



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

LEANDRO LEOCÁDIO COELHO DE SOUZA

**SUPORTE AO PROCESSO DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE PROJETOS
DE SOFTWARE – UMA ABORDAGEM INTELIGENTE COM BASE NA TEORIA
DO VALOR AGREGADO**

**FORTALEZA – CEARÁ
2013**

LEANDRO LEOCÁDIO COELHO DE SOUZA

**SUPORTE AO PROCESSO DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE PROJETOS
DE SOFTWARE – UMA ABORDAGEM INTELIGENTE COM BASE NA TEORIA
DO VALOR AGREGADO**

Dissertação submetida à Comissão Examinadora do Programa de Pós-Graduação Acadêmica em Ciência da Computação da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientação:

Professora Dra. Mariela Inés Cortés.

Professor Dr. Gustavo Augusto Lima de Campos.

**FORTALEZA - CEARÁ
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Estadual do Ceará
Biblioteca Central Prof. Antônio Martins Filho
Bibliotecário (a) Leila Cavalcante Sátiro – CRB-3 / 544

S729s Souza, Leandro Leocádio Coelho de.
Suporte ao processo de monitoramento e controle de projetos de software – Uma abordagem inteligente com base na teoria do valor agregado/Leandro Leocádio Coelho de Souza.— 2013.
CD-ROM 86f. : il. (algumas color.) ; 4 ¾ pol.

“CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico, acondicionado em caixa de DVD Slin (19 x 14 cm x 7 mm)”.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Mestrado Acadêmico em Ciências da Computação, Fortaleza, 2013.

Área de Concentração: Computação.
Orientação: Prof^a. Dr^a. Mariela Inês Cortés.
Co-orientação: Prof. Dr. Gustavo Augusto Lima de Campos.

1. Gerência de projetos. 2. Agentes de software. 3. Valor agregado. 4. Caminho crítico. 5. Controle. 7. Monitoramento. 8. PMBok. I. Título.

CDD: 001.6

LEANDRO LEOCÁDIO COELHO DE SOUZA

**SUPORTE AO MONITORAMENTO E CONTROLE DE PROCESSOS DE
SOFTWARE – UMA ABORDAGEM INTELIGENTE COM BASE NA TEORIA DO
VALOR AGREGADO**

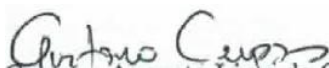
Dissertação submetida à Comissão Examinadora do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovada em 20/09/2013.

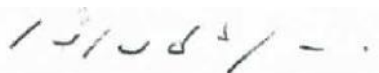
BANCA EXAMINADORA



Professora Dra. Mariela Inés Cortés (Orientadora)
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Professor Dr. Gustavo Augusto Lima de Campos (Orientador)
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Professor Ph.D. Jerffeson Teixeira de Souza
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Professor Dr. Adriano Albuquerque
Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Dedico este trabalho aos meus pais, José Almir e Terezinha, aos meus irmãos, Leonardo e Gustavo por serem meus maiores exemplos e incentivadores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde, disposição, e por sempre se fazer presente em minha vida.

Aos meus pais José Almir e Terezinha, e aos meus irmãos Leonardo e Gustavo, pela paciência e apoio a cada minuto dessa jornada. Vocês são meu suporte e inspiradores.

A Emanuella Feitosa, presente em todos os momentos desta e de tantas outras caminhadas. Saiba que seu apoio e paciência foi importante para alcançar este objetivo.

A minha orientadora Prof^a Mariela Cortés, pelas suas intervenções sempre precisas e objetivas durante as orientações, pelas oportunidades e paciência. Muito obrigado por estar sempre presente durante esta jornada.

Ao meu orientador Prof^o Gustavo Campos, pelo incentivo, atenção e apoio durante a realização desta pesquisa. Muito obrigado pelos momentos de descontração.

Ao meu colega de mestrado Emmanuel Sávio, agradeço pela contribuição e momentos de dedicação aos artigos publicados e pela disponibilidade em tirar dúvidas.

A todos os meus colegas do grupo de pesquisa GESSI e do LAPAQ, Robert, Enyo, Igor, Robson e, em especial, a Anderson Couto, pela dedicação e disposição no desenvolvimento da abordagem que envolve esta pesquisa. Muito Obrigado!

