamadas foram em média 5,89% mais rápidas do que as que analisavam um nível. Execuções com análise interprocedimental que analisavam três níveis de chamadas foram em média 1,92% mais lentas do que as que analisavam dois níveis. Esses dados sugerem que a análise interprocedimental é mais lenta do que a tradicional, porém o número de níveis analisados não afeta o tempo de execução para *jtopas-0.8*.

A Tabela 24 apresenta os resultados obtidos para a *checkstyle-5.5*. A organização da tabela é igual à da Tabela 23. Os resultados obtidos reforçam os observados nas execuções para a *jtopas-0.8*. Execuções com análise interprocedimental mostraram-se mais lentas do que as convencionais, porém o número de níveis analisados não influencia negativamente

Tabela 23 – Avaliação de tempo da análise interprocedimental para *jtopas-0.8*

Execução	Convencional (ms)	1 nível (ms)	2 níveis (ms)	3 níveis (ms)
1	2.910	3.068	3.016	3.124
2	2.976	3.587	3.053	3.118
3	2.930	3.057	3.555	3.705
4	2.855	3.570	3.044	3.078
5	2.940	3.502	3.127	3.074
Média	2.922	3.357	3.159	3.220
Ganho (%)	-	-14,87	5,89	-1,92

no tempo de execução uma vez que a análise interprocedimental está sendo realizada. Execuções com análise interprocedimental que analisavam um nível de chamadas foram em média 33,84% mais lentas do que as convencionais. Execuções com análise interprocedimental que analisavam dois níveis de chamadas foram em média 7,35% mais rápidas do que as que analisavam um nível. Execuções com análise interprocedimental que analisavam três níveis de chamadas foram em média 10,94% mais rápidas do que as que analisavam dois níveis. Esses dados sugerem que a análise interprocedimental é mais lenta do que a tradicional, porém o número de níveis analisados não afeta o tempo de execução negativamente para *checkstyle-5.5*.

Tabela 24 – Avaliação de tempo da análise interprocedimental para *checkstyle-5.5*

Execução	Convencional (ms)	1 nível (ms)	2 níveis (ms)	3 níveis (ms)
1	40.376	64.835	74.294	48.700
2	42.945	47.770	43.833	45.338
3	39.693	52.806	43.939	43.837
4	39.699	44.341	46.525	43.128
5	40.426	62.126	43.306	43.331
Média	40.628	54.376	50.379	44.867
Ganho (%)	-	-33,84	7,35	10,94

5.4.3 Comparação da taxa de acerto da análise convencional com a interprocedimental

A validação ocorreu como se segue. A BJCD foi executada duas vezes no *benchmark* PCCB. A primeira vez foi utilizando a análise tradicional e a segunda vez foi utilizando a análise interprocedimental em um nível de chamadas. A ACDRA foi utilizada para validar

os resultados obtidos nas execuções. O arquivo de resultados esperados foi criado de acordo com os resultados obtidos na criação do PCCB. A Tabela 25 sumariza os resultados obtidos após a execução da ACDRA nos resultados reportados nas duas execuções da BJCD.

Tabela 25 – Comparação de resultados da análise convencional com a interprocedimental

Análise	Falsos Positivos	Falsos Negativos	Taxa de acerto
Tradicional	4	0	95,0%
Interprocedimental	2	0	97,5%

O resultado indica que, de acordo as classificações dos programadores que participaram da construção do *benchmark*, a análise interprocedimental tem uma taxa de acerto maior do que a convencional. Enquanto a análise convencional teve uma taxa de acerto de 95%, a interprocedimental acertou 97,5% das classificações. A análise interprocedimental identificou diferenças nas chamadas dentro dos métodos avaliados, portanto classificou dois dos pares de candidatos citados na Seção 4.2.3 como não clones. Esses pares são os métodos *fireEditingStopped()* e *fireEditingCanceled()* e *PolyKernel.setOptions(String[])* e *AdaBoostM1.setOptions(String[])*. Os pares de métodos *rotateCW()* e *rotateCCW()* e *createRowRealMatrix(double[])* e *createColumnRealMatrix(double[])* continuaram sendo identificados como clones. Isso porque *rotateCW()* e *rotateCCW()* não invocam métodos. Esses métodos apenas manipulam atributos. Já *createRowRealMatrix(double[])* e *createColumnRealMatrix(double[])* invocam o mesmo método, *setEntry(int, int, int)*. A diferença é a ordem na qual os parâmetros são fornecidos. As classificações dos outros setenta e seis pares de candidatos a clones foram iguais nas análises convencionais e interprocedimentais.

A próxima seção apresenta uma discussão sobre as possíveis ameaças à validade das validações.

5.5 Ameaças à validade

A avaliação da taxa de acerto da técnica interprocedimental em relação à convencional foi realizada com base em um *benchmark* criado com base nas opiniões de programadores. Programadores possuem características inerentes a seus estilos de programação e experiência. Essas características podem ser benéficas ou maus hábitos. Por exemplo, a inserção proposital e descontrolada de clones em sistemas pode ser considerada um mau hábito.

É possível que alguns dos programadores entrevistados não tenham considerado alguns dos quatro pares de métodos citados na Seção 4.2.3 como clones porque consideram que é aceitável clonar código se as chamadas presentes nesses métodos forem distintas. É possível que os programadores não tenham pensado na possibilidade de reescrever o código de modo que os clones sejam eliminados ao mesmo tempo que o caráter distinto das chamadas invocadas nos métodos é mantido.

As Figuras 48 e 49 ilustram um cenário no qual os métodos *fireEditingStopped()* e *fireEditingCanceled()* são reescritos de forma que deixem de ser clones. O trecho que contém as invocações com comportamento distinto é extraído para a interface *ProcessListenerStrategy*, que contém como implementações classes que invocam os métodos específicos. A classe *FireEditingStoppedProcessListenerStrategy* invoca o método *editingStopped(ChangeEvent)* e a classe *FireEditingCanceledProcessListenerStrategy* invoca *editingCanceled(ChangeEvent)*. A Figura 49 ilustra a refatoração dos métodos. Um método chamado *fireEditing(ProcessListenerStrategy)* foi criado. Ele contém a lógica comum a *fireEditingStopped()* e *fireEditingCanceled()*, porém recebe como parâmetro um *ProcessListenerStrategy*, responsável por executar as chamadas com comportamentos distintos de acordo com a implementação que é instanciada. Agora o método *fireEditingStopped()* somente deve invocar o método *fireEditing(ProcessListenerStrategy)* informando uma instância de *FireEditingStoppedProcessListenerStrategy* como parâmetro. Analogamente, o método *fireEditingCanceled()* invoca *fireEditing(ProcessListenerStrategy)* informando uma instância de *FireEditingCanceledProcessListenerStrategy* como parâmetro.

Essas alterações no código podem não ter sido consideradas pelos programadores durante a análise dos métodos, isso é, o foco das análises deles foi o uso para manutenção e evolução de *software* e não para refatoração ou entendimento de código.

Outra ameaça à validade é o número de programadores que participaram da construção do *benchmark*. É necessário realizar atividades com mais programadores para consolidar as classificações dos pares de candidatos a clones com uma relevância estatística maior.

5.6 Conclusão do capítulo

Uma nova técnica de detecção de clones semânticos, a técnica interprocedimental, foi definida neste capítulo. Essa técnica diferencia-se das outras por analisar as chamadas de procedimentos que ocorrem nos fragmentos de código fonte. O objetivo dela é evitar

```
public interface ProcessListenerStrategy {

    void processCellEditorListener listener,
        AbstractCellEditor cellEditor);
}

public class FireEditingStoppedProcessListenerStrategy
    implements ProcessListenerStrategy {

    public void process(CellEditorListener listener,
        AbstractCellEditor cellEditor) {
        listener.editingStopped(new ChangeEvent(cellEditor));
    }

}

public class FireEditingCanceledProcessListenerStrategy
    implements ProcessListenerStrategy {

    public void process(CellEditorListener listener,
        AbstractCellEditor cellEditor) {
        listener.editingCanceled(new ChangeEvent(cellEditor));
    }

}
```

Figura 48 – Novas chamadas a `fireEditingStopped()` e `fireEditingCanceled()`

falsos positivos na detecção de clones. Isso porque alguns métodos são similares, mas as chamadas que existem neles mudam a semântica da execução do programa.

A nova técnica foi desenvolvida em um programa já existente, a *Bytecode Java Clone Detector* (BJCD) [6], como contribuição deste trabalho. Essa ferramenta foi modificada de modo que consumisse menos memória e que seu tempo de execução fosse diminuído. Como resultado, a BJCD evoluiu à sua versão 2.0. A arquitetura de componentes e as regras de execução da técnica, bem como heurísticas e o filtro criados para melhorar o desempenho de execução, também foram apresentadas neste capítulo.

Avaliações da BJCD foram realizadas com as alterações realizadas. O filtro que define o número mínimo de nós que GDPs devem ter para ser analisados mostrou-se uma técnica eficiente para diminuir o tempo de execução da análise semântica de detecção de clones semânticos. Ao mesmo tempo, a análise interprocedimental tende a ser mais lenta do que técnicas que não a utilizam. No entanto, a memória consumida pela análise

```
protected void fireEditing(ProcessListenerStrategy strategy)
{
    // Guaranteed to return a non-null array
    final Object[] listeners = mListenerList.getListenerList();
    // Process the listeners last to first, notifying
    // those that are interested in this event
    for (int i = listeners.length - 2; i >= 0; i -= 2) {
        if (listeners[i] == CellEditorListener.class) {
            strategy.process(
                (CellEditorListener) listeners[i + 1], this);
        }
    }
}

protected void fireEditingStopped()
{
    fireEditing(new FireEditingStoppedProcessListenerStrategy());
}

protected void fireEditingCanceled()
{
    fireEditing(new FireEditingCanceledProcessListenerStrategy());
}
```

Figura 49 – Novos códigos para `fireEditingStopped()` e `fireEditingCanceled()`

interprocedimental não foi maior do que a da análise convencional para os programas utilizados nas avaliações. O tempo de execução também não aumentou quando análises interprocedimentais que consideram mais de um nível de chamadas foram executadas.

A taxa de acerto da técnica interprocedimental foi comparada à da técnica convencional para detecção de clones semânticos com base no *benchmark* criado no Capítulo 4. A técnica interprocedimental apresentou uma taxa de acertos maior. No entanto, há a possibilidade dos programadores que participaram da criação do *benchmark* não terem considerado os pares de código classificados como clones pela técnica convencional como clones por terem maus hábitos de programação ou por não terem pensado no uso desses pares de código para realizar refatorações ou entender o código do sistema.

Capítulo 6

Contribuições e Trabalhos Futuros

O objetivo deste trabalho foi propor uma técnica que detectasse clones semânticos analisando as chamadas de procedimentos que ocorrem nos trechos de código analisado. Esse tipo de análise pode auxiliar a diminuir a quantidade de falsos positivos apresentados por ferramentas convencionais de detecção de clones semânticos, pois analisa o comportamento das chamadas presentes nesses supostos clones adicionalmente à análise convencional.

Um *benchmark* que mede as taxas de acerto de ferramentas de detecção de clones foi criado para avaliar a técnica interprocedimental de detecção de clones semânticos. Doze programadores da academia e da indústria classificaram oitenta pares de candidatos a clones (sendo que cada programador classificou vinte pares) como clone ou não clone. Ou seja, cada par de candidatos a clones foi classificado por três programadores. Os pares de candidatos a clones foram então adicionados ao *benchmark* com base na classificação fornecida pelos programadores.

Outra contribuição oriunda da atividade de criação do *benchmark* foi a definição de um novo tipo de clone, com base nas classificações fornecidas pelos programadores. Clones interprocedimentais são cópias de códigos similares em sua lógica de execução, mas que possuem invocações com comportamentos distintos, gerando portanto diferença semântica.

A técnica interprocedimental de detecção de clones semânticos foi definida e desenvolvida em uma ferramenta existente de detecção de clones semânticos, a *Bytecode Java Clone Detector* (BJCD). Melhorias de consumo de memória e tempo de execução foram realizadas na BJCD antes de implementar a técnica proposta. Uma melhoria de 96,41% foi obtida no tempo de execução da ferramenta e ela tornou-se capaz de ser executada para programas para os quais não executava antes devido a problemas de estouro de memória. A técnica interprocedimental foi então desenvolvida na BJCD e validada juntamente a um filtro e a heurísticas de melhoria de consumo de memória e tempo de execução. A BJCD, como resultado, evoluiu para sua versão 2.0.

Avaliações foram realizadas utilizando o *benchmark* criado e chegou-se à conclusão de

que a técnica interprocedimental de detecção de clones semânticos pode alcançar taxas de acerto maiores do que a técnica convencional. No entanto, a técnica interprocedimental tende a necessitar de mais tempo para ser executada, apesar de não necessitar de mais memória.

Uma ameaça à validade da validação foi apresentada, referente à classificação dos pares de candidatos a clones com diferenças nas chamadas de procedimentos. Programadores que participaram da criação do *benchmark* podem os ter classificado como não clones devido a terem maus hábitos de programação ou por não terem considerado os usos desses tipos de clones para atividades de refatoração ou entendimento de código, considerando apenas o uso para manutenção e evolução de *software*.

Como trabalho futuro, um novo levantamento pode ser realizado com programadores para mitigar essa ameaça à validade. É possível formar grupos nos quais os programadores têm focos diferentes na análise de clones. Por exemplo, em um grupo os programadores tentam detectar clones para manter ou evoluir o código enquanto em outro grupo programadores detectam clones para realizar atividades de refatoração. Os resultados podem ser analisados e comparados de modo que novas conclusões sejam tiradas acerca do comportamento dos programadores na atividade de detecção de clones.

A aplicação da técnica e do tipo interprocedimental de clones em áreas específicas de estudo não foi realizada neste trabalho. Outro trabalho futuro é estudar a aplicação da técnica em áreas específicas, como manutenção e evolução de *software*, refatoração, reengenharia e entendimento de código.

Finalmente, é possível melhorar o consumo de memória e o tempo de execução da BJCD, mesmo já havendo melhorias neste trabalho. A utilização de *caches* de grafos de dependência de programas e de bancos de dados orientados a grafos para armazená-los podem levar a BJCD a ser mais escalável e consumir menos tempo e memória no processo de geração de grafos.

Referências

- 1 KOMONDOOR, R.; HORWITZ, S. Using slicing to identify duplication in source code. In: *Proceedings of the 8th International Symposium on Static Analysis*. London, UK: Springer-Verlag, 2001. (SAS '01), p. 40–56. ISBN 3-540-42314-1. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=647170.718283>>.
- 2 KRINKE, J. Identifying similar code with program dependence graphs. In: *Proceedings of the Eighth Working Conference on Reverse Engineering (WCRE'01)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2001. (WCRE '01), p. 301–. ISBN 0-7695-1303-4. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=832308.837142>>.
- 3 LIU, C. et al. Gplag: detection of software plagiarism by program dependence graph analysis. In: *Proceedings of the 12th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. New York, NY, USA: ACM, 2006. (KDD '06), p. 872–881. ISBN 1-59593-339-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1150402.1150522>>.
- 4 BELLON, S. et al. Comparison and evaluation of clone detection tools. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, v. 33, n. 9, p. 577–591, 2007. ISSN 0098-5589.
- 5 GABEL, M.; JIANG, L.; SU, Z. Scalable detection of semantic clones. In: *Proceedings of the 30th international conference on Software engineering*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (ICSE '08), p. 321–330. ISBN 978-1-60558-079-1. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1368088.1368132>>.
- 6 ALBUQUERQUE, F.; NEVES, B.; CHAIM, M. Detecção semântica de clones a partir de bytecodes. In: *SBQS 2012 Workshop de Manutencao de Software Moderna*. [S.l.: s.n.], 2012.
- 7 KOSKELA, L. *Practical TDD and Acceptance TDD for Java Developers*. [S.l.]: Manning Publications, 2008.
- 8 ROY, C. K.; CORDY, J. R.; KOSCHKE, R. Comparison and evaluation of code clone detection techniques and tools: A qualitative approach. *Science of Computer Programming*, v. 74, n. 7, p. 470 – 495, 2009. ISSN 0167-6423. Special Issue on Program Comprehension (ICPC 2008). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V17-4VT5TGF-1/2/b59307cf749745bcf29991157ecd991e>>.
- 9 LEITÃO, A. M. Detection of redundant code using r2d2. *Software Quality Control*, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 12, p. 361–382, December 2004. ISSN 0963-9314. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1016944.1016958>>.

- 10 FERRANTE, J.; OTTENSTEIN, K. J.; WARREN, J. D. The program dependence graph and its use in optimization. *ACM Trans. Program. Lang. Syst.*, ACM, New York, NY, USA, v. 9, p. 319–349, July 1987. ISSN 0164-0925. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/24039.24041>>.
- 11 MENS, T.; TOURWE, T. A survey of software refactoring. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, v. 30, n. 2, p. 126–139, 2004. ISSN 0098-5589.
- 12 HECHT, M. S. *Flow Analysis of Computer Programs*. New York, NY, USA: Elsevier Science Inc., 1977. ISBN 0444002162.
- 13 MALDONADO, J. C.; BARBOSA, E. F.; VINCENZI, A. M. R. *Introdução ao Teste de Software*. 2004. Acesso em: 25 fev. 2012. Disponível em: <http://www.inf.ucv.cl/frames/interface_fr_files/menu_cap/doc_noticias/minicurso.pdf>.
- 14 RAPPS, S.; WEYUKER, E. J. Data flow analysis techniques for test data selection. In: *Proceedings of the 6th international conference on Software engineering*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 1982. (ICSE '82), p. 272–278. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=800254.807769>>.
- 15 SIERRA, K.; BATES, B. *Certificação Sun para Programador e Desenvolvedor em Java 2: Guia de Estudos*. [S.l.]: Alta Books, 2003.
- 16 HARROLD, M. J.; MALLOY, B.; ROTHERMEL, G. Efficient construction of program dependence graphs. In: *Proceedings of the 1993 ACM SIGSOFT international symposium on Software testing and analysis*. New York, NY, USA: ACM, 1993. (ISSTA '93), p. 160–170. ISBN 0-89791-608-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/154183.154268>>.
- 17 SREEDHAR, V. C.; GAO, G. R.; LEE, Y.-f. Incremental computation of dominator trees. In: *Papers from the 1995 ACM SIGPLAN workshop on Intermediate representations*. New York, NY, USA: ACM, 1995. (IR '95), p. 1–12. ISBN 0-89791-754-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/202529.202531>>.
- 18 KUCK, D. J. et al. Dependence graphs and compiler optimizations. In: *Proceedings of the 8th ACM SIGPLAN-SIGACT symposium on Principles of programming languages*. New York, NY, USA: ACM, 1981. (POPL '81), p. 207–218. ISBN 0-89791-029-X. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/567532.567555>>.
- 19 STALLMAN, R. M. *The GNU Project*. 2012. Acesso em: 28 fev. 2012. Disponível em: <<http://www.gnu.org/gnu/thegnuproject.html>>.
- 20 ZIVIANI, N. *Projeto de Algoritmos: com Implementações em Pascal e C*. [S.l.]: Thomson Pioneira, 2004.
- 21 JOHNSON, J. H. Identifying redundancy in source code using fingerprints. In: *Proceedings of the 1993 conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research: software engineering - Volume 1*. IBM Press, 1993. (CASCON '93), p. 171–183. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=962289.962305>>.

- 22 DUCASSE, S.; RIEGER, M.; DEMEYER, S. A language independent approach for detecting duplicated code. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Software Maintenance*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1999. (ICSM '99), p. 109–. ISBN 0-7695-0016-1. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=519621.853389>>.
- 23 APPEL, A. W. *Modern compiler implementation in Java*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1998. ISBN 0-521-58388-8.
- 24 BAKER, B. S. A program for identifying duplicated code. In: *Computing Science and Statistics: Proceedings of the 24th Symposium on the Interface*. [S.l.: s.n.], 1992.
- 25 KAMIYA, T.; KUSUMOTO, S.; INOUE, K. Ccfinder: a multilinguistic token-based code clone detection system for large scale source code. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 28, p. 654–670, July 2002. ISSN 0098-5589. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=636188.636191>>.
- 26 BAKER, B. S.; MANBER, U. Deducing similarities in java sources from bytecodes. In: *Proceedings of the annual conference on USENIX Annual Technical Conference*. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 1998. (ATEC '98), p. 15–15. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1268256.1268271>>.
- 27 LINDHOLM T.; YELLIN, F. *The Java(TM) Virtual Machine Specification*. [S.l.]: Prentice Hall, 1999.
- 28 BAXTER, I. D. et al. Clone detection using abstract syntax trees. In: *Proceedings of the International Conference on Software Maintenance*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1998. (ICSM '98), p. 368–. ISBN 0-8186-8779-7. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=850947.853341>>.
- 29 MAYRAND, J.; LEBLANC, C.; MERLO, E. Experiment on the automatic detection of function clones in a software system using metrics. In: *Proceedings of the 1996 International Conference on Software Maintenance*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1996. (ICSM '96), p. 244–. ISBN 0-8186-7677-9. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=645544.655888>>.
- 30 WEISER, M. Program slicing. In: *Proceedings of the 5th international conference on Software engineering*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1981. (ICSE '81), p. 439–449. ISBN 0-89791-146-6. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=800078.802557>>.
- 31 GROVE, D. et al. Call graph construction in object-oriented languages. In: *Proceedings of the 12th ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming, systems, languages, and applications*. New York, NY, USA: ACM, 1997. (OOPSLA '97), p. 108–124. ISBN 0-89791-908-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/263698.264352>>.
- 32 BAKER, B. S. On finding duplication and near-duplication in large software systems. In: *Proceedings of the Second Working Conference on Reverse Engineering*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1995. (WCRE '95), p. 86–. ISBN 0-8186-7111-4. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=832303.836911>>.

- 33 MANBER, U. Finding similar files in a large file system. In: *Proceedings of the USENIX Winter 1994 Technical Conference on USENIX Winter 1994 Technical Conference*. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 1994. p. 2–2. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1267074.1267076>>.
- 34 KOSCHKE, R. Frontiers of software clone management. In: *Frontiers of Software Maintenance, 2008. FoSM 2008*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 119 –128.
- 35 ROY, C.; CORDY, J. Scenario-based comparison of clone detection techniques. In: *Program Comprehension, 2008. ICPC 2008. The 16th IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 153 –162. ISSN 1063-6897.
- 36 RATTAN, D.; BHATIA, R.; SINGH, M. Software clone detection: A systematic review. *Information and Software Technology*, v. 55, n. 7, p. 1165 – 1199, 2013. ISSN 0950-5849. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584913000323>>.
- 37 WHITNEY, H. Congruent graphs and the connectivity of graphs. In: *American Journal of Mathematics*. [S.l.]: The Johns Hopkins University Press, 1932. v. 54, n. 1, p. 150–168.
- 38 KOCHAN, S. G. *Programming in C*. [S.l.]: Sams, 2004.
- 39 KERNIGHAN, B. W.; PIKE, R. *Unix Programming Environment*. [S.l.]: Prentice Hall Ptr, 1984.
- 40 KONTOGIANNIS, K. et al. Pattern matching for clone and concept detection. *Automated Software Engineering*, Kluwer Academic Publishers, v. 3, n. 1-2, p. 77–108, 1996. ISSN 0928-8910. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF00126960>>.
- 41 JIANG, L. et al. Deckard: Scalable and accurate tree-based detection of code clones. In: *Proceedings of the 29th international conference on Software Engineering*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007. (ICSE '07), p. 96–105. ISBN 0-7695-2828-7. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/ICSE.2007.30>>.
- 42 VINCENZI, A. et al. Jabuti: A coverage analysis tool for java programs. *XVII SBES-Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software*, Manaus, AM, p. 79–84, 2003.
- 43 LASKI, J.; STANLEY, W. Dynamic program analysis. In: *Software Verification and Analysis*. Springer London, 2009. p. 203–219. ISBN 978-1-84882-239-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84882-240-5_9>.

