

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**RECONFIGURAÇÃO DINÂMICA  
DE PROJETOS DE SOFTWARE:**

**Um modelo para alocação de recursos  
e programação de atividades  
em ambientes multiprojetos  
com recursos compartilhados**

**DANIEL ANTONIO CALLEGARI**

Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação pelo Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Melo Bastos

**Porto Alegre  
2010**

# Reconfiguração Dinâmica de Projetos de Software: Um modelo para alocação de recursos e programação de atividades em ambientes multiprojetos com recursos compartilhados

## RESUMO

Desenvolver um produto de software é uma atividade complexa que envolve muitas incertezas. A grande quantidade de informações que se apresenta para a tomada de decisões, somada às freqüentes alterações no escopo e no planejamento, torna essa atividade ainda mais desafiadora.

Geralmente se dá muita ênfase à fase de planejamento dos projetos, até mesmo por razões econômicas, tais como a avaliação do esforço necessário e a produção de um orçamento. Sabe-se, contudo, que projetos de software costumam sofrer diversas modificações durante a sua execução.

Como conseqüência, deve-se revisar constantemente o planejamento, ajustando o cronograma e as alocações das pessoas às atividades, de forma a reconduzir o projeto a um plano exeqüível, dentro de restrições de custo, tamanho e prazo. Assim, evidencia-se a necessidade de uma atenção maior à fase de execução dos projetos, em especial ao impacto e aos ajustes necessários ao planejamento em função das modificações que surgem no decorrer do tempo.

Esta tese apresenta um modelo de referência para seleção e alocação de recursos com foco na manutenção de cronogramas de projetos de software em tempo de execução. Como principais contribuições destacam-se a identificação de eventos que causam perturbações nos cronogramas e alocações dos projetos, um mecanismo de seleção de recursos que trabalha com informações difusas e o próprio modelo de reconfiguração, que suporta ambientes multiprojetos e cenários de simulação.

O modelo pode ser usado como um sistema de suporte a decisões sobre as áreas de seleção, de alocação de recursos e de planejamento de tarefas no tempo.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de Projetos, Software, Modelo, Recursos Compartilhados, Reconfiguração Dinâmica.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1	MOTIVAÇÃO DA TESE .....	24
1.2	OBJETIVO GERAL DA TESE.....	25
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	26
1.3	METODOLOGIA .....	26
1.3.1	INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE A METODOLOGIA.....	27
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO .....	30
<b>2</b>	<b>RECONFIGURAÇÃO DINÂMICA DE PROJETOS DE SOFTWARE</b> .....	<b>31</b>
2.1	INTRODUÇÃO.....	31
2.2	CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS DE SOFTWARE .....	32
2.3	DEFINIÇÕES GERAIS .....	34
2.4	LIDANDO COM AS INCERTEZAS .....	40
2.5	ELEMENTOS FUNDAMENTAIS PARA A RECONFIGURAÇÃO DINÂMICA DE PROJETOS.....	46
2.6	REVISÃO DAS SUBÁREAS E TRABALHOS RELACIONADOS .....	46
2.6.1	SUBÁREA A – SELEÇÃO DE RECURSOS .....	51
2.6.2	CONCLUSÕES E LACUNAS IDENTIFICADAS PARA A SUBÁREA A .....	52
2.6.3	SUBÁREA B – ALOCAÇÃO DE RECURSOS.....	53
2.6.4	CONCLUSÕES E LACUNAS IDENTIFICADAS PARA A SUBÁREA B .....	53
2.6.5	SUBÁREA C – PLANEJAMENTO DE ATIVIDADES .....	54
2.6.6	CONCLUSÕES E LACUNAS IDENTIFICADAS PARA A SUBÁREA C .....	54
2.6.7	SUBÁREA D – INTEGRAÇÃO COM FLUXOS ORGANIZACIONAIS .....	55
2.6.8	CONCLUSÕES E LACUNAS IDENTIFICADAS PARA A SUBÁREA D .....	57
2.7	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO .....	57
<b>3</b>	<b>MODELOS INTERMEDIÁRIOS PARA A SOLUÇÃO DE RECONFIGURAÇÃO DINÂMICA</b> .....	<b>61</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	61
3.2	A NECESSIDADE DE INTEGRAÇÃO.....	62
3.3	MODELOS BASE DE INTEGRAÇÃO .....	63
3.4	MODELO DE REFERÊNCIA PARA O PMBOK.....	63
3.4.1	DESCRIÇÃO SUCINTA DOS CONCEITOS .....	64
3.5	MODELOS BASE PROVENIENTES DO RUP .....	65
3.6	ANÁLISE CRÍTICA .....	66
3.7	MODELO INTEGRADO PARA O PMBOK E O RUP .....	68
3.8	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO .....	71
<b>4</b>	<b>EVENTOS QUE DEMANDAM RECONFIGURAÇÃO DINÂMICA</b> .....	<b>75</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	75
4.2	METODOLOGIA .....	75
4.3	IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS .....	76
4.4	CATEGORIZAÇÃO E RELAÇÃO DOS EVENTOS IDENTIFICADOS.....	78
4.5	COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CAPÍTULO .....	81