Aos meus amigos, Thiago, Lucas, André, Hítalo e, em especial, ao Hellanio pela assistência e parceria durante toda essa jornada. Obrigado por fazerem parte da minha vida.

A todos os funcionários e professores que fazem parte do Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação da UECE, pelo suporte dado durante o mestrado, principalmente ao Marcos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro parcial.

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto.”

Albert Einstein

RESUMO

Na busca pela melhoria contínua dos processos aliado ao cumprimento de prazos e orçamentos, gerentes de projetos de software necessitam cada vez mais de sofisticados métodos e ferramentas para auxiliar no planejamento, monitoramento e controle de projetos de software. Mais especificamente, é necessário realizar um acompanhamento mais efetivo das atividades de projeto, uma vez que ações corretivas e preventivas devem ser tomadas de forma a manter a execução das atividades do projeto sob controle.

O objetivo deste trabalho é elaborar uma abordagem baseada em agentes inteligentes, na técnica do Gerenciamento do Valor Agregado (GVA) e Método do Caminho Crítico (CPM), de forma a auxiliar em tempo real e proativamente na medição e na avaliação do desempenho e do progresso do projeto (monitoramento contínuo) e, quando necessário, propor ações de forma a manter o plano de atividades dentro de limites de variação aceitáveis (controle). Esta abordagem visa auxiliar os gerentes de projeto na tomada de decisão com base nas ações propostas, à medida que desvios relacionados a custo e tempo são detectados. Essas decisões, de uma maneira geral, poderão influenciar a realização de um replanejamento do projeto dependendo dos desvios detectados relacionados ao escopo, cronograma e orçamento. Essa abordagem tem como base os processos de monitoramento e controle do *Project Management Body of Knowledge* (PMBok).

Palavras-Chave: Gerência de Projetos; Agentes de Software; Valor Agregado, Caminho Crítico; Controle; Monitoramento; PMBoK.

ABSTRACT

In the quest for continuous improvement of processes allied to meeting deadlines and budgets, project managers increasingly need software to sophisticated methods and tools for planning, monitoring and project control software. More specifically, it is necessary to perform a more effective of project activities, as corrective and preventive actions should be taken simultaneously in order to keep the implementation of project activities under control.

The objective of this work is to propose an approach based on intelligent agents, Technical Management Value Added (GVA) and Critical Path Method (CPM) in order to assist in real time and proactively in measuring and evaluating the performance and progress of the project (continuous monitoring) and, where necessary, to propose actions to maintain the activity plan within acceptable limits of variation (control). This approach aims to assist project managers in decision-making based on the proposed actions, as deviations related to cost and time are detected. These decisions, in a general way, may influence the performance of a replanning project depending on the discrepancies related to scope, schedule and budget. This approach is based on the processes of monitoring and controlling the Project Management Body of Knowledge (PMBOK).