APÊNDICE A

Automação do sorteio de clones

```
import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.PrintWriter;
import java.util.ArrayList;
import java.util.HashMap;
import java.util.HashSet;
import java.util.List;
import java.util.Map;
import java.util.Random;
import java.util.Scanner;
import java.util.Set;

public class GetRandomLines {

    public static void main(String[] args) throws Exception {
        String base = "D:\\usp\\ppgsi\\dissertação\\experimentos\\";
        String linesBase = base + "linhas-";
        String noClonesBase = base + "naoclones-";
        String firstStepFile = "raffled-clones-1st-step";
        String noClonesFile = "all-no-clones";
        String raffleSuffix = "-raffle";
        int linesToRaffleInFirstStep = 5;
        int totalRaffles = 4;
        int currentRaffle = 1;
```

```
GetRandomLines random = new GetRandomLines();

while (currentRaffle <= totalRaffles) {
    StringBuilder content = new StringBuilder();

    content.append(
        random.getRandomLinesForFile(linesBase + "weka",
            linesToRaffleInFirstStep));
    content.append(
        random.getRandomLinesForFile(linesBase + "math",
            linesToRaffleInFirstStep));
    content.append(
        random.getRandomLinesForFile(linesBase + "jtopas",
            linesToRaffleInFirstStep));
    content.append(
        random.getRandomLinesForFile(linesBase + "checkstyle", 2));

    PrintWriter pw =
        new PrintWriter(
            new File(
                base + firstStepFile + raffleSuffix + currentRaffle + ".csv"));
    pw.print(content);
    pw.flush();
    pw.close();

    content = new StringBuilder();
    content.append(
        random.getRandomLinesForFile(
            noClonesBase + "weka", linesToRaffleInFirstStep));
    content.append(
        random.getRandomLinesForFile(
            noClonesBase + "math", linesToRaffleInFirstStep));
    content.append(
        random.getRandomLinesForFile(
```

```
        noClonesBase + "jtopas", linesToRaffleInFirstStep));
content.append(
    random.getRandomLinesForFile(
        noClonesBase + "checkstyle", 2));

pw = new PrintWriter(
    new File(
        base + noClonesFile + raffleSuffix + currentRaffle + ".csv"));
pw.print(content);
pw.flush();
pw.close();

Random r = new Random();
int linesToRaffleInSecondStep = -1;

do linesToRaffleInSecondStep =
    r.nextInt(15); while (linesToRaffleInSecondStep < 5);

content = new StringBuilder();
content.append(
    random.getRandomLinesForFile(
        base + firstStepFile + raffleSuffix
            + currentRaffle, linesToRaffleInSecondStep));
content.append(
    random.getRandomLinesForFile(
        base + noClonesFile + raffleSuffix
            + currentRaffle, (20 - linesToRaffleInSecondStep)));

pw = new PrintWriter(
    new File(
        base + "final-raffled-clones"
            + raffleSuffix + currentRaffle + ".csv"));
pw.print(content);
pw.flush();
pw.close();
```

```
currentRaffle++;
}

}

Map<String, List<String>> files =
    new HashMap<String, List<String>>();
Map<String, Set<Integer>> alreadyRaffled =
    new HashMap<String, Set<Integer>>();

String getRandomLinesForFile(String file,
    int linesToGet) throws FileNotFoundException {

    if (!files.containsKey(file)) {
        loadFileToMemory(file);
    }

    int gotten = 0;
    Random random = new Random();
    StringBuilder raffledLines = new StringBuilder();

    if (!alreadyRaffled.containsKey(file)) {
        alreadyRaffled.put(file, new HashSet<Integer>());
    }

    List<String> lines = files.get(file);

    while (gotten < linesToGet) {
        int pos = -1;
        do pos =
            random.nextInt(lines.size());
            while (!alreadyRaffled.get(file).add(pos));

        raffledLines.append(lines.get(pos))
    }
}
```



```
.append(System.getProperty("line.separator"));

gotten++;
}

return raffledLines.toString();
}

void loadFileToMemory(String file)
    throws FileNotFoundException {
    Scanner sc = new Scanner(new File(file + ".csv"));
    List<String> lines = new ArrayList<String>();

    while (sc.hasNextLine()) {
        lines.add(sc.nextLine());
    }

    sc.close();

    files.put(file, lines);
}

}
```

APÊNDICE B

Formulário de ciência da criação do benchmark

Formulário de Aceitação

Título do Projeto e Objetivo:

Classificação dos resultados obtidos das análises da ferramenta Bytecode Java Clone Detector (BJCD) realizada por oráculos humanos não relacionados ao projeto.

Objetivos:

Proposta	Analisar	Os resultados obtidos das análises da ferramenta BJCD.
	Com propósito de	Definir se os resultados reportados pela ferramenta são corretos ou incorretos e utilizar essas classificações em um benchmark.
	Com respeito	À eficácia da ferramenta, isto é, o número de resultados falsos positivos e falsos negativos e à utilização do benchmark para avaliar ferramentas de detecção de clones.
Perspectiva:	Do ponto de vista de	Programadores de projetos

Procedimentos:

O procedimento do experimento é o que segue. Primeiramente haverá a aplicação de um treinamento de aproximadamente uma hora sobre clones de código e tipos de clones, envolvendo a aplicação imediata de exercícios de classificação de clones para fixação do conteúdo apresentado. Pares de métodos analisados pela BJCD, que podem ou não ser clones, serão apresentados aos programadores sem que eles saibam qual foi a decisão da BJCD. Esses pares serão, então, analisados pelos programadores, que dirão se são clones de acordo com suas concepções.

Confidencialidade:

Todas as informações coletadas no experimento são confidenciais e meu nome não será identificado em momento algum. Confirmo que sou maior de 18 anos e que desejo participar do experimento conduzido pelo professor Marcos Lordello Chaim e pelo mestrando Felipe de Alencar Albuquerque. Eu entendo que não serei remunerado pessoalmente por participar dessa avaliação e que os dados coletados poderão ser usados em publicações científicas. Eu compreendo que ficarei livre para fazer perguntas ou para deixar de participar da avaliação a qualquer momento sem sofrer penalidades.

Eu, _____ aceito participar do experimento de acordo com o descrito acima.

Local:_____ Data:_____ Assinatura:_____

APÊNDICE C

Formulário de avaliação da criação do benchmark

Formulário de Avaliação

Título do Projeto e Objetivo:

Avaliação da condução do experimento que teve como objetivo classificar os resultados obtidos das análises da ferramenta Bytecode Java Clone Detector (BJCD) realizada por oráculos humanos não relacionados ao projeto.

Objetivos:

Proposta	Avaliar	A condução do experimento de análise dos resultados da BJCD.
	Com propósito de	Definir se o procedimento de condução do experimento deve ser replanejado.
Perspectiva:	Do ponto de vista de	Programadores que foram submetidos ao procedimento.

Questões:

Por favor, responda as seguintes questões:

1. O treinamento foi suficiente para identificação dos clones? () SIM () NÃO
2. Pares de programas dentre os apresentados não se encaixavam em nenhum tipo de clone apresentado no treinamento, apesar de terem sido considerados clones por você? () SIM () NÃO
3. Quanto tempo de experiência você tem com programação em Java? R: ____ ANOS

Confidencialidade:

Todas as informações coletadas no experimento são confidenciais e meu nome não será identificado em momento algum. Confirmando que sou maior de 18 anos e que desejo participar do experimento conduzido pelo professor Marcos Lordello Chaim e pelo mestrando Felipe de Alencar Albuquerque. Eu entendo que não serei remunerado pessoalmente por participar dessa avaliação e que os dados coletados poderão ser usados em publicações científicas. Eu compreendo que ficarei livre para fazer perguntas ou para deixar de participar da avaliação a qualquer momento sem sofrer penalidades.

Eu, _____ aceito participar do experimento de acordo com o descrito acima.

Local:_____ Data:_____ Assinatura:_____

APÊNDICE D

Arquitetura de alto nível da ACDRA

A arquitetura de alto nível da ACDRA está ilustrada na Figura 50. A classe principal do sistema é a *Benchmark*, que inicia e orquestra o processo de análise. Ela primeiramente utiliza um *ResultsReader* para ler o arquivo de resultados reportados e em seguida invoca o *Oracle*. O *Oracle* é a classe responsável por realizar a análise automática, ou seja, comparar o arquivo de resultados reportados com o de resultados esperados. Para isso ele utiliza um *ResultsReader* para ler os resultados esperados e compará-los com os reportados. Ambos os tipos de resultados são representados pela classe *CloneDetectionResults*, que é um conjunto de *CandidatePairAnalysis* que, por sua vez, refere-se à análise reportada ou esperada de um candidato de métodos, representado pela classe *CandidatePair*. O *Oracle* gera um *Summary* no final do processo de comparação. O *Summary* é então exportado pelo *Oracle* como arquivo separado por vírgulas. O *Summary* calcula e contém os dados do sumário da análise, como a taxa de acerto e as quantidades de positivos e negativos verdadeiros e falsos.

Figura 50 – Arquitetura de alto nível da ACDRA