<b>5</b>	<b>MODELO DE REFERÊNCIA PARA RECONFIGURAÇÃO DINÂMICA DE PROJETOS DE SOFTWARE.....</b>	<b>83</b>
5.1	DETALHAMENTO DAS PREMISSAS DO MODELO .....	88
5.2	FUNCIONAMENTO GERAL DO MODELO DE RECONFIGURAÇÃO .....	92
5.2.1	SOLVER PADRÃO .....	94
5.3	MODELO CONCEITUAL.....	95
5.4	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE RECONFIGURAÇÃO .....	98
5.5	DETALHAMENTO .....	100
5.5.1	ELEMENTOS CENTRAIS.....	100
5.5.2	ELEMENTOS RELACIONADOS AOS EVENTOS .....	102
5.5.3	O MECANISMO DE CHAMADAS DE PROPOSTAS.....	103
5.5.4	PROPOSTAS .....	105
5.6	ESPECIFICAÇÃO DA FÓRMULA PARA CÁLCULO DOS VALORES DAS PROPOSTAS.....	107
5.6.1	ELEMENTOS DA FÓRMULA PROPOSTA.....	109
5.7	INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS PELO MODELO .....	112
5.8	SUORTE A CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.....	118
5.9	OPERAÇÕES DISPONIBILIZADAS PELO MODELO .....	119
5.9.1	TABELAS DE COMPORTAMENTOS POR FUNCIONALIDADE DO MODELO.....	121
5.10	AVALIAÇÃO DAS PROPOSTAS RECEBIDAS PARA RECONFIGURAÇÃO .....	127
5.11	RESOLUÇÃO DE INCOMPATIBILIDADES ENTRE PROPOSTAS.....	128
5.11.1	DETALHAMENTO DO ALGORITMO DE ESCOLHA DAS PROPOSTAS .....	132
5.12	COMENTÁRIOS FINAIS E RELAÇÃO DO MODELO COM FLUXOS ORGANIZACIONAIS.....	133
<b>6</b>	<b>SELEÇÃO DE RECURSOS.....</b>	<b>135</b>
6.1	INTRODUÇÃO.....	135
6.1.1	SELEÇÃO DE RECURSOS SOB A ÓPTICA DE REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO .....	137
6.1.2	ESPECIFICAÇÃO DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO .....	137
6.1.3	ABORDAGENS PARA SELEÇÃO DE RECURSOS.....	139
6.2	DETALHAMENTO DA ABORDAGEM.....	141
6.3	MRES – UMA ABORDAGEM DE SELEÇÃO DE RECURSOS BASEADA EM LÓGICA DIFUSA .....	143
6.4	DETERMINAÇÃO DO GRAU DE ADEQUABILIDADE .....	148
6.4.1	MRES – DETALHAMENTO DA FERRAMENTA.....	150
6.4.2	AVALIAÇÃO.....	152
6.5	RETROALIMENTAÇÃO DO REPOSITÓRIO DE DADOS DIFUSOS .....	154
6.6	IMPLEMENTAÇÃO .....	155
6.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	159
<b>7</b>	<b>AVALIAÇÃO DO MODELO.....</b>	<b>161</b>
7.1	CENÁRIO SIMULADO A.....	161
7.2	CENÁRIO SIMULADO B.....	172
7.3	CENÁRIO SIMULADO C .....	177
7.4	CENÁRIO SIMULADO D .....	181
7.5	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FÓRMULA PARA CÁLCULO DO VALOR DE UMA PROPOSTA .....	184
7.6	COBERTURA DA AVALIAÇÃO.....	186
7.7	VANTAGENS DA ABORDAGEM PROPOSTA.....	189
7.8	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	191
7.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	192

<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>193</b>
8.1	INDICAÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS .....	195
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>197</b>
	<b>APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES E PESQUISAS RELACIONADAS À TESE .....</b>	<b>207</b>
	<b>APÊNDICE B – MODELAGEM DE CLASSES DETALHADA.....</b>	<b>209</b>
	<b>APÊNDICE C – FONTES DE REFERÊNCIA DA REVISÃO SISTEMÁTICA .....</b>	<b>217</b>
	<b>APÊNDICE D – RESUMO DA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE RECONFIGURAÇÃO DINÂMICA.....</b>	<b>219</b>
	<b>ANEXO A – RESUMO DA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE RECONFIGURAÇÃO EM AMBIENTES COM MULTIPROJETOS.....</b>	<b>223</b>
	<b>ANEXO B – SURVEY PARA IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS DE RECONFIGURAÇÃO.....</b>	<b>229</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desenvolver um produto de software é uma atividade complexa que envolve muitas incertezas. A grande quantidade de informações que se apresenta para a tomada de decisões, somada às freqüentes alterações no escopo e no planejamento, torna essa atividade ainda mais desafiadora.

Geralmente se dá muita ênfase à fase de planejamento dos projetos, até mesmo por razões econômicas, como a avaliação do esforço necessário e a produção de um orçamento. Sabe-se, contudo, que projetos de software costumam sofrer diversas modificações no tempo. Frequentemente revisam-se o prazo, o escopo, as funcionalidades que serão implementadas em cada momento e, até mesmo, as tecnologias empregadas na sua construção. Ainda que determinadas ações possam ser automatizadas, projetos de software são essencialmente compostos por atividades desenvolvidas por pessoas, o que adiciona ainda mais imprevisibilidade sobre o andamento das atividades.

Como consequência, deve-se revisar constantemente o planejamento, ajustando o cronograma e as alocações das pessoas às atividades, de forma a reconduzir o projeto a um plano exequível, dentro de restrições de custo, tamanho e prazo. Assim, evidencia-se a necessidade de uma atenção maior à fase de execução dos projetos, em especial ao impacto e aos ajustes necessários ao planejamento em função das modificações que surgem no decorrer do tempo.

Quando um cronograma é modificado, pode ser necessário realocar as pessoas às atividades, respeitando-se uma série de condições, como suas agendas individuais, restrições temporais das atividades, as dependências entre atividades e também a capacidade das pessoas de realizarem cada tipo de atividade. Portanto, processos de seleção e de alocação de recursos são fundamentais para a solução do problema. Ademais, o seqüenciamento das atividades deve ser coerente com o processo de desenvolvimento e com a forma de trabalho da empresa.

Diante disso, esta tese apresenta um modelo de referência para seleção e alocação de recursos com foco na manutenção de cronogramas de projetos de software em tempo de execução. Denomina-se a grande área como Reconfiguração Dinâmica de Projetos de Software, a qual é subdividida em partes menores abordadas individualmente e posteriormente integradas.

De acordo com Artigues e outros [ART08], em geral as pesquisas nessa área comumente assumem um ambiente estático e determinístico. Entretanto, várias perturbações podem ocorrer durante a execução dos projetos e, para isso, usam-se abordagens denominadas preditivas-reativas (“*predictive-reactive approaches*”) quando não se tem um modelo estocástico para tais possíveis alterações.

A idéia principal das abordagens preditivas-reativas é de se construir uma solução inicial funcional que será re-otimizada quando um evento inesperado ocorrer. Neste caso, um novo planejamento é realizado nas seguintes condições: (a) sempre que um evento inesperado ocorre [WU93], [BIE99]; ou (b) em intervalos predefinidos [CHU92], ou ainda (c) quando um certo limiar em termos de perturbações é atingido [VIE00] (referências *apud* [ART08]).

Para acrescentar, computar um novo cronograma significa determinar uma nova solução ótima ou então reparar o cronograma impraticável atual. O segundo caso é mais comum por maximizar a estabilidade de soluções sucessivas. Assim, computar toda uma nova solução é raramente empregado, já que freqüentemente as novas e sucessivas soluções divergem bastante entre si e seu custo computacional as torna proibitivas [ART08].

Além disso, como se está propondo um tratamento para reconfiguração, assume-se que existe um cronograma anterior já elaborado. Por isso, a atividade de realizar completamente um cronograma “do zero” não está coberta nesta tese, embora seja possível. Existem diversos algoritmos e propostas para esse fim, que, inclusive, envolvem detecção de ciclos de atividades e métodos de solução como programação linear, entre outros [ART08].

As seções seguintes apresentam um detalhamento sobre a motivação, bem como os objetivos do trabalho.

## **1.1 Motivação da tese**

Sabe-se que projetos de software são em geral complexos porque, por sua natureza, modificam-se com muita freqüência durante o seu desenvolvimento. Em comparação com outras “engenharias”, a engenharia de software é muito recente e sofre mais com esse problema. Ao longo do tempo, a comunidade de software vem buscando alternativas de processos que minimizem o impacto dessas mudanças recorrentes. Tentativas preliminares de se desenvolver toda a especificação de antemão para, somente depois, seguir um plano foram, em sua maioria, fracassadas. Admitindo-se que as especificações mudam – e com elevada freqüência – durante o projeto, alternativas como ciclos de desenvolvimento incrementais foram propostas com mais

sucesso. Atualmente, os chamados métodos ágeis ganharam especial destaque pela forma particular como tratam dos ciclos incrementais versus o grau de detalhamento das especificações.

Em cenários reais de desenvolvimento, com grandes equipes de recursos compartilhados, a manutenção das informações é uma necessidade. Ainda, procedimentos mais homogêneos que se traduzem em maior transparência das ações da empresa para todos os envolvidos são citados como fatores determinantes para o sucesso e qualidade dos produtos e serviços entregues [PMI04] [MIL06].

Além disso, observa-se que um cenário de múltiplos projetos simultâneos e com recursos compartilhados envolve elevados graus de incerteza e complexidade. Conforme [LEE04b], empresas de software geralmente trabalham com ambientes multiprojetos. No entanto, poucos estudos sistemáticos se concentram no gerenciamento de múltiplos projetos e, além disso, pouca pesquisa sobre o assunto provém da comunidade de desenvolvimento de software. Ademais, projetos de software são considerados como casos especiais, já que desenvolver software é uma atividade fortemente baseada em conhecimento, com elevados graus de criatividade e acontecimentos inesperados. Por tais razões, experiências de outras áreas não podem ser mecanicamente copiadas [DON08] [XIE09].

Considerando-se as características mencionadas e o fato de que há uma quantidade muito grande de informações relacionadas que devem ser usadas para a tomada de decisões, o uso de ferramentas de apoio tende a ser uma necessidade cada vez mais comum. Para determinadas situações, é possível desenvolver soluções computacionais que podem funcionar como sistemas de apoio à decisão ou, ainda, que implementem automaticamente decisões previamente configuradas por um gestor.

É nesse sentido que esta tese apresenta a sua contribuição, na medida em que apresenta uma solução para a reconfiguração dinâmica de múltiplos projetos de software que compartilham um conjunto de recursos em comum.

## **1.2 Objetivo geral da tese**

O objetivo geral da tese é desenvolver e avaliar um modelo de referência para a reconfiguração dinâmica de projetos de desenvolvimento de software que suporte as características próprias de projetos desta natureza, com foco na seleção e na alocação de recursos compartilhados, associadas ao planejamento e ao replanejamento de atividades em tempo de execução.

### 1.2.1 Objetivos específicos

O objetivo geral pode ser desmembrado nos seguintes objetivos específicos:

- Identificar as características fundamentais para uma solução de reconfiguração dinâmica de projetos de software, que envolva o uso de recursos compartilhados, com disponibilidade limitada, em um ambiente de múltiplos projetos simultâneos;
- Elaborar um modelo que descreva a relação entre os diversos elementos que compõem a reconfiguração dinâmica de projetos de software;
- Desenvolver uma estratégia para ajustar a alocação de recursos e o agendamento (programação) das atividades dos projetos, considerando um conjunto de restrições sobre as atividades, os recursos e as informações sobre variáveis globais de projeto;
- Avaliar a proposta de solução, de forma analítica, por meio de um protótipo.

A questão de pesquisa é assim definida:

#### **QUESTÃO DE PESQUISA**

“Como realizar a reconfiguração dinâmica – em tempo de execução – de projetos de software no que concerne à programação das atividades considerando um conjunto limitado de recursos compartilhados?”

### 1.3 Metodologia

Durante a condução deste trabalho, algumas metodologias de pesquisa foram combinadas. As revisões bibliográficas, por exemplo, foram feitas tanto da maneira tradicional, como através de um método que implica maior rigor científico: as revisões sistemáticas [KIT04] [BIO05]. Duas pesquisas (entrevistas) com gerentes de projetos também foram conduzidas em momentos distintos, de forma complementar ao estudo, para se descobrir ou confirmar informações anteriormente levantadas.

As análises dos dados foram também realizadas de mais de uma forma, de acordo com os respectivos métodos de geração de dados. Assim, foram realizadas análises tanto quantitativas como qualitativas. A base teórica para a metodologia foi derivada de Oates [OAT06].

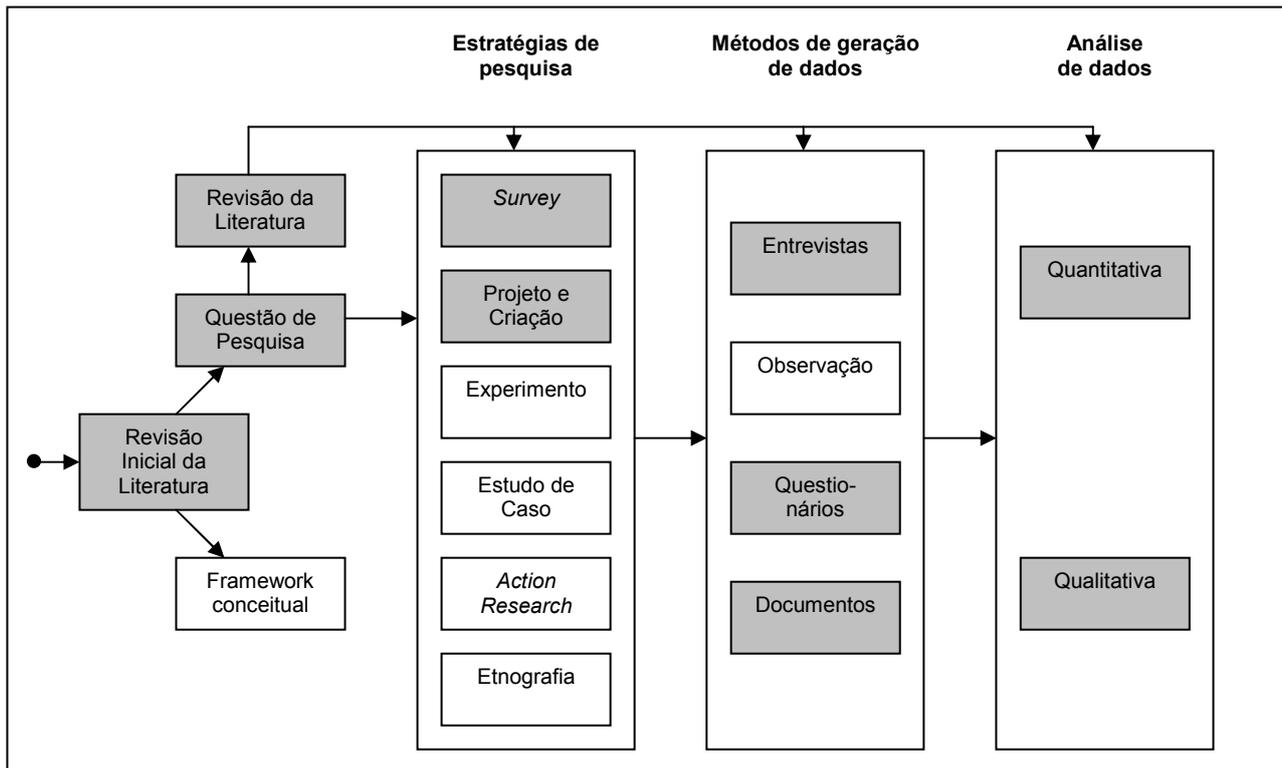


Figura 1 – Modelo de Processo de Pesquisa – adaptado de [OAT06].

Inicialmente, realizou-se uma revisão preliminar da literatura, familiarizando o autor sobre a área de pesquisa. A seguir, foi levantada a questão de pesquisa para guiar o estudo. Uma vez definida a questão de pesquisa, partiu-se para uma revisão mais detalhada da literatura. As estratégias de pesquisa foram basicamente uma combinação de *Survey* com Projeto e Criação, enquanto que os métodos de geração de dados foram entrevistas, questionários e documentos (na Figura 1 são destacados os passos utilizados). A seção a seguir fornece mais detalhes sobre a metodologia e a geração do modelo de reconfiguração.

### 1.3.1 Informações complementares sobre a metodologia

A elaboração do modelo de reconfiguração dinâmica passou por um conjunto de etapas preliminares. Inicialmente, buscou-se representar o desenvolvimento de software em duas visões complementares: uma visão sobre o processo de desenvolvimento e outra sobre o gerenciamento dos projetos de software propriamente dito. Uma integração das duas visões mostrou-se necessária para servir de base aos estudos seguintes, como será visto mais adiante.

O estudo sobre processos de desenvolvimento envolveu basicamente um expoente da indústria de software – o Processo Unificado – e um modelo que teve o devido destaque na comunidade acadêmica – o OPEN Process Framework. Esses modelos foram escolhidos porque

ambos possuem um bom grau de detalhamento em termos de documentação, inclusive apresentando seus respectivos metamodelos [KRU00] [GRA97].

Com relação à visão sobre o gerenciamento dos projetos, optou-se por usar como referência o Guia do PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) [PMI04]. A documentação relativa ao PMBOK, contudo, é menos formal em termos de definições (não apresenta um metamodelo, por exemplo); por isso, um importante passo da pesquisa foi elaborar um modelo que representasse os principais conceitos sobre gerenciamento de projetos nela presentes, assim como seus relacionamentos. O modelo foi produzido seguindo a mesma notação sintática dos modelos de processos comparados, a fim de manter a devida compatibilidade.

Em seguida, elaborou-se um segundo modelo, agora proporcionando a integração das duas visões. Os resultados dessa integração já foram explorados em artigos publicados [ROS06] [CAL07] [ROS08c] [ROS08a] e em uma dissertação de mestrado associada ao presente estudo [ROS08b]. Os principais modelos encontram-se no Capítulo 3.

Depois da definição desses modelos de base, iniciou-se um estudo aprofundado sobre o tema principal de pesquisa. Nesse estudo, buscou-se identificar quais são as perturbações mais frequentes sobre os projetos de desenvolvimento de software que geram a necessidade de se refazer o planejamento dos projetos. Logo após, foram identificados quais elementos dos modelos de base eram afetados por essas perturbações.

Desse estudo, produziu-se um modelo conceitual sobre reconfiguração dinâmica de projetos de software. O estudo incluiu uma análise da literatura sobre trabalhos relacionados, de forma que os problemas mais recorrentes mencionados pudessem ser a ele incorporados; destacaram-se, em especial, os problemas relacionados com recursos escassos, com o compartilhamento desses recursos, com diferenças de priorização entre projetos e, por fim, com a necessidade de reação em curto espaço de tempo quando uma alteração ocorre.

Com relação aos trabalhos relacionados, verificou-se que, em geral, cada um abordava apenas parte do problema e de forma isolada. O desafio desta tese de doutorado foi, assim, propor um modelo de referência para reconfiguração dinâmica de projetos de desenvolvimento de software que combinasse cada uma das partes ora tratadas de forma isolada. Além disso, buscou-se produzir um modelo com capacidade de extensão, para que sejam acrescentados novos elementos ou formas alternativas de solução à medida que se avança a pesquisa na área. A ênfase da reconfiguração tratada nessa pesquisa ocorre sobre as atividades e sobre a alocação de recursos humanos para tais atividades em um contexto de múltiplos projetos de software que são executados de forma concorrente e que compartilham recursos. A Figura 2 resume as principais etapas da pesquisa.

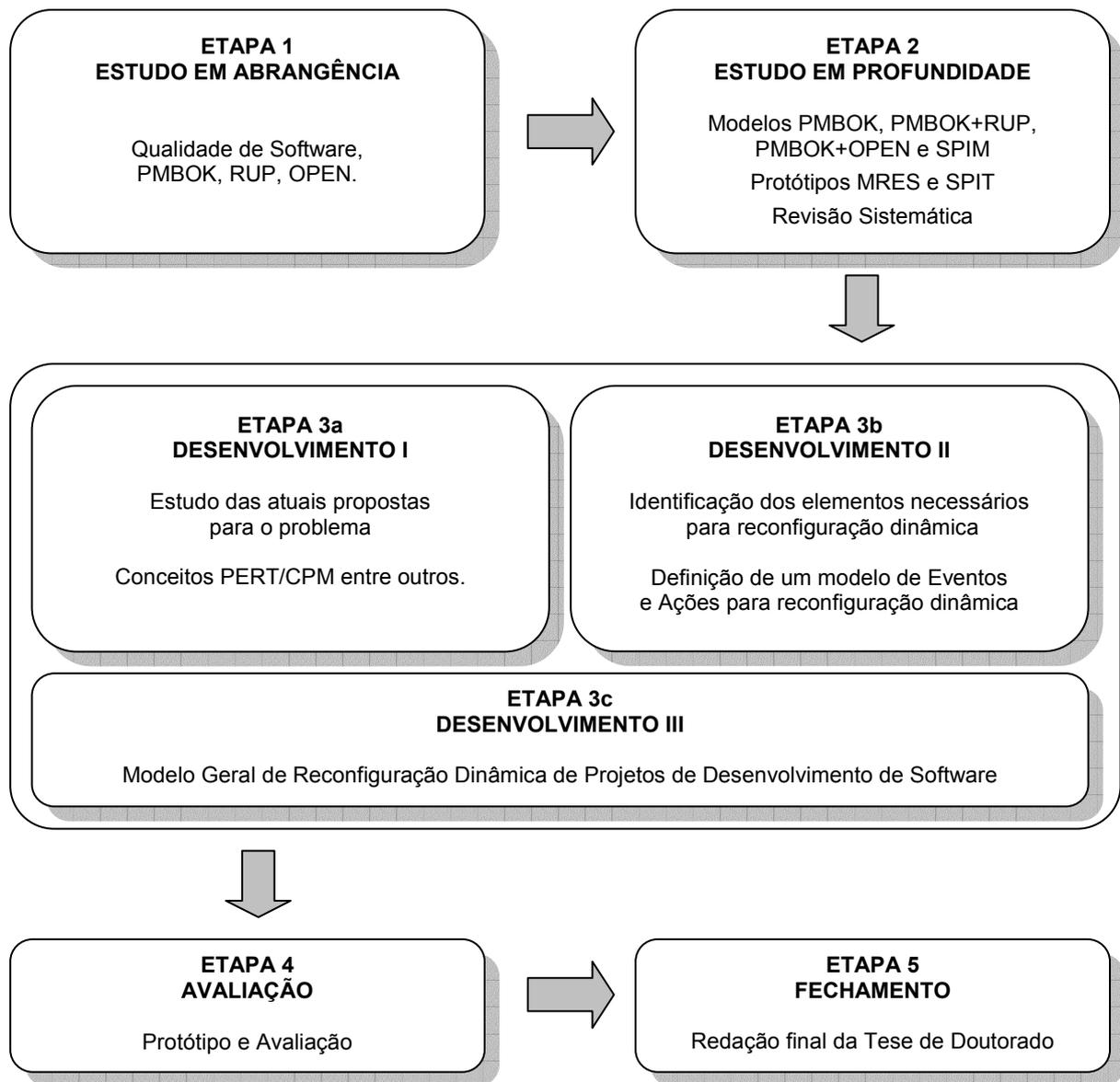


Figura 2 – Macro-etapas da pesquisa.

Visando a uma melhor organização da pesquisa, o estudo foi subdividido em quatro subáreas, a saber: seleção de recursos humanos compartilhados entre projetos simultâneos; alocação de recursos humanos às atividades; planejamento de atividades no tempo (*scheduling*); e integração das atividades dos projetos com fluxos organizacionais da empresa.

Evidentemente, todas as subáreas são importantes e estão diretamente relacionadas. Por se constituírem da principal motivação do trabalho, as duas primeiras subáreas – seleção e alocação de recursos – são exploradas em maior profundidade na tese. Não obstante, o trabalho também apresenta uma solução para o planejamento de atividades no tempo, construída com base no mecanismo de alocação dos recursos, o qual pode provocar deslocamentos das atividades no tempo, a fim de comportar a alocação dos recursos disponíveis. Por fim, a última subárea é explorada de

maneira complementar à tese, para demonstrar como o modelo desenvolvido suporta a integração das atividades dos projetos com os fluxos organizacionais.

A seção seguinte explica como o texto da tese está organizado.

## **1.4 Organização do texto**

O texto da tese está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a caracterização da área de estudo, destacando os termos e definições utilizados no decorrer do texto. A revisão bibliográfica também é comentada. Em seguida, define o que se entende neste trabalho por reconfiguração dinâmica de projetos de software, apresentando uma revisão sobre as quatro subáreas identificadas.

O Capítulo 3 comenta sobre os modelos de referência que foram usados como base para a elaboração do modelo de reconfiguração. Os modelos de referência foram comparados e combinados em um modelo integrado. Um estudo sobre os eventos e seu impacto na reconfiguração dinâmica é apresentado no Capítulo 4, enquanto que o Capítulo 5 apresenta o modelo de referência elaborado para reconfiguração dinâmica propriamente dito.

O Capítulo 6 dá ênfase à área de seleção de recursos humanos, mostrando uma solução que faz uso de lógica multivalorada e que incorpora tratamento específico para lidar com algumas incertezas inerentes ao processo. Essa parte do trabalho recebeu o prêmio de melhor ferramenta no Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, edição 2009 [CAL09b].

A avaliação do modelo de reconfiguração é comentada no Capítulo 7, onde também são detalhados os cenários usados para a geração dos dados e dos comportamentos obtidos como resposta. Conclusões e demais indicações de trabalhos futuros encontram-se no Capítulo 8.

Finalmente, é interessante mencionar que, na elaboração dos modelos, optou-se pela grafia dos elementos na língua inglesa para se obter direta relação com as classes de implementação e facilitar a identificação ao compará-los com referências da literatura.

## 8 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Essa tese apresentou um modelo de referência para reconfiguração dinâmica de projetos de software. Partindo de um problema real e cotidiano da indústria de software, realizou-se uma análise do estado da arte das soluções que atacam os problemas relacionados à reconfiguração dos projetos e se propôs, uma vez identificadas as atuais lacunas, um modelo baseado em eventos capaz de suportar diversos tipos de reconfiguração.

Modelos intermediários, oriundos da revisão da literatura, formaram a base conceitual sobre a qual o modelo final foi construído. Estudos sobre os possíveis eventos que causam perturbações nos projetos foram conduzidos e incorporados ao modelo. Além disso, um modelo de seleção de recursos baseado em critérios difusos e imprecisos foi elaborado e avaliado.

A solução para reconfiguração apresentada considera, de certa forma, a preocupação tanto com questões técnicas (ao considerar a seleção de recursos com base em suas características individuais – MRES), quanto com questões gerenciais (ao priorizar determinados fatores como custos relativos, percentuais desejados de alocação, entre outros), diferenciando-se dos trabalhos relacionados neste quesito.

Alguns autores (e.g. [DON08]) comentam sobre um equilíbrio clássico e comum empregado nas soluções de software: dar mais ênfase às pessoas ou dar mais ênfase ao processo. Este trabalho é diferenciado sob essa visão porque apresenta uma combinação dos dois aspectos; em outras palavras, consegue dar devida atenção à necessária diferenciação entre os recursos, ao mesmo tempo em que permite seguir estritamente os cronogramas de projeto.

O trabalho mais recente encontrado na mesma linha de pesquisa [XIE09], por exemplo, não trata de vários aspectos aqui abordados. Para citar algumas características, tal trabalho prioriza as tarefas e resolve-as em ordem, a diferenciação entre recursos é abrupta (não difusa) e ocorre apenas sobre categorias amplamente definidas como Sênior, Médio e Junior; ou seja, apresenta os problemas relatados na seção de seleção de recursos (seção 6.1). Além disso, há ocasiões em que os recursos são “roubados” das atividades menos importantes para ocupar posições em atividades

definidas como mais importantes. A solução é, portanto, baseada em preempção, o que vai contra uma das premissas aqui assumidas.

Destacam-se como principais contribuições desta tese:

- a elaboração de modelos intermediários que abordaram a formalização de conceitos do PMBOK, a integração do PMBOK com o RUP e as lacunas identificadas;
- o desenvolvimento de um modelo de referência para reconfiguração dinâmica de projetos de desenvolvimento de software;
- a identificação de eventos que causam perturbações nos cronogramas e alocações dos projetos;
- o mecanismo de seleção de recursos que suporta informações difusas e a implementação do modelo MRES em um protótipo (trabalho que recebeu o prêmio de 1º lugar na Sessão de Ferramentas do SBES 2009);
- a implementação do modelo de reconfiguração, com suporte a ambientes multiprojetos e a cenários de simulação;
- a arquitetura de software do modelo e, em especial, a preocupação com o seu aprimoramento (via *hot-spots*), sem causar impacto na sua estrutura fundamental; destacam-se, aqui, a possibilidade de se acrescentar novos *solvers* (inclusive dinamicamente), com sua execução concorrente (e também independente, via *threads*), bem como a facilidade de se substituir o mecanismo de avaliação de propostas a qualquer momento;
- a estratégia desenvolvida para ajuste do planejamento dos projetos (realocação de recursos e adaptação dos tempos das tarefas);
- a avaliação do modelo com cenários de situações-problema típicas;
- as publicações derivadas deste trabalho, sendo oito em congressos internacionais e nacionais, duas publicações internas e outras três atualmente em andamento: um artigo intitulado “*Towards a Decision support framework for Dynamic Reconfiguration of Software Projects*” de autoria conjunta com a mestranda [SCH10] e dois artigos para periódicos internacionais.

Podem ser comentadas, ainda, ações realizadas dentro do programa de pós-graduação da universidade:

- a contribuição com duas dissertações de mestrado em áreas correlatas [ROS08b] [SCH10] e sobre os respectivos protótipos desenvolvidos;
- a oportunidade dada a dois bolsistas de iniciação científica de trabalharem em um ambiente de pós-graduação.

É importante observar que o objetivo do trabalho não envolveu o desenvolvimento de uma solução “ótima”, mesmo porque se trata de um problema da classe NP-Completo [YU04]. Buscou-se, senão, um modelo capaz de representar os eventos e as ações correspondentes identificadas

como importantes para a solução, bem como fornecer possibilidades de solução para os casos tratados.

Devido à natureza do problema, podem ocorrer situações que não apresentam uma resposta de realocação justamente porque ela é impossível. Isso tipicamente ocorre quando há insuficiência de recursos frente à demanda (momento no qual são instanciados os fluxos organizacionais), ou porque não se geraram combinações de propostas que cobrissem todas as tarefas pendentes, o que é uma característica de muitas soluções heurísticas. Algumas dessas situações foram demonstradas por meio de simulações, servindo como prova de conceito para o modelo.

Finalmente, conforme já antecipava [ABD91], cenários de conseqüências não planejadas e disfuncionais causadas por sucessivas intervenções não são exclusivas dos projetos de software. Sistemas compostos de partes muito dependentes entre si são tão complexos que se torna difícil entender as intrincadas interdependências que apresentam. Para auxiliar no avanço da investigação na área, sugerem-se algumas alternativas de continuidade ao trabalho.

## 8.1 Indicação de trabalhos futuros

Durante a elaboração desta tese, algumas idéias adicionais foram identificadas e são aqui indicadas como sugestão para trabalhos futuros:

- aprimorar o protótipo na forma de um produto e elaborar um guia de uso do modelo, que incorporaria uma lógica própria de condução de projetos sob as premissas identificadas; isso envolveria resolver algumas das limitações anteriormente citadas;
- seria também interessante continuar o estudo para aprimorar a fórmula que calcula os valores das propostas; através de simulações pode-se coletar dados sobre a influência de cada elemento sobre a composição do valor final da proposta; a própria área de dinâmica de sistemas parece ser um interessante caminho para essa questão;
- acrescentar uma medida de ganho para os recursos; até o momento, a decisão é baseada somente no custo, então pode-se pensar em acrescentar um ganho para os recursos: por exemplo, a contribuição de cada recurso com o projeto poderia render algum tipo de pontuação para o recurso; daí pode-se pensar em ter uma função-objetivo para maximizar essa pontuação individualmente para cada recurso;
- adicionar uma informação de grupo para tarefas para ajudar na determinação de tarefas similares, conforme previsto nos modelos intermediários; isso ajudaria na avaliação da experiência prévia dos recursos;
- explorar a influência do grau de acoplamento entre os componentes do projeto sobre a alocação dos recursos, conforme sugerido em [PAD04];
- elaborar jogos organizacionais de planejamento para extrair informações e comparar com as respostas do modelo;

- explorar melhor as diferenças de estratégia para projetos de diferentes tamanhos, com processos de desenvolvimento diferentes conforme sugerido há mais tempo por [TUR97] e reforçado mais recentemente em [LEE04a];
- complementar o estudo de fluxos organizacionais; uma pesquisa de doutorado relacionada ao tema desta tese está sendo iniciada no momento;
- permitir variar o tempo da tarefa na proposta (para tarefas baseadas em esforço); assim, um recurso com mais capacidade poderia propor realizar o trabalho em menos tempo;
- por fim, criar um mecanismo de “posições de trabalho dinâmicas” para variar o número de posições disponíveis conforme segue: se uma tarefa foi planejada para duas pessoas, mas houver somente uma pessoa disponível, deve-se verificar:
  - se for baseada em esforço e as pessoas tiverem o mesmo perfil, talvez se possa aceitar uma só pessoa, mas aumentando o prazo;
  - se não for baseada em esforço (tipicamente com perfis complementares), marcar como comprometida e reconfigurar.

Espera-se que essas idéias possam servir como ponto de partida para novas investigações sobre o tema.