Keywords: Management Project; Software Agents; Earned Value; Critical Path; Control; Monitoring; PMBoK.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grupo de processos de monitoramento e controle [PMBoK, 2009].	17
Figura 2. Agente com seus sensores e atuadores interagindo com o ambiente [RUSSEL; NORVIG, 2004].	21
Figura 3. Arquitetura genérica dos agentes. Adaptado de [RUSSEL; NORVIG, 2004].	23
Figura 4. Monitorar e Controlar o trabalho do projeto: entradas, ferramentas e saídas [PMBoK, 2009].	32
Figura 5. Realizar o controle integrado de mudanças: entradas, ferramentas e saídas [PMBoK, 2009].	34
Figura 6. Relação entre os agentes envolvidos e o gerente de projeto.	39
Figura 7. Diagrama de Atividades.	42
Figura 8. Arquitetura do agente AMon. Adaptado de [RUSSEL; NORVIG, 2004].	44
Figura 9. Esqueleto do programa Agente AMon.	45
Figura 10. Arquitetura do agente ACon. Adaptado de [RUSSEL; NORVIG, 2004].	47
Figura 11. Esqueleto do programa Agente ACon.	50
Figura 12. Classe AgenteAMon.java.	65
Figura 13. Comportamento <i>simpleBehaviour</i> da classe AgenteAMon.java.	66
Figura 14. Comportamento <i>cyclicBehaviour</i> da classe AgenteAMon.java.	67
Figura 15. Classe AgenteACon.java.	67
Figura 16. Método <i>ver()</i> da classe AgenteACon.java.	68
Figura 17. Comportamento <i>cyclicBehaviour</i> da classe AgenteACon.java.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis do GVA com suas fórmulas, significados e finalidades [PMI Inc., 2005].	27
Tabela 2. Processos e áreas de conhecimento [PMBok, 2009].	29
Tabela 3. Relação entre o processo envolvido, os agentes e suas características.	41
Tabela 4. Tabela de cálculo de tempo de um plano de cronograma de projeto. Adaptado de [Ren et al., 2010].	42
Tabela 5. Valores dos recursos das atividades.	43
Tabela 6. Conjunto de regras condição-ação embutidas no AMon.	45
Tabela 7. Estado interno, Ações e Percepções do AMon.	48
Tabela 8. Estado interno do ACon.	49
Tabela 9. Subconjunto de 4 regras condição-ação embutidas no ACon.	50
Tabela 10. Ação 01 do agente ACon.	51
Tabela 11. Ação 02 do agente ACon.	52
Tabela 12. Ação 03 do agente ACon.	53
Tabela 13. Ação 04 do agente ACon.	54
Tabela 14. Subconjunto de 5 regras condição-ação embutidas no ACon.	55
Tabela 15. Ação 06 do agente ACon.	56
Tabela 16. Ação 07 do agente ACon.	57
Tabela 17. Cenários de Interação AMon/Ambiente.	70
Tabela 18. Saídas de <i>ver</i> , <i>próximo</i> e <i>ação</i> do AMon em seis interações no Cenário III para a atividade A.	71
Tabela 19. Saídas de <i>ver</i> , <i>próximo</i> e <i>ação</i> do AMon em seis interações no Cenário V para a atividade B.	72
Tabela 20. Informações enviadas por AMon e pelo Ambiente de execução para ACon.	73
Tabela 21. Estado Interno Agente ACon.	73
Tabela 22. Ações preventivas, corretivas e novas estimativas para a atividade A.	74
Tabela 23. Informações enviadas por AMon e pelo Ambiente de execução para ACon.	76
Tabela 24. Estado Interno Agente ACon.	76
Tabela 25. Ações preventivas, corretivas e novas estimativas para a atividade B.	77
Tabela 26. Ações corretivas e novas estimativas.	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACon	Agente de Controle
AMon	Agente de Monitoramento
COCOMO	<i>Constructive Cost Model</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i>
CR	Custo Real
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
EPT	Estimativa Para Terminar
ET	Estimativa no Término
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i>
GVA	Gerenciamento do Valor Agregado
IDC	Índice de Desempenho de Custo
IDP	Índice de Desempenho de Prazo
IDPT	Índice de Desempenho Para Terminar
JADE	<i>Java Agent DEvelopment Framework</i>
JESS	<i>Java Expert System Shell</i>
ONT	Orçamento No Término
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PPMC	<i>Parametric Project Monitoring and Control</i>
PC	Planejada Completa
RC	Real Completa
RH	Recursos Humanos
SPM	<i>Software Project Management</i>
SPMSA	<i>Software Project Management supported by Software Agents</i>
SPPA	<i>Software Project Planning Associate</i>
TVA	Técnica do Valor Agregado
VA	Valor Agregado
VAF	Variação Ao Final
VC	Variação de Custo
VDP	Variação De Prazo
VP	Valor Planejado

Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Motivação.....	15
1.2 Objetivos	19
1.3 Organização do Trabalho	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO.....	21
2.1 Agentes Inteligentes.....	21
2.1.1 Agentes reativos baseados em modelo (ou conhecimento)	23
2.2 Planejamento do Cronograma (Método do Caminho Crítico)	24
2.3 Gerenciamento do Valor Agregado.....	26
2.4 Gerenciamento de Projetos, Processos de Gerenciamento e Áreas do Conhecimento	28
2.4.1 Processos de Monitoramento e Controle de Projetos.....	30
2.4.2 Monitorar e Controlar o Trabalho do Projeto.....	31
2.4.3 Realizar o Controle Integrado de Mudanças	33
3 TRABALHOS RELACIONADOS.....	35
3.1 <i>Software Project Planning Associate (SPPA)</i>	35
3.2 <i>Software Project Management supported by Software Agents (SPMSA)</i>	36
3.3 <i>Parametric Project Monitoring and Control (PPMC)</i>	37
4 ABORDAGEM I: O AMBIENTE E O AGENTE DE MONITORAMENTO AMon	39
4.1 Esboço da Abordagem.....	39
4.2 Configuração do Ambiente de execução dos agentes	41
4.3 Agente de Monitoramento (AMon)	43
5 ABORDAGEM II: O AGENTE DE CONTROLE ACon.....	47
5.1 Organização e Funcionamento do Agente ACon.....	47
5.2 Ações de Controle	58
5.2.1 Compressão (Hora-extra)	59
5.2.2 Paralelização	60
5.2.3 Compensação de orçamento em cronograma.....	61
5.2.4 Compensação de custo entre atividades	62
5.2.5 Compensação de tempo entre atividades	63
6 AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM	64
6.1 Plataforma de Experimentação	64
6.2 Funcionamento do Agente AMon	69

6.3 Funcionamento do Agente ACon Controlando Atividades Separadas.....	72
6.4 Funcionamento do Agente ACon Controlando Atividades em Conjunto	78
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
7.1 Contribuições da Pesquisa	81
7.2 Considerações sobre a Avaliação da Abordagem	81
7.3 Limitações e sugestões para trabalhos futuros.....	82
REFERÊNCIAS.....	84
ANEXO A.....	87

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a motivação do trabalho. Em seguida, o objetivo do trabalho é abordado considerando o problema identificado e a solução proposta. Por último, são descritos os capítulos que compõem o trabalho.

1.1 Motivação

Com a integração econômica global, a indústria de software tem se tornado complexa devido à necessidade de conhecimento e informações precisas ligadas à condução do projeto. Essas informações devem ser objetivas e confiáveis por se tratar, principalmente de fatores relacionados ao tempo, custo e qualidade do projeto [KEDI; HONGPING, 2010].

Segundo o Chaos Report do Standish Group, em 2008, apenas 32% dos projetos mundiais obtiveram sucesso total em seus resultados, 44% apenas sucesso parcial e 24% fracassaram, onde problemas comumente detectados estão relacionados a excessos no custo e tempo planejados [EVELEENS; VERHOEF, 2010]. A partir destas constatações, a disciplina de gerenciamento de projetos vem sendo cada vez mais aceita, no intuito de influenciar positivamente no sucesso dos projetos a partir da aplicação de conhecimentos, processos, habilidades, ferramentas e técnicas adequadas [PMBOK, 2009].

Os processos de gerenciamento de projetos de software possuem certas dificuldades e obstáculos nas suas execuções. Entre essas dificuldades podem-se destacar:

- A complexidade é aumentada na medida em que projetos de software incluem não só o desenvolvimento, mas também a implementação e manutenção de um sistema que pode ser distribuído e com interfaces de muitos outros sistemas existentes [NIENABER, 2008];
- A conformidade com o software, já que seu desenvolvimento envolve uma variedade de recursos que deve estar de acordo com os seres humanos e organizações [NIENABER; BERNARD, 2007]; e
- A dificuldade relacionada à flexibilidade, pois sistemas de software são obrigados a obedecer às normas da organização, deixando-o sujeito a um elevado grau de mudanças [GARCIA, 2009].

Outro ponto importante é a possibilidade de perdas e certos tipos de problemas causados pela ausência de uma metodologia de gerenciamento adotada para monitorar e controlar o trabalho do projeto. Algumas dessas tarefas consistem na (i) verificação de

resultados de desempenho e comparações com as estimativas de documentadas, compromissos e planos, e (ii) em gerenciar ações corretivas quando o desempenho do projeto se desvia significativamente do plano [WANGENHEIM, 2012]. A realização destas tarefas envolve um conjunto de processos [PMBOK, 2009] cuja execução é fundamental para que os objetivos do projeto sejam alcançados, