



HEIDER ALVARENGA DE JESUS

**REVISÃO SISTEMÁTICA DE ENGENHARIA DE
SOFTWARE EXPERIMENTAL IN VITRO: UMA
ANÁLISE PRELIMINAR**

LAVRAS – MG

2013

HEIDER ALVARENGA DE JESUS

**REVISÃO SISTEMÁTICA DE ENGENHARIA DE SOFTWARE
EXPERIMENTAL IN VITRO: UMA ANÁLISE PRELIMINAR**

Monografia apresentada ao Colegiado
do Curso de Ciência da Computação,
para a obtenção do título de Bacharel
em Ciência da Computação.

Orientador:

Dr. Antônio Maria Pereira de Resende

Coorientador:

Dr. André Luiz Zambalde

LAVRAS – MG

2013

HEIDER ALVARENGA DE JESUS

**REVISÃO SISTEMÁTICA DE ENGENHARIA DE SOFTWARE
EXPERIMENTAL IN VITRO: UMA ANÁLISE PRELIMINAR**

Monografia apresentada ao Colegiado
do Curso de Ciência da Computação,
para a obtenção do título de Bacharel
em Ciência da Computação.

APROVADA em 11 de Abril de 2013.

Dr. André Luiz Zambalde UFLA

Dr. Paulo Henrique de Souza Bermejo UFLA

M. Sc. André Grützmann UFLA


Dr. Antônio Maria Pereira de Resende
Orientador

LAVRAS – MG

2013

*Aos meus pais, Nelson Geraldo de Jesus e Maria Aparecida Alvarenga de Jesus
pelo amor e apoio durante toda a caminhada.*

*As minhas irmãs Tamar Alvarenga de Jesus e Elen Alvarenga Silva pela
amizade e carinho.*

*Aos meus parentes, amigos e colegas que sempre estiveram ao meu lado
confiando e apoiando.*

DEDICO

AGRADECIMENTO

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência da Computação (DCC), pela oportunidade concedida para a realização do curso de Bacharel em Ciência da Computação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação (DCC) e demais departamentos, pelos ensinamentos transferidos e harmoniosa convivência.

Ao professor Dr. Antônio Maria Pereira de Resende pela orientação, paciência, amizade, dedicação e seus ensinamentos que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e meu crescimento profissional.

Ao professor Dr. André Luiz Zambalde pela disponibilidade, boa vontade em ajudar sendo coorientador deste trabalho e pelos ensinamentos que estão sendo muito importantes para o meu crescimento profissional.

Aos professores Dr. Paulo Henrique de Souza Bermejo e M. Sc. André Grützmann pela disposição em participar como membros da banca examinadora.

Ao Grupo de Pesquisa em Engenharia de Software (PqES) do DCC pela oportunidade concedida para realização de projetos de pesquisa em Engenharia de Software.

RESUMO

A Engenharia de Software Experimental consiste na observação de alguns aspectos do desenvolvimento de *software* com foco no experimento. Esta observação pode ser feita através da aplicação de métodos ou técnicas, sejam eles novos ou já existentes. A Engenharia de Software Experimental permite compreender melhor o funcionamento das coisas e saber se o que acredita-se ser verdade realmente é. Existem vários contextos de aplicação dos experimentos em Engenharia de Software Experimental como *in vitro*, *in vivo*, *in silico* e *in virtuo*. Neste trabalho foi elaborada uma revisão sistemática sobre a Engenharia de Software Experimental aplicada ao contexto *in vitro*. A realização de um experimento *in vitro*, sob condições controladas, antes de se realizar um experimento *in vivo*, em ambiente real, é muito importante principalmente por poder diminuir os riscos, o custo, entre outros fatores. O estudo permitiu listar métodos/técnicas utilizados atualmente e descrevê-las, mostrando o atual cenário da Engenharia de Software Experimental aplicada ao contexto *in vitro*.

Palavras-chave: Engenharia de Software Experimental. In Vitro.

ABSTRACT

The Empirical Software Engineering consists in the observation of some aspects of software development focusing on the experiment. This observation may be performed by applying methods or techniques, either new or existing. The Experimental Software Engineering allows a better understanding of how things work and whether what is believed to be true really is. There are several application contexts of experiments in Empirical Software Engineering as *in vitro*, *in vivo*, *in silico* and *in virtuo*. In this work is presented a systematic review of the Empirical Software Engineering applied to the *in vitro* context. The realization of an *in vitro* experiment, under controlled conditions, before conducting an *in vivo* experiment, in real environment, is very important mainly for power to reduce the risks, costs, and other factors. The study allowed to list methods and techniques used today and describe them, showing the current scenario of Empirical Software Engineering applied to the *in vitro* context.

Keywords: Empirical Software Engineering. In Vitro.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Processo de classificação dos estudos de uma RSL – Etapa de seleção	21
Figura 2 Tipos de Pesquisa	25
Figura 3 Desenvolvimento da RSL e análise dos resultados	27
Figura 4 Resultados da busca na base <i>IEEE Xplore</i>	34
Figura 5 Resultados da busca na base <i>Scopus</i>	35
Figura 6 Resultado das buscas realizadas na base <i>Elsevier ScienceDirect</i>	36
Figura 7 Resultado das buscas realizadas na base <i>El Compendex</i>	36
Figura 8 Resultado da busca realizada na base <i>ACM Digital Library</i>	37
Figura 9 Processo de extração de informações de estudos sobre ESE.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Estudos Identificados e resultado da seleção primária da RSL.....38

Tabela 2 Resultado da seleção secundária e estudos incluídos na RSL.....38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ES – Engenharia de *Software*
- ESE – Engenharia de *Software* Experimental
- RSL – Revisão Sistemática de Literatura
- LED – Laboratório de Educação a Distância
- DIS – Departamento de Informática e Saúde
- UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo
- GQM – *Goal/Question/Metrics*
- QIP – *Quality Improvement Paradigm*
- IDEs – *Integrated Development Environments*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivo Geral.....	13
1.2	Objetivos Específicos	13
1.3	Estrutura do Documento.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Engenharia de Software Experimental.....	15
2.2	Revisão Sistemática de Literatura (RSL)	19
3	METODOLOGIA	24
3.1	Classificação da Pesquisa	24
3.2	Método	26
3.2.1	Pré-desenvolvimento.....	27
3.2.2	Desenvolvimento da RSL e Análise dos Resultados.....	28
4	DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO SISTEMÁTICA	31
4.1	Planejar a RSL	31
4.2	Realizar a Pesquisa Bibliográfica e Selecionar os Artigos.....	33
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	39
6	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O termo Engenharia de *Software* (ES) começou a ser utilizado no ano 1968 em uma conferência realizada na Alemanha. No ano de 1976 a *IEEE Computer Society* criou um comitê para cuidar do desenvolvimento de padrões para a ES. Ao longo das últimas décadas o corpo de conhecimento da ES vem se desenvolvendo e evoluindo. Além disso, este corpo de conhecimento não é estático e estudos nesta área do conhecimento devem se desenvolver e evoluir conforme a ES amadurece (TRIPP, 2004).

Atualmente, os *softwares* estão por toda a parte e já fazem parte do nosso cotidiano. A utilização de *softwares* é mais comum do que se imagina. Eles estão em diversos aparelhos utilizados diariamente como os computadores, caixas de autoatendimento, *smartphones*, e também em operações mais complexas como controlando a órbita de um satélite, fazendo previsões do tempo, controlando rotas de aeronaves, entre outras. Com isso, a ES passou a ter um papel muito importante, mas por ser uma área recente e com um corpo de conhecimento em fase de amadurecimento, ela ainda produz muitos *softwares* com falhas que podem ser perigosas.

A experimentação é a base da ciência moderna e é através dos experimentos que se pode provar a validade de hipóteses e em qual domínio se estende sua validade. Após ser validada, uma hipótese se torna uma tese. Para que as novas criações sejam utilizadas com segurança do resultado a ser alcançado, é muito importante determinar se ela abrange alguns eventos específicos ou se é mais genérica (BRILLIANT; KNIGHT, 1998).

A Engenharia de *Software* Experimental (ESE), do inglês *Empirical Software Engineering*, consiste na observação de alguns aspectos do desenvolvimento de software com foco no experimento. Esta observação pode

ser feita através da aplicação de métodos/técnicas, sejam eles novos ou já existentes, conforme Brilliant e Knight (1998).

Para Perry e Porter (2000) e Kitchenham, Dyba e Jorgensen (2004), a ESE permite compreender melhor o funcionamento das coisas e saber se o que se acredita ser verdade realmente é. Dentre os contextos de aplicação da ESE, pode-se citar os tipos *In Vivo*, *In Vitro*, *In Silico* e *In Virtuo*.

Segundo Travassos, Gurov e Amaral (2002) o termo *In Vivo* refere-se a experimentos aplicados em campo, ou seja, projetos reais, já o termo *In Vitro* refere-se a experimentos aplicados em laboratório, ou seja, em ambientes com condições controladas.

Existem ainda os tipos *In Silico*, que trata de experimentos onde os participantes e o mundo real são descritos por modelos computacionais, e o *In Virtuo*, realizado sob condições controladas nas quais os participantes interagem com modelos computacionais da realidade (LOPES; TRAVASSOS, 2009).

De acordo com Shull *et al.* (2001), primeiramente é necessário realizar um estudo de viabilidade antes de transferir tecnologias para a indústria, portanto os experimentos referentes a validação/verificação de um método/técnica devem ser realizados inicialmente *In Vitro*, ou seja, em ambientes controlados. Os experimentos devem ser realizados *In Vivo*, em ambiente real, somente após a comprovação mínima de eficácia e/ou eficiência de determinado método/técnica. Assim, fortalecer as técnicas de aplicação de experimentos *In Vitro* na área de ES é de extrema importância para a comunidade científica e tecnológica, e também para o mercado, onde diversos softwares são executados em dispositivos simples ou até em dispositivos mais complexos, aplicados em cirurgias meticulosas, por exemplo.

Como a ESE, assim como a ES, é uma área que está em constante desenvolvimento e evolução, torna-se necessário estabelecer o estado atual da área. Como este trabalho é voltado ao contexto experimental *in vitro*, catalogar

os artigos e pesquisas com este tema é de fundamental importância para se estabelecer/investigar novos protocolos, o que já foi feito e quais são os novos desafios que a ciência precisa atacar.

Uma dificuldade encontrada é a falta de um artigo ou documento que descreva os métodos/técnicas de ESE *In Vitro*.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é realizar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre ESE *In Vitro* e levantar os métodos/técnicas utilizados atualmente nesta área de conhecimento.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Realizar uma Revisão Bibliográfica sobre ESE e RSL;
- b) realizar uma RSL sobre ESE *In Vitro*;
- c) levantar os métodos/técnicas utilizadas na área através dos resultados obtidos na RSL;
- d) descrever os métodos/técnicas encontrados.

1.3 Estrutura do Documento

No capítulo 2 deste trabalho, são apresentados os principais tópicos relacionados a ESE, abordando sua definição e conceitos. Além disto, também são apresentados os fundamentos de uma RSL, definições, conceitos e os procedimentos que devem ser seguidos durante sua elaboração. No capítulo 3, é

descrita a metodologia utilizada na execução deste trabalho, desde as etapas iniciais até sua conclusão. No capítulo 4 são detalhados os procedimentos executados no desenvolvimento da RSL de ESE *In Vitro*. O capítulo 5 apresenta a análise dos resultados obtidos na RSL. As conclusões do trabalho são apresentadas no capítulo 6 e, ao final, as referências bibliográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A ESE é uma área nova e está em constante crescimento. Muitos estudos tem sido realizados nesta área com o intuito de ajudar a amadurecer a ES. Um dos documentos utilizados para introdução e conceituação sobre a ESE foi o relatório técnico elaborado por Travassos, Gurov e Amaral (2002).

Existem trabalhos clássicos envolvendo RSL em ES. Mafra e Travassos (2006) destacam algumas revisões sistemáticas na área: (JASPERSON *et al.*, 2002), (KITCHENHAM; TRAVASSOS, 2006), (MENDES, 2005), dentre outras. A RSL realizada por Biolchini, Mian, *et al.* (2005) também foi utilizada como referência. Estes trabalhos foram importantes para visualizar o processo de execução de uma revisão sistemática na prática.

2.1 Engenharia de Software Experimental

A experimentação em ES surgiu por volta da década de 1980 (BASILI; SELBY; HUTCHENS, 1986) e desde então diversos trabalhos tem sido publicados ao longo dos anos a este respeito (MAFRA; TRAVASSOS, 2006).

A ESE busca aprimorar a ES aplicando a abordagem científica (experimentação) na construção de novos métodos e técnicas para apoio ao desenvolvimento de *software*.

A experimentação permite avaliar a atividade humana de modo sistemático, disciplinado, computável e controlado (TRAVASSOS; GUROV; AMARAL, 2002). Esta avaliação é muito importante para saber se algum produto ou serviço poderá ser inserido ou utilizado em algum meio, se poderá atingir o objetivo proposto e quais os riscos essa introdução pode trazer.

É possível melhorar a qualidade dos trabalhos científicos em ES utilizando a validação de experimentos. Desta forma, as ideias mais promissoras

serão identificadas mais rapidamente e com mais segurança. Além disso, este é um grande passo na consolidação da ES.

Travassos, Gurov e Amaral (2002) afirmam que uma discussão ainda se concentra em considerar a ES uma ciência ou engenharia, pois o *software* possui um duplo caráter. Dentre as características explícitas que mostram sua relação com a engenharia, pode-se citar o fato de a ES considerar o processo de criação do produto (*software*). Mas também possui características que mostram a parte científica da ES, como os aspectos relacionados a *time-to-market* (tempo de lançamento de um produto) e competição exigindo a melhoria contínua e sequencial da qualidade do processo do produto.

Para Mafra e Travassos (2006), a interação entre diversas variáveis influenciam no sucesso do desenvolvimento de *software*. Segundo os autores, essas variáveis podem ser: “o ambiente de trabalho agradável, a experiência de pessoal, a utilização de processos e procedimentos de qualidade e o apoio ferramental adequado”, por exemplo.

Mafra e Travassos (2006) observaram essas variáveis presentes no desenvolvimento de *software* e perceberam uma complexidade no relacionamento dessas variáveis, levantando então uma questão: como identificar, isolar e avaliar a contribuição individual da aplicação de uma determinada tecnologia para a qualidade final do produto num cenário de desenvolvimento de *software*?

Segundo Mafra e Travassos (2006), “a experimentação em ES pode atender satisfatoriamente a essa necessidade, a medida que fornece mecanismos adequados para a identificação e o entendimento do relacionamento entre as diferentes variáveis envolvidas num determinado contexto”.

No que diz respeito a condução dos experimentos, Wohlin (2000) citado por Travassos, Gurov e Amaral (2002) afirmam que existem quatro métodos

relevantes em ES, sendo eles o método científico, o método de engenharia, o método analítico e o método experimental.

“O método científico observa o mundo, sugere o modelo ou a teoria de comportamento, mede e analisa, verifica as hipóteses do modelo ou da teoria.” (TRAVASSOS; GUROV; AMARAL, 2002, p. 3).

“O método de engenharia observa as soluções existentes, sugere as soluções mais adequadas, desenvolve, mede e analisa, e repete até que nenhuma melhoria adicional seja possível.” (TRAVASSOS; GUROV; AMARAL, 2002, p. 3).

“O método analítico (ou matemático) sugere uma teoria formal, desenvolve a teoria, deriva os resultados e, se possível, compara-a com as observações empíricas.” (TRAVASSOS; GUROV; AMARAL, 2002, p. 3).

Neste trabalho foi considerado o método experimental, onde um modelo é sugerido, então se desenvolve o método qualitativo e/ou quantitativo, aplica-se um experimento, fazem-se medições e análises, avalia-se o modelo e repete todo o processo. Este processo geralmente levanta um novo modelo, não necessariamente baseado em um modelo existente, e tenta estudar o efeito do processo ou produto sugerido pelo novo modelo, conforme Travassos, Gurov e Amaral (2002).

Wohlin *et al.* (2000) definiram que a condução de experimentos em cinco etapas, descritas por Mafra e Travassos (2006):

- a) definição: são definidos os problemas e objetivos do estudo experimental;
- b) planejamento: é determinado o projeto do estudo, são definidos os instrumentos a ser utilizados, e os aspectos da validade dos resultados são analisados, com isso é elaborado o Plano do Estudo

Experimental, que deve ser cuidadosamente revisado e avaliado, pois desempenha um papel crucial no contexto de um estudo;

- c) execução: esta etapa é realizada conforme o Plano do Estudo Experimental, onde os dados experimentais são coletados;
- d) análise e interpretação: os dados coletados são analisados e avaliados, podendo esta etapa ser reexecutada conforme haja necessidade;
- e) apresentação e empacotamento: Amaral (2003) substitui esta etapa por um processo de empacotamento durante todo o processo de experimentação, onde são capturadas as lições aprendidas desde o início do processo experimental. Ao contrário do modelo proposto por Wohlin *et al.* (2000), onde essas informações só seriam coletadas ao final, podendo ocorrer eventuais perdas de informações.

Travassos, Gurov e Amaral (2002, p. 5) afirmam que “os objetivos relacionados a execução dos experimentos em ES são a caracterização, avaliação, previsão, controle, e melhoria a respeito de produtos, processos, recursos, modelos, teorias entre outros”.

De acordo com Travassos, Gurov e Amaral (2002, p. 7), “os elementos principais do experimento são as variáveis, os objetos, os participantes, o contexto do experimento, hipóteses, e o tipo de projeto do experimento”. Este trabalho se concentra em um destes elementos: no contexto do experimento, ou seja, onde o experimento está sendo executado.

O contexto do experimento é dividido em *in vitro*, que se refere ao experimento realizado no laboratório sob as condições controladas, e *in vivo*, que se refere ao estudo de um projeto real (TRAVASSOS; GUROV; AMARAL,

2002). Outros autores ainda citam o tipo *in silico* e *in virtuo*, onde o estudo é feito através de simulações.

Este trabalho irá analisar a ESE aplicada ao contexto *in vitro*, considerando então, de acordo com a literatura, os experimentos realizados em laboratório, sob condições controladas.

2.2 Revisão Sistemática de Literatura (RSL)

Há décadas os estudos primários tem sido a principal forma de gerar conhecimentos. Porém, desde o final da década de 80, outro tipo de estudo tem se tornado cada vez mais frequente: a RSL com ou sem meta-análise. Inicialmente aplicado a literatura médica, a RSL (ou revisão sistemática) mostrou sua eficiência e passou a ser utilizada também em diversas outras áreas do conhecimento (CASTRO *et al.*, 2002).

A RSL é uma técnica para avaliar e interpretar pesquisas disponíveis e relevantes para uma questão particular de pesquisa, uma área temática ou um fenômeno de interesse (KITCHENHAM, 2004, apud MIRA, 2011).

Conforme Mulrow (1994), a revisão sistemática é uma técnica científica objetiva, eficiente e reprodutível, que permite extrapolar achados de estudos independentes, avaliar a consistência de cada um deles e explicar as possíveis inconsistências e conflitos.

Uma RSL reúne, de forma organizada, o resultado de vários estudos realizados em uma determinada área do conhecimento. De acordo com Clarke (2000), a RSL responde uma pergunta claramente formulada utilizando métodos sistemáticos e explícitos para identificar, selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes, e coletar e analisar dados de estudos incluídos na revisão. Além disso, os métodos estatísticos podem fazer parte da análise dos artigos, neste caso tem-se a denominação de meta-análise.

Com o constante crescimento da quantidade de informação científica, RSL são de extrema importância, pois seu objetivo principal é transformar as informações em conhecimento, ou seja, as informações são reunidas, organizadas e avaliadas.

O processo de desenvolvimento de uma RSL pode ser dividido em três fases: planejamento, execução e análise de resultados (BIOLCHINI *et al.*, 2005).

Na fase de planejamento da RSL são identificadas as necessidades de se realizar a revisão sistemática, então o pesquisador deve apresentar uma justificativa para a realização desta revisão. Depois disso é traçada uma estratégia de busca de revisões sistemáticas já existentes para garantir que não haja duplicidade e também que nenhuma RSL já existente fique de fora. Caso existam revisões sistemáticas sobre o assunto, é necessário avaliar a qualidade dessas revisões (CASTRO *et al.*, 2002).

Uma vez que foi garantida a necessidade de realizar a RSL, dá-se início a elaboração do projeto. Esta etapa é muito importante para que haja a redução da possibilidade de vieses. O projeto geralmente contém a descrição do contexto, a descrição dos objetivos, descrição da amostra, descrição do método, cronograma de atividades e fontes de financiamento (CASTRO *et al.*, 2002).

Com o projeto da revisão sistemática em mãos inicia-se a fase de execução. Nesta fase é feita a identificação, seleção e coleta de dados dos estudos primários. Na etapa de identificação, diversas fontes de busca são utilizadas para identificar os estudos que potencialmente podem ser incluídos na RSL, de acordo com os critérios pré-estabelecidos no projeto da RSL. Já na etapa de seleção, os estudos identificados são analisados e classificados de acordo com as categorias: estudos identificados, estudos não selecionados, estudos selecionados, estudos excluídos, estudos incluídos. O processo de classificação dos estudos de uma RSL pode ser vista na Figura 1. Para reduzir a possibilidade de vieses, utilizar várias fontes e estratégias otimizadas de busca

são procedimentos indicados, pois um estudo pode constar em uma base de dados, mas não em outra. O objetivo é garantir que o máximo de estudos possível estejam incluídos na RSL. As técnicas utilizadas para identificar e selecionar os estudos devem ser descritas no projeto da RSL durante a fase de planejamento (CASTRO *et al.*, 2002).

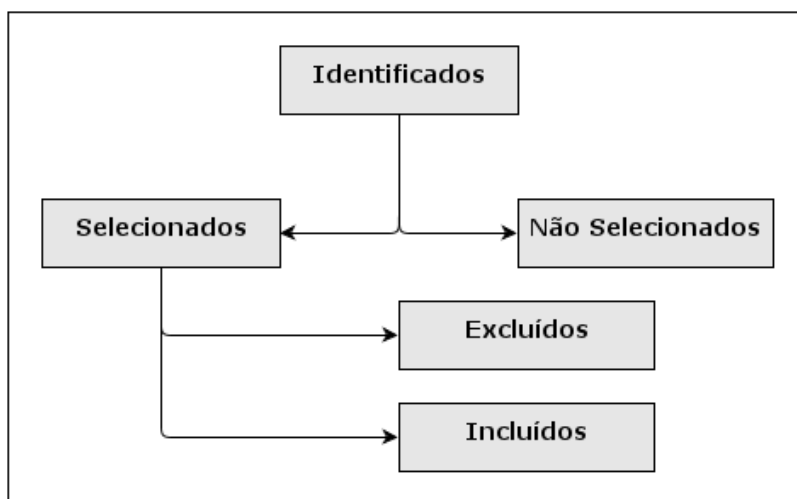


Figura 1 Processo de classificação dos estudos de uma RSL – Etapa de seleção
Fonte: Adaptado de Castro *et al.* (2002)

Após classificar os estudos, é realizada a coleta de dados dos estudos classificados como *estudos incluídos*. Nesta etapa, é coletado um conjunto de informações sobre cada estudo selecionado. Estas informações podem ser os métodos, os participantes, os resultados, entre outras (CASTRO *et al.*, 2002).

Finalmente inicia-se a fase de apresentação e interpretação dos resultados e conclusão. Nesta fase, os resultados obtidos na análise dos dados coletados são apresentados. Geralmente inclui a descrição e a qualidade dos estudos e o resultado das variáveis. As análises de dados e sua apresentação são fundamentais para interpretação dos resultados (CASTRO *et al.*, 2002).

O processo de análise dos dados pode ser dividido em análise de qualidade e análise estatística. Na análise da qualidade dos estudos são observados a validade interna, a validade externa e os métodos usados em cada estudo. A principal justificativa para a avaliação de qualidade dos estudos incluídos é a detecção de semelhanças e diferenças entre eles. Na análise estatística podem ser feitas múltiplas meta-análises, porém uma revisão sistemática não envolve obrigatoriamente uma ou mais meta-análises (CASTRO *et al.*, 2002).

A interpretação dos resultados ocorre depois da análise dos dados e é um dos passos mais complexos de uma RSL. Por mais objetivas que sejam as regras, é neste estágio que a subjetividade é mais marcante. Na interpretação deve-se levar em conta as três partes dos resultados (descrição dos estudos, qualidade dos estudos, análise estatística ou meta-análise). A análise estatística é a única que pode não estar presente. É nesta fase que são apresentadas as respostas das questões elaboradas durante o planejamento da RSL (CASTRO *et al.*, 2002).

Para a discussão da RSL, Castro *et al.* (2002) sugere o seguinte roteiro:

- a) enunciado dos principais achados da revisão;
- b) forças e fraquezas da revisão;
- c) significado da revisão;
- d) recomendações.

A boa redação é fundamental para o apontamento adequado das conclusões e sua normalização é essencial para que se evitem os vieses. Finalmente chega-se a conclusão, onde se pode classificar a qualidade e o poder estatístico da RSL (CASTRO *et al.*, 2002).

Concluindo-se as três fases, o processo de elaboração de uma RSL está completo. Algumas etapas poderão variar de acordo com a área do

conhecimento em que a RSL será aplicada, mas o essencial é que ela não perca o caráter e a rigurosidade durante sua elaboração (CASTRO *et al.*, 2002).

Depois de publicada, uma RSL poderá receber comentários, críticas e sugestões que, quando pertinentes, deverão ser incorporadas a revisão por meio de aprimoramentos. Além disso, a RSL poderá receber atualizações periódicas que levem em conta novos estudos publicados ou em andamento (CASTRO *et al.*, 2002).

3 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa é um conjunto de métodos, técnicas e procedimentos cuja finalidade é viabilizar a execução da pesquisa que tem como resultado um novo produto, processo ou conhecimento (JUNG, 2004).

3.1 Classificação da Pesquisa

Jung (2004) propõe uma classificação dos tipos de pesquisa representada na Figura 2. Segundo o autor, uma pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza como básica, para gerar conhecimento sem finalidades de aplicação, ou aplicada, com finalidade de aplicação. Quanto aos objetivos, uma pesquisa pode ser exploratória (descobrir/innovar), descritiva (como?) e/ou explicativa (por que?). Quanto as abordagens, ela pode ser quantitativa ou qualitativa. Quanto aos procedimentos, pode ser um *survey*, estudo de caso único, experimental, pesquisa-ação, estudo de casos múltiplos ou operacional. Os métodos para coleta de dados são a observação participante, grupos focados, entrevistas, questionários, experimentação e observação.

O modelo proposto por Jung (2004) foi adaptado neste trabalho para atender as características do mesmo. A RSL foi incluída nos procedimentos e os formulários nos métodos de coleta de dados, este método é bastante utilizado em uma RSL.

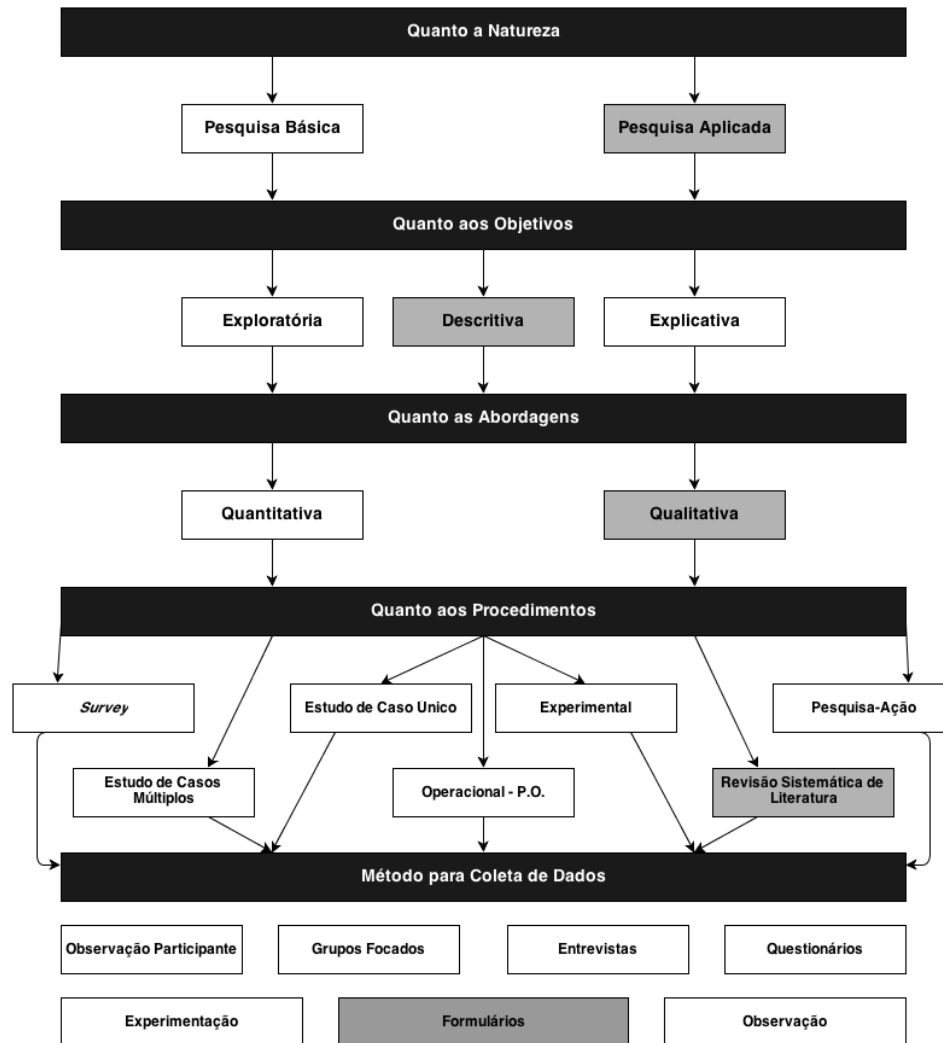


Figura 2 Tipos de Pesquisa
 Fonte: Adaptado de Jung (2004)

Observando-se as definições apresentadas, este trabalho pode ser classificado da seguinte forma:

- a) quanto a natureza: aplicada, pois o objetivo do trabalho é investigar métodos/técnicas utilizadas atualmente na ESE *In Vitro*;
- b) quanto aos objetivos: descritivos, uma vez que deseja-se procurar técnicas de ESE *in vitro*, sejam elas novas ou já existentes, em artigos e documentos científicos e descrevê-las;
- c) quanto a abordagem: qualitativa, pelo fato de envolver a pesquisa, identificação e descrição das técnicas utilizadas em ESE *in vitro*;
- d) quanto aos procedimentos: RSL, pois esta foi a técnica utilizada neste trabalho para obter os resultados;
- e) quanto aos métodos para coleta de dados: formulário, para coletar os dados resultantes dos artigos e documentos encontrados, cujo preenchimento é feito pelo próprio investigador.

3.2 Método

Este trabalho foi organizado em duas fases principais, sendo a segunda dividida em quatro etapas. As fases são definidas a seguir:

- a) pré-desenvolvimento: realização do curso de revisão sistemática a distância, oferecido pelo Laboratório de Ensino a Distância (LED) do Departamento de Informática e Saúde (DIS) da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e leitura de artigos e estudos sobre RSL e ESE. Esta fase é descrita na seção 3.2.1;
- b) desenvolvimento da RSL e análise dos resultados (Figura 3): elaborar o planejamento da RSL, onde são detalhados os procedimentos a serem realizados durante a revisão, realizar a pesquisa bibliográfica sobre o tema envolvido na revisão

sistemática, selecionar os artigos encontrados, analisar dos artigos selecionados. Esta fase é descrita na seção 3.2.2;

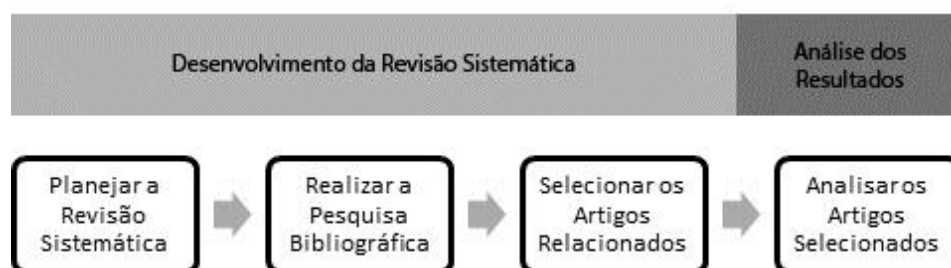


Figura 3 Desenvolvimento da RSL e análise dos resultados

3.2.1 Pré-desenvolvimento

A primeira fase do projeto é a realização do curso de revisão sistemática a distância, oferecido por iniciativa do Centro Cochrane do Brasil e do LED – DIS da UNIFESP. Embora seja um curso mais voltado para a área de medicina e saúde, foi possível adaptar os conhecimentos adquiridos e aplica-los em outras áreas, inclusive Engenharia de Software.

Segundo Castro *et al.* (2002), os objetivos de se realizar este curso são:

- a) informar sobre os aspectos teóricos da RSL com e sem meta-análise;
- b) disponibilizar recursos, conhecimentos e habilidades para planejar, conduzir e investigar uma RSL.

O modelo de educação a distância permite que o pesquisador faça o curso sem necessariamente estar presente na UNIFESP, facilitando o acesso em qualquer lugar do mundo através da internet.

Além do curso de RSL, foi realizada a leitura de artigos e estudos relacionados a RSL e a ESE para melhor embasamento do pesquisador na área.

Antes de se iniciar uma RSL é necessário observar a existência de outras RSL sobre o assunto a ser tratado, para evitar estudos duplicados. Foram feitas pesquisas nas bases de dados sobre ESE *In Vitro* e não foi encontrada uma RSL que abordasse este tema.

Tendo os conhecimentos necessários para a elaboração de uma RSL em ESE do tipo *In Vitro* e não tendo encontrado outras revisões sistemáticas sobre o assunto, deu-se início a segunda fase do trabalho, descrita na seção seguinte.

3.2.2 Desenvolvimento da RSL e Análise dos Resultados

Esta fase foi dividida em quatro etapas, sendo três delas pertencentes ao processo de Desenvolvimento da RSL e a quarta etapa pertencente a Análise dos Resultados. A Figura 3, localizada na seção 3.2, mostra a divisão destas etapas.

A primeira etapa consiste na elaboração do planejamento da RSL, onde são descritos os seus objetivos, formuladas as questões de pesquisa e criado o protocolo a ser seguido durante a pesquisa bibliográfica. Neste trabalho, os resultados obtidos durante a execução desta etapa está descrita na seção 4.1. O protocolo de buscas contém informações como:

- a) palavras-chave: são as palavras que resumem o tema a ser pesquisado;
- b) *string* de busca: é a junção das palavras-chave em uma *string* formatada de maneira lógica para facilitar pesquisa nas bases de dados;
- c) método de busca de fontes: indica como a pesquisa deve ser realizada;

- d) listagem de fontes: indica quais locais, ou quais fontes devem ser consultadas na pesquisa;
- e) tipos de artigos: quais tipos de artigos serão considerados;
- f) idioma dos artigos;
- g) critérios de inclusão e exclusão dos artigos: estabelecem quais artigos podem ou não ser selecionados para o estudo.

Realizar a pesquisa bibliográfica é a segunda etapa do desenvolvimento da RSL. O pesquisador irá pesquisar as *strings* de busca nas bases de dados seguindo todos os procedimentos estabelecidos no planejamento da RSL, evitando assim o surgimento de vieses na pesquisa. Durante a realização da pesquisa bibliográfica, o planejamento poderá ser atualizado conforme as necessidades de adequação da pesquisa. Todos os estudos encontrados na pesquisa bibliográfica em uma RSL são classificados como *estudos identificados*.

A terceira etapa do desenvolvimento de uma RSL é Selecionar os Artigos Relacionados. Nesta etapa os artigos identificados são selecionados e classificados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos no planejamento da revisão sistemática. A etapa de seleção é dividida em duas partes: a seleção primária e a secundária.

Na seleção primária são analisados o título, as palavras-chave, o resumo e, caso necessário, o texto completo dos trabalhos. Os estudos que não estiverem relacionados com o tema da RSL são classificados como *estudos não-selecionados* e não serão mais analisados na RSL. Os demais são classificados como *estudos selecionados*.

Na seleção secundária os estudos selecionados de todas as bases são unidos e analisados detalhadamente. Nesta seleção é possível detectar, e classificar como *estudos não incluídos*, os estudos repetidos, irrelevantes e

incompletos. Os demais estudos são classificados como *estudos incluídos*, e é através desses estudos que serão obtidos os resultados da revisão sistemática. A Figura 1, localizada na seção 2.2, mostra o processo de classificação dos estudos de uma RSL.

Estas duas etapas de Pesquisa Bibliográfica e Selecionar os Artigos Relacionados foram aplicadas no item 4.2 deste trabalho, onde estão descritos os resultados obtidos nessas etapas.

Tendo classificado todos os estudos, os estudos selecionados e incluídos passarão para a próxima etapa: Análise dos Resultados, descrita no capítulo 5 deste trabalho.

Inicialmente ocorre a análise e coleta dos dados. Através da leitura dos estudos são obtidas os dados relevantes para a RSL. Esses dados são coletados através do preenchimento de formulários, onde são reunidas todas as informações de interesse do estudo.

Na conclusão, pode-se avaliar a qualidade e o poder estatístico da revisão sistemática. Através dos resultados obtidos, é possível responder as questões de pesquisa elaboradas inicialmente no planejamento da RSL. Além disso, é realizada uma discussão sobre os resultados obtidos contendo os principais achados, forças e fraquezas da revisão e recomendações para trabalhos futuros.

4 DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

O desenvolvimento desta RSL permitiu que fossem reunidos estudos na área de ESE *In Vitro* e levantar e descrever os métodos/técnicas utilizados atualmente nesta área do conhecimento.

A técnica de RSL utilizada neste trabalho foi adaptada do modelo proposto por Castro *et al.* (2002). Conforme os autores dizem, as etapas de uma RSL poderão variar de acordo com a necessidade, desde que não percam o caráter e a rigurosidade da RSL.

4.1 Planejar a RSL

Nesta seção são apresentados os componentes do planejamento da RSL. Este documento permite estabelecer um protocolo que controle o processo de execução da RSL e permite garantir que as pesquisas sejam realizadas com rigor, evitando a ocorrência de vieses que possam interferir nos resultados. Os componentes do planejamento desta RSL são descritos a seguir:

- a) *Objetivos:* O objetivo desta RSL é analisar os métodos/técnicas utilizados na aplicação da ESE *In Vitro*. Pretende-se relatar como estão os estudos em ESE *In Vitro*, levantar e descrever os métodos/técnicas aplicados atualmente nesta área.
- b) *Questão de Pesquisa:* Neste trabalho, serão buscados e analisados os métodos/técnicas utilizados em experimentos de ESE realizados em laboratório. A análise dos métodos/técnicas mais eficazes e/ou eficientes ajudará a decidir qual poderá ser usada de maneira ótima em um determinado estudo.

- *Questão 1:* Quais métodos/técnicas tem sido utilizadas na ESE *In Vitro*?
- *Questão 2:* Quais destes métodos/técnicas possui melhor eficácia e/ou eficiência relatada em ESE *In Vitro*?
- c) *Palavras-Chave:* As palavras chave escolhidas se referem diretamente ao tema envolvido neste trabalho.
 - Contexto da Engenharia de Software Experimental: *Experimental Software Engineering, Empirical Software Engineering, Experimental research in Software Engineering, Experimental studies in Software Engineering, Software Engineering Experiments.*
 - Contexto do Tipo de Experimentação: *In Vitro.*
- d) *String de Busca:* Esta *string* foi elaborada a partir das palavras-chave, relacionadas logicamente:

((“*Experimental Software Engineering*” OR “*Empirical Software Engineering*” OR “*Experimental Research in Software Engineering*” OR “*Experimental Studies in Software Engineering*” OR “*Software Engineering Experiments*”) AND “*In Vitro*”)
- e) *Método de Busca de Fontes:* Sites de bibliotecas científicas virtuais.
- f) *Listagem de Fontes:*
 - *IEEE Xplore* (<http://ieeexplore.ieee.org>);
 - *Scopus* (<http://www.scopus.com>);
 - *Elsevier ScienceDirect* (<http://www.sciencedirect.com>);
 - *El Compendex* (<http://www.engineeringvillage2.org>); e
 - *Association for Computing Machinery - ACM Digital Library* (<http://dl.acm.org>).

- g) *Tipos de Artigos*: foram considerados artigos com o conteúdo sobre ESE *In Vitro*, realizando comparações, análises ou descrições e sugerindo estudos futuros.
- h) *Idioma dos Artigos*: Os artigos considerados devem estar em inglês ou português.
- i) *Critérios de Inclusão e Exclusão dos Artigos*: Os artigos devem:
 - estar disponíveis na Web;
 - oferecer conteúdo completo nas bases buscadas;
 - estar escritos em inglês ou português;
 - ter sido publicados entre 2007 e 2012; e
 - descrever os métodos/técnicas de ESE *In Vitro* (âmbito das questões 1 e 2).

As palavras-chave definidas nesta RSL foram obtidas através de diversas variações do tema da revisão. Além dos atuais, diversas outras palavras foram utilizadas em versões anteriores do planejamento, mas por não trazer resultados relevantes ou satisfatórios foram eliminadas da versão final do documento.

As bibliotecas virtuais definidas como fontes de pesquisa nesta RSL apresentam grande quantidade de artigos na área de Ciência da Computação e ES, além de ser amplamente utilizadas em outras revisões sistemáticas nesta área do conhecimento.

4.2 Realizar a Pesquisa Bibliográfica e Selecionar os Artigos

Concluído o planejamento da RSL, iniciou-se a etapa de pesquisa bibliográfica, seguindo o protocolo especificado no planejamento. A pesquisa

foi realizada nas 5 bases especificadas no protocolo de busca, utilizando os recursos de seus próprios sistemas de buscas.

Na base *IEEE Xplore*, a pesquisa foi realizada no modo *Advanced Search* (Pesquisa Avançada). Ela foi otimizada através da utilização de filtros disponíveis na própria ferramenta de busca. Os filtros ativados foram: “*Topic: Computing and Processing (Hardware/Software)*” (Tópico: Computação e Processamento) e “*Publication Year: 2007 – 2012*” (Ano de Publicação: 2007-2012).

A busca retornou 26 artigos (Figura 4). Ao passar pela seleção primária, foram selecionados 5 artigos que possuíam título, palavras-chave ou resumo relacionados com o tema da RSL. Na seleção secundária, 3 artigos foram classificados como *estudos com conteúdo irrelevante*, portanto 2 artigos foram incluídos na RSL.

You searched for: ((((((Experimental Software Engineering) OR Empirical Software Engineering) OR Experimental Research in Software Engineering) OR Experimental Studies in Software Engineering) OR Software Engineering Experiments) AND In Vitro)
 You Refined by:
 Topic: Computing & Processing (Hardware/Software)
 Publication Year: 2007 - 2012
 26 Results returned

Figura 4 Resultados da busca na base *IEEE Xplore*

Na base *Scopus*, a pesquisa foi realizada no modo *Document Search* (Busca de Documentos). Ela foi limitada em “*Date Range: 2007 to present*” (Intervalo de datas: 2007 até data presente) e “*subject areas: Physical Sciences*” (Áreas do conhecimento: Ciências Físicas). Neste caso, a data presente representa o ano 2012 (mesmo ano que foi realizada a pesquisa nesta base) e

Computer Science (Ciência da Computação) está compreendida em *Physical Sciences* (Ciências Físicas).

A busca nesta base retornou 8 artigos (Figura 5). Dos estudos identificados, 4 foram selecionados na seleção primária. Na seleção secundária 2 foram classificados como *estudos repetidos* e 1 como *estudo com conteúdo irrelevante*. Portanto, 1 estudo desta base foi incluído na RSL.

```
Your query: (TITLE-ABS-KEY(experimental software engineering) OR
TITLE-ABS-KEY(empirical software engineering) OR TITLE-ABS-
KEY(experimental research in software engineering) OR TITLE-ABS-
KEY(experimental studies in software engineering) OR TITLE-ABS-
KEY(software engineering experiments) AND TITLE-ABS-KEY(in vitro))
AND SUBJAREA(mult OR ceng OR CHEM OR comp OR eart OR ener
OR engi OR envi OR mate OR math OR phys) AND PUBYEAR > 2006
AND (LIMIT-TO(SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO(SUBJAREA,
"MULT"))
```

Document results: 8

Figura 5 Resultados da busca na base *Scopus*

Na base *Elsevier ScienceDirect*, utilizou-se a busca no modo *Advanced Search* (Pesquisa Avançada) em *All Sources* (Todas as Fontes). A pesquisa neste modo é realizada com apenas dois termos por vez, sendo assim a *string* de busca foi adaptada de forma a atender todas as combinações desejadas. De todas elas, apenas duas combinações retornaram resultados (Figura 6). Foram aplicados os filtros “*Include: journals e all books*” (Incluir: periódicos e todos os livros), “*Source: all sources*” (Fonte: todas as fontes), “*Subject: Computer Science*” (Área do conhecimento: Ciência da Computação) e “*Date Range: 2007 to Present*” (Intervalo de datas: 2007 até a data presente). Neste caso, a data presente corresponde ao ano 2012, ano que foi realizada a busca.

Totalizando 4 artigos identificados nesta base, 2 foram classificados como *estudos com conteúdo irrelevante* e 1 como *estudo repetido*, sendo apenas 1 incluído na RSL.

1 articles found for: pub-date > 2006 and ("**Experimental Software Engineering**") and ("**In Vitro**") [All Sources(Computer Science)]
3 articles found for: pub-date > 2006 and ("**Empirical Software Engineering**") and ("**In Vitro**") [All Sources(Computer Science)]

Figura 6 Resultado das buscas realizadas na base *Elsevier ScienceDirect*

Utilizando o modo *Quick Search* (Pesquisa Rápida) na base *El Compendex*, novamente a *string* de busca foi dividida de forma a atender todas as combinações desejadas. De todas as buscas, apenas duas retornaram resultados (Figura 7). As buscas foram realizadas utilizando o filtro “*Limit to: 2007 to 2012*” (Limitar a: 2007 a 2012).

Dos 4 estudos identificados, todos foram classificados como *estudos repetidos*, portanto nenhum artigo desta base foi incluído na RSL.

2 records in Compendex for 2007-2012
+(((Experimental Software Engineering**) WN All fields) AND ((**In Vitro**) WN All fields))**
 2 records in Compendex for 2007-2012
+(((Empirical Software Engineering**) WN All fields) AND ((**In Vitro**) WN All fields))**

Figura 7 Resultado das buscas realizadas na base *El Compendex*

Na base *ACM Digital Library* a *string* de busca foi dividida de forma a atender todas as combinações utilizando-se o modo *Advanced Search* com o filtro “*Published since 2007*” (Publicado a partir de 2007) e “*Published before*

2012” (Publicado antes de 2012). Das combinações, apenas uma retornou resultado contendo 5 estudos (Figura 8).

Os 5 estudos identificados passaram pela seleção primária e, na seleção secundária, 3 foram classificados como *estudos com conteúdo irrelevante* e 1 como *estudo repetido*. Apenas 1 estudo desta base foi incluído na RSL.

Searching for: ("Empirical Software Engineering" and "AND" and "In Vitro") and (PublishedAs:journal OR PublishedAs:proceeding OR PublishedAs:transaction OR PublishedAs:magazine OR PublishedAs:newsletter)
Found 5 within Publications from ACM and Affiliated Organizations (Full-Text collection)

Figura 8 Resultado da busca realizada na base *ACM Digital Library*

Finalizado a etapa de pesquisa bibliográfica, foram identificados 47 estudos no total, dos quais 22 foram selecionados na seleção primária e 5 passaram pela seleção secundária e foram incluídos na RSL. A Tabela 1 mostra a quantidade de estudos identificados por base e o resultado da seleção primária. A Tabela 2 mostra o resultado da seleção secundária por base e a quantidade de artigos incluídos na revisão sistemática.

Os estudos selecionados e incluídos na RSL de ESE *In Vitro* foram:

- a) *Extracting Information from Experimental Software Engineering Papers* (CRUZES *et al.*, 2007);
- b) *Keynote: Serge Demeyer* (DEMEYER, 2010);
- c) *Formalisms in software engineering: Myths versus empirical facts* (ROMBACH; SEELISCH, 2008);
- d) *Evaluating performances of pair designing in industry* (CANFORA *et al.*, 2007);

- e) *Evaluating the usefulness of software visualization in supporting software comprehension activities (CARNEIRO et al., 2008).*

Tabela 1 Estudos Identificados e resultado da seleção primária da RSL

Base	Estudos Identificados	Seleção Primária
<i>IEEE Xplore</i>	26	5
<i>Scopus</i>	8	4
<i>Elsevier ScienceDirect</i>	4	4
<i>El Compendex</i>	4	4
<i>ACM Digital Library</i>	5	5
TOTAL	47	22

Tabela 2 Resultado da seleção secundária e estudos incluídos na RSL

Base	Seleção Secundária			Estudos Incluídos
	Irrelevante	Repetido	Incompleto	
<i>IEEE Xplore</i>	3	0	0	2
<i>Scopus</i>	1	2	0	1
<i>Elsevier ScienceDirect</i>	2	1	0	1
<i>El Compendex</i>	0	4	0	0
<i>ACM Digital Library</i>	3	1	0	1
TOTAL	9	8	0	5

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os estudos obtidos na revisão sistemática, foi possível identificar alguns métodos/técnicas utilizados atualmente em ESE *In Vitro*.

O artigo de Cruzes *et al.* (2007) apresentam um modelo baseado na ideia de uma RSL, porém otimizado para a área da ESE. Nele é apresentada uma abordagem para extrair informações de documentos analisando sistematicamente resultados de vários trabalhos. Além desta nova abordagem, os autores apresentam outras quatro abordagens já existentes.

Cruzes *et al.* (2007) também descrevem um experimento *in vitro* realizado com alunos de pós-graduação para validar a nova abordagem apresentada por eles. Os resultados da avaliação desta nova abordagem mostram que a técnica é suficientemente madura para extrair informações de contexto a partir de estudos, mas não para extrair os resultados. A extração dos resultados não ocorreu conforme os autores esperavam.

As abordagens citadas pelos autores foram divididas em duas estratégias para tirar conclusões a partir do resultado de estudos empíricos na área de Engenharia de Software. Uma delas é criar estudos relacionados e a outra é analisar dados recolhidos a partir de estudos independentes, que foram executados com o objetivo de ter resultados combinados (CRUZES *et al.*, 2007).

Cruzes *et al.* (2007) apresentam como estratégias sobre o desenvolvimento de estudos relacionados os métodos/técnicas a seguir:

- a) Famílias de Estudos: Ciolkowski, Shull e Biffel (2002) descrevem o método de família de estudos, ou família de experimentos. Segundo os autores, é definido um *framework* comum para todos os estudos empíricos individuais que compõe a família de estudos. Parte deste *framework* é a definição de variáveis de contexto de interesse sobre

os ambientes investigados. Este *framework* define normas comuns para o projeto e um conjunto de métricas para permitir a comparação efetiva dos resultados individuais. O objetivo da família de estudos não é replicar o mesmo experimento e validar os resultados, mas examinar as variações entre os diversos experimentos. Em contraste com estudos individuais, famílias de estudos observam uma variedade de contextos. Assim, várias questões de pesquisa podem ser respondidas através das famílias de estudos. Segundo Cruzes *et al.* (2007), acredita-se que nesta abordagem os dados de tais estudos podem potencialmente ser combinados sem perda de precisão. Mas alguns problemas são enfrentados neste tipo de estudo, como o custo e o tempo de execução elevados. Isso acaba tornando mais difícil gerar resultados amplos o suficiente para gerar um corpo de conhecimento. A validade desta abordagem acaba se expondo a ameaças quando o mesmo projeto é replicado. Além disso, se existe um problema com o *framework*, esta falha será propagada para todos os estudos. As conclusões então ficam um pouco mais fracas do que se os estudos fossem executados completamente independentes. Além disso, o analista tem de utilizar algumas abordagens para agregar os resultados dos experimentos.

- b) Abordagem Multi-Métodos: De acordo com Daly (1996), a abordagem multi-métodos propõe uma pesquisa empírica composta por uma série de estudos empíricos que evoluíram a partir de um estudo exploratório inicial através de estudos em laboratório envolvendo repetições internas. Esta abordagem permite que seja prestada atenção a questões importantes e os resultados de cada estudo na série pode ser confirmatório. Dependendo do objetivo de

um estudo empírico, os dados obtidos podem ser derivados de diversos métodos/técnicas empíricas diferentes, como medições de dados industriais, questionários, entre outros. Assim, segundo Cruzes *et al.* (2007), os pesquisadores podem triangular resultados obtidos por essas métodos/técnicas diferentes sem sobrepor as fraquezas e complementando as forças ao invés de usar resultados obtidos com o uso repetido da mesma método/técnica de pesquisa. Embora tenha sido utilizada no estudo da tecnologia orientada a objeto, esta abordagem não é normalmente utilizada na Engenharia de Software. O trabalho para triangular os resultados é dobrado, caro e demorado e não há abordagens sistemáticas para triangular os resultados.

Em relação aos estudos independentes, Cruzes *et al.* (2007) apresentam outras três abordagens:

- a) **Revisão Sistemática:** Uma revisão sistemática é uma forma definida e metódica de identificar, avaliar e analisar publicações de estudos primários, a fim de investigar uma questão de pesquisa específica (CRUZES *et al.*, 2007). O processo de revisão sistemática é definido em três etapas: o planejamento, a execução e relatório da revisão (KITCHENHAM, 2004). Mais detalhes sobre esta técnica são descritos nas seções 2.2 e 3.2.2.
- b) **Meta-análise:** Clarke (2000) afirma que a meta-análise é um método estatístico geralmente aplicado a RSL que integra o resultado de dois ou mais estudos primários. De acordo com Cruzes *et al.* (2007), ela oferece um conjunto de técnicas quantitativas que permitem sintetizar os resultados de muitos tipos de pesquisa,

incluindo revisões sistemáticas, pesquisa de opinião, estudos de correlação, estudos experimentais e análises de regressão (CRUZES *et al.*, 2007). Em uma meta-análise, os estudos relevantes para uma questão são reunidos e é construído, a partir deles, um indicador da relação sob investigação de cada um dos estudos. Então estes indicadores são utilizados para cálculos estatísticos e, combinados com outros métodos quantitativos, são usados para responder as questões. Em ES, esta abordagem já vem sendo utilizada, porém nem sempre é bem sucedida, pois requer dados que são consistentes com a granularidade, semânticas e níveis contextuais. Os autores ainda afirmam que apesar de a meta-análise ser bastante utilizada em revisões sistemáticas, ela é um método independente de analisar os resultados dos estudos.

- c) Extração de informações de estudos sobre ESE: Baseado na ideia da RSL, Cruzes *et al.* (2007) propuseram um processo para combinar resultados de diferentes estudos em outro artigo. O processo consiste em cinco etapas (Figura 9), começando com uma definição da área do problema, a seleção de trabalhos de interesse, a extração de informação a partir destes trabalhos, a integração das informações e, finalmente, a análise e interpretação dos resultados. Este processo é iterativo, em que os resultados de um passo dado podem convencer o pesquisador voltar a uma etapa anterior e refazer as atividades associadas. A saída do processo é um conjunto de conclusões e novos conhecimentos que surge a partir do processo. Um detalhamento maior desta abordagem é descrita por Cruzes *et al.* (2007).

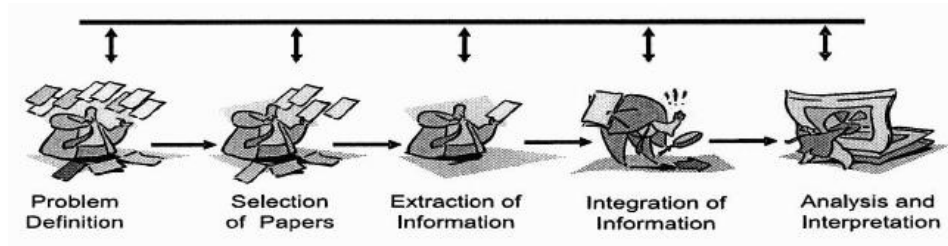


Figura 9 Processo de extração de informações de estudos sobre ESE
 Fonte: Cruzes *et al.* (2007)

Já o texto de Demeyer (2010) disponibiliza o resumo da palestra “*Research in Software Evolution – ‘in vitro’ vs. ‘in vivo’*” que aborda duas técnicas complementares de pesquisa. Para o autor a pesquisa *In vitro* é necessária, porque as condições do laboratório permitem que o pesquisador tenha controle total sobre o contexto experimental, necessário para estudar a relação de causalidade entre o tratamento e os resultados. Ele afirma também que as pesquisas *in vivo* permitem ao pesquisador estudar um fenômeno no contexto da vida real para confirmar a aplicabilidade do tratamento.

Quanto ao trabalho de Rombach e Seelisch (2008), os autores ressaltam a importância do *software* em todos os setores da indústria e de todos os aspectos da vida. Ele ainda afirma que devido a alta confiabilidade gerada no *software*, o status da ES não é satisfatório devido a acidentes, ações de *recall* e projetos atrasados.

Segundo Rombach e Seelisch (2008), muitos dos resultados de pesquisa em ES não são feitos na prática, ampliando constantemente a lacuna entre a pesquisa e a prática. O principal foco do trabalho apresentado pelos autores é motivar a criação de provas consistentes que permitirão a introdução menos arriscada de novas abordagens da ES na prática.

Os autores ainda afirma que a pesquisa precisa complementar cada nova abordagem com a evidência empírica consistente através de experimentos *in vitro*, ou experimentos controlados, e estudos de caso; a indústria precisa de base

do estado atual da prática quantitativamente, e precisa realizar estudos *in vitro* de novas abordagens, a fim de identificar benefícios e limitações em certos contextos industriais.

Rombach e Seelisch (2008) discute o papel do *software* na indústria adicionando um ponto de vista econômico, sumariza os problemas práticos típicos que são resultados da imaturidade da ES, identifica suas deficiências, trata das possíveis soluções para esses problemas iniciando pelos princípios gerais da Ciência da Computação, depois para a ES e suas ferramentas práticas para o desenvolvimento de *software* e, finalmente, para o ingrediente mais importante da ES: fatos empíricos, ou experimentos. Ele ainda demonstra a necessidade da ESE afirmando que a evidência empírica é o meio mais importante para preencher as lacunas no corpo de conhecimento da ES. Os autores citam três técnicas utilizadas na ESE, porém são mais utilizados no contexto *in vivo*, pois lidam mais com equipes de desenvolvimento de *software* de uma organização. As técnicas citadas pelos autores são as seguintes:

- a) GQM – *Goal/Question/Metric* (Objetivo/Questão/Métrica): apoiam a decisão orientando a equipe de desenvolvimento de software a obter métricas relevantes. Travassos *et al.* (2002) afirmam que esta abordagem oferece o processo da melhoria com o modelo da medição baseado em camadas. Eles também afirmam que os objetivos do GQM são: compreender, controlar e melhorar, focando nos seguintes fatores: o custo, o risco, o tempo e a qualidade.
- b) QIP – *Quality Improvement Paradigm* (Paradigma da Melhoria da Qualidade): tem um forte foco empírico. Travassos *et al.* (2002) afirma que a essência dessa metodologia está na melhoria contínua do processo de desenvolvimento de software.

- c) *Experience Management*: lida com a experiência em equipe de projetos, de preferência em diferentes domínios.

No que diz respeito ao quarto artigo, Canfora *et al.* (2007) é realizado um estudo sobre a programação em pares. Eles relatam os resultados de um experimento controlado sobre a programação em pares realizado *in vivo* em uma empresa de *software*. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados de uma experiência *in vitro* realizada anteriormente envolvendo alunos.

Na experiência *in vivo*, os resultados obtidos pelos autores sugerem que a programação em pares aumenta o tempo de desenvolvimento, mas melhora a qualidade do *software*. Ao comparar os resultados desta experiência com os resultados da experiência *in vitro*, os autores perceberam que eles apresentaram tendências semelhantes.

O experimento controlado realizado por Canfora *et al.* (2007) foi uma réplica do experimento realizado em meio acadêmico, alterando apenas os participantes (profissionais ao invés de alunos) e o ambiente (indústria ao invés do meio acadêmico). Esta experiência produziu resultados similares tanto com os estudantes quanto com os profissionais.

Conforme os resultados obtidos pelos autores, pode-se notar que o tipo de experimento *in vitro* pode oferecer resultados semelhantes ao experimento *in vivo*, ou seja, os resultados obtidos em um ambiente controlado podem ser bastante parecidos aos obtidos na vida real.

O método identificado neste estudo foi o experimento controlado. Mafra e Travassos (2006) indicam o uso de experimentos controlados quando se deseja obter um maior controle da situação, afim de manipular as variáveis envolvidas no estudo de forma direta, sistemática e precisa. Os participantes são atribuídos

aleatoriamente a diferentes tratamentos e o fato do experimento ser realizado em laboratório permite um alto controle das variáveis envolvidas no estudo.

Mafra e Travassos (2006, p. 6-7) ainda afirmam que “o objetivo é manipular uma ou mais variáveis e controlar todas as outras variáveis num valor fixo”. Segundo eles são feitas medições dos efeitos das manipulações das variáveis, através das quais são realizadas análises estatísticas. A seção 2.1 deste trabalho apresenta uma descrição mais detalhada de um experimento.

Finalmente tem-se o estudo de Carneiro *et al.* (2008) propõe uma infraestrutura para avaliar empiricamente a utilidade de paradigmas visuais não convencionais em apoiar a compreensão do *software*. De acordo com os autores, esses paradigmas visuais estão em *plug-ins*, que são acoplados em Ambientes de Desenvolvimento Integrado (em inglês: *Integrated Development Environments* ou IDEs), que visam representar o código fonte em estruturas visuais tais como árvores, diagramas ou grafos.

Embora essas interfaces sejam muito atraente visualmente, Carneiro *et al.* (2008) buscaram saber mais sobre a eficácia delas em transmitir informações para os engenheiros de *software*. Então eles realizaram dois estudos-piloto em um ambiente experimental *in vitro* para avaliar a abordagem.

Os estudos-piloto conduzidos por Carneiro *et al.* (2008) consistem na realização de uma série de tarefas nas quais são medidos o número de tarefas concluídas corretamente, o tempo para realizar cada tarefa e os recursos utilizados pelos programadores. Estes primeiros estudos visam testar os artefatos experimentais e a linha de base das variáveis dependentes para um experimento controlado no futuro. De acordo com o autor, as variáveis independentes consideradas no experimento são: o objeto experimental e a experiência do participante, capturado por um questionário.

Os dois estudos-piloto conduzidos pelos autores foram realizados com profissionais juniores que estavam cursando pós-graduação na universidade.

Segundo o autor, no primeiro estudo os resultados indicaram que o ambiente experimental utilizado foi consistente e que pode ser movido para um experimento controlado em maior escala. Já os grupos envolvidos no segundo estudo foram menos experientes, embora as configurações do experimento fossem semelhantes. O autor afirma que, apesar disso, esta diferença não foi suficiente para causar disparidade nos resultados. Com a análise dos resultados, o autor concluiu que a motivação foi questão fundamental. Os autores afirmam que possuem um projeto experimental completo a ser aplicado e que pretendem realizar mais estudos na área.

Uma técnica de ESE *In Vitro* identificada no trabalho de Carneiro *et al.* (2008) foi a aplicação de questionários. Wainer (2007) afirma que questionários são uma forma rápida e simples para avaliar as opiniões, objetivos e preferências das pessoas. Um questionário é composto de perguntas com respostas predefinidas a serem respondidas pelos próprios sujeitos da pesquisa ou por observadores que estão avaliando o sujeito.

Além dos documentos pesquisados através da RSL realizada neste trabalho, outros cinco métodos de investigação experimental na área de ESE foram identificados no trabalho de Mafra e Travassos (2006). Os métodos citados são: *survey*, estudo de caso, experimento, RSL e revisão informal. As técnicas são descritas a seguir, exceto o experimento e a RSL que já foram descritas anteriormente neste trabalho:

- a) *Survey*: é frequentemente uma investigação realizada em retrospecto, quando, por exemplo, uma determinada tecnologia tem sido utilizada durante um certo período de tempo (PFLEEGER, 1994). Utilizando entrevistas e questionários para coletar os dados, é possível observar o estado da situação atual. É tomada uma amostra representativa da população para o estudo e os resultados

são analisados de forma que possam ser extraídas conclusões que possam ser generalizadas a população da qual a amostra foi tomada (MAFRA; TRAVASSOS, 2006).

- b) Estudo de Caso: são estudos conduzidos quando se pretende investigar uma entidade ou fenômeno dentro de um determinado espaço de tempo. Durante a condução de um estudo de caso, são realizadas análises estatísticas através dos dados coletados com o intuito de avaliar um determinado atributo ou relacionamento entre diferentes atributos. Embora haja facilidade no planejamento do estudo de caso, uma dificuldade é quando se deseja generalizar os resultados, pois geralmente os estudos de caso apontam efeitos em uma situação particular (MAFRA; TRAVASSOS, 2006).
- c) Revisões Informais: Segundo Mafra e Travassos (2006), as revisões informais “são aquelas realizadas sem um protocolo de revisão pré-estabelecido, podendo ser dirigida por interesses pessoais de seus pesquisadores, levando a resultados pouco abrangentes”. Os autores ainda completam que, por não ter um protocolo de buscas nem critérios de inclusão e exclusão, as revisões informais são pouco abrangentes, não passíveis de repetição, pouco confiáveis e dependentes dos revisores. Ao contrário da revisão informal, a RSL possui um processo formal para conduzir este tipo de investigação.

6 CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível obter um cenário do estado atual da ESE quando aplicada no contexto *in vitro*, ou seja, sob condições controladas. Inicialmente foi necessário introduzir conceitos sobre a ESE e RSL a fim de preparar e conduzir este trabalho de maneira adequada.

O resultado obtido com a realização deste trabalho permitiu listar e descrever os métodos/técnicas utilizadas atualmente em ESE do tipo *In Vitro* e analisar quais as mais eficazes/eficientes. Além disso, foi possível responder as questões de pesquisa, elaboradas durante o planejamento da RSL.

A resposta da questão 1, “quais métodos/técnicas tem sido utilizadas na ESE *In Vitro*?”, pode ser claramente obtida a partir da análise dos artigos selecionados na RSL. Famílias de estudos, abordagem multi-métodos, RSL, meta-análise, extração de informação de estudos sobre ESE, experimento controlado, aplicação de questionários, *survey*, estudo de caso e revisão informal foram os métodos aplicados comumente em ESE do tipo *In Vitro*. Também foram identificadas algumas abordagens que podem ser aplicadas neste contexto, porém elas geralmente são aplicadas *in vivo*. São os métodos GQM, QIP e *Experience Management*.

A questão 2 pergunta “quais destes métodos/técnicas possui melhor eficácia e/ou eficiência em ESE *In Vitro*?”. Para responder a esta questão com maior precisão, seria mais conveniente realizar um estudo mais completo envolvendo experimentação, comparação e análise mais detalhados destes métodos/técnicas. Mas apesar das limitações, os artigos estudados nesta RSL permitem visualizar um panorama de quais técnicas tendem a ser mais eficientes ou mais eficazes em determinadas condições.

Ao se tratar de estudos primários, o experimento controlado foi utilizado em três artigos incluídos nesta RSL. Além disso, o processo de execução de um experimento controlado se mostra bem elaborado.

No âmbito dos estudos secundários, a RSL já é um método consagrado e muito utilizado em pesquisas de diversas áreas do conhecimento e sua eficiência e eficácia já são bastante conhecidas. Além disso, a RSL pode ser complementada com uma meta-análise, sintetizando os resultados obtidos. Os estudos secundários são realizados a partir de um apanhado de outros estudos já realizados, com o objetivo de analisar e/ou comparar determinados assuntos e resultados. Baseado neste contexto, Cruzes *et al.* (2007) apresentaram a nova abordagem de extração de informações de estudos que se aplica mais diretamente na área de ESE, porém melhorias ainda podem ser sugeridas e aplicadas a técnica para que torna-la mais eficaz.

Os pontos positivos do experimento *in vitro* são o custo reduzido, os riscos mais baixos e facilidade na organização dos estudos devido a maior acessibilidade aos estudantes do que aos profissionais. Pode-se observar que os resultados obtidos em um estudo *in vitro* possuem resultados semelhantes aos obtidos em um experimento *in vivo*. Em alguns casos, os resultados podem até ser generalizados para a indústria.

A principal limitação deste trabalho foi o curto tempo para realização. Com um prazo maior seria possível investigar mais a fundo cada método/técnica encontrado e também buscar outros que possivelmente não foram identificados. Outra limitação foi o número reduzido de trabalhos encontrados na RSL, configurando, assim, uma fraqueza na RSL. Isto levanta uma questão sobre a possível ausência de importância da ESE *In Vitro* ou então, por ser uma área mais recente, ainda existam poucos trabalhos publicados sobre o assunto. Outro fator a ser observado é o termo *in vitro* poder ter tornado a pesquisa bastante específica, uma sugestão de trabalho futuro é dada a seguir para tentar contornar

este problema. Somente com o decorrer do tempo será possível determinar a real importância do tema.

Como sugestão de estudos futuros, pode-se realizar buscas de métodos e técnicas de ESE do tipo *In Vitro* em estudos que relatam experimentos na área, mas não abordam explicitamente o termo *in vitro*. Outro trabalho futuro será a aplicação das técnicas *in vitro* para verificar na prática as dificuldades de seu planejamento, aplicação e análise.

REFERÊNCIAS

AMARAL, E. **Empacotamento de Estudos Experimentais em Engenharia de Software**. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

BIOLCHINI, J. et al. **Systematic Review in Software Engineering**. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2005. (Technical Report RT-ES 679/05 of Systems Engineering and Computer Science Department).

BRILLIANT, S. S.; KNIGHT, J. C. **Empirical Research in Software Engineering: A Workshop**. Organized by The University of Virginia The University of Maryland. Software Engineering Notes Volume 24 número 3, Marriot Hotel, Greenbelt, MD, 29-30 June 1998. 45-52.

CANFORA, G. et al. **Evaluating performances of pair designing in industry**. The Impact of Barry Boehm's Work on Software Engineering Education and Training, Journal of Systems and Software, 80, n. 8, August 2007. 1317 - 1327.

CARNEIRO, G. D. F. et al. **Evaluating the usefulness of software visualization in supporting software comprehension activities**. Proceedings of the Second ACM-IEEE international symposium on Empirical software engineering and measurement (ESEM '08), New York, USA, 2008. 276-278.

CASTRO, A. A. et al. **Curso de revisão sistemática e metanálise [Online]**. São Paulo: LED-DIS/UNIFESP, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.virtual.epm.br/cursos/metanalise>>. Acesso em: 29 Junho 2012.

CIOLKOWSKI, M.; SHULL, F.; BIFFL, S. **A Family of Experiments to Investigate the Influence of Context on the Effect of Inspection Techniques.** In Proceedings of the of the 6th International Conference on Empirical Assessment in Software Engineering (EASE), p. 48-60, Keele, UK, April 2002.

CLARKE, M; OXMAN, A. D.; editors. **Cochrane Reviewers' Handbook 4.1** [updated June 2000]. In: Review Manager (RevMan) [Computer program]. Version 4.1. Oxford, England: The Cochrane Collaboration, 2000.

CRUZES, D. et al. **Extracting Information from Experimental Software Engineering Papers.** Chilean Society of Computer Science, 2007. SCCC '07. XXVI International Conference of the, 8-9 Nov 2007. 105-114.

DALY, J. **Replication and a Multi-Method Approach to Empirical Software Engineering Research.** PhD Thesis, Department of Computer Science, University of Strathclyde, 1996.

DEMEYER, S. **Keynote: Serge Demeyer.** Software Maintenance and Reengineering (CSMR), 2010 14th European Conference on, 15-18 March 2010.

JASPERSON, J. et al. **Review: Power and Information Technology Research: A Metatriangulation Review.** MIS Quarterly, 26(4): p. 397-459, December, 2002.

JUNG, C. F. **Metodologia para pesquisa e desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. ISBN 8573232331, 9788573232332. Axcel Books, 2004.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews, 2004**. ISSN Keele University Technical Report TR/SE-0401. Disponível em: <http://www.idi.ntnu.no/emner/empse/papers/kitchenham_2004.pdf>. Acesso em: 30 maio 2011.

KITCHENHAM, B. A.; DYBA, T.; JORGENSEN, M. **Evidence-Based Software Engineering**. Proceedings of the 26th International Conference on Software Engineering ICSE '04, Washington, DC, USA, 2004. 273-281.

KITCHENHAM, B.; TRAVASSOS, G. **A Systematic Review of Cross- vs. Within-Company Cost Estimation Studies**. 10th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, EASE'06, 10-11 April 2006, Keele University, Staffordshire, United Kingdom.

LOPES, V. P.; TRAVASSOS, G. H. **Knowledge Repository Structure of an Experimental Software Engineering Environment**. Software Engineering, 2009. SBES '09. XXIII Brazilian Symposium on, 5-9 Oct. 2009. 32-42. Doi: 10.1109/SBES.2009.12

MAFRA, S. N.; TRAVASSOS, G. H. **Estudos Primários e Secundários apoiando a busca por Evidência em Engenharia de Software**. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2006. (Relatório Técnico RT-ES-687/06 do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação).

MENDES, E. **A systematic review of web engineering research.** International Symposium on Empirical Software Engineering, p. 480-490, Nov, 17, 2005.

MIRA, S. H. B. **Otimização em Engenharia de Software: Uma Revisão Sistemática.** I Workshop do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Software – DCC/UFLA. Lavras, 2011.

MULROW, C. D. **Rationale for systematic reviews.** Division of General Medicine, University of Texas Health Science Center, San Antonio 70284, 3 Sep 1994. 597-599.

PERRY, D. E.; PORTER, A. A.; VOTTA, L. G. **Empirical studies of software engineering: a roadmap.** Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering, Limerick, Ireland, 2000. 345-355.

PFLEEGER, S. **Experimental Design and Analysis in Software Engineering Part 1-5.** ACM Sigsoft, Software Engineering Notes, Vol. 19, nº 4, p. 16-20; Vol. 20, nº 1, p. 22-26; Vol. 20, nº 2, p. 14-16; Vol. 19, nº 3, p. 13-15; Vol. 20, nº 4, p. 14-17, 1994-1995.

ROMBACH, D.; SEELISCH, F. **Formalisms in software engineering: Myths versus empirical facts.** Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 5082 LNCS, 2008. 13-25.

SHULL, F., CARVER, J., TRAVASSOS, G. H., 2001. **An empirical methodology for introducing software processes.** ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, v. 26, n. 5, pp. 288-296.

TRAVASSOS, G. H.; GUROV, D.; AMARAL, E. A. G. D. **Introdução à Engenharia de Software Experimental**. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002. (Relatório Técnico RT-ES-590/02 do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação).

TRIPP, LEONARD L. **Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK)**. Foreword. 2004. Disponível em: <<http://www.computer.org/portal/web/swebok/html/foreward>>. Data de Acesso: 15/04/2013

WAINER, J. **Métodos de pesquisa quantitativa e qualitativa para a Ciência da Computação**. Atualização em Informática. Org: Tomasz Kowaltowski, Karin Breitman, Rio de Janeiro, Ed. PUC-Rio (2007).

WOHLIN, C. et al. **Experimentation in Software Engineering: An Introduction**. The Kluwer International Series in Software Engineering, Norwell, USA, Kluwer Academic Publishers, 2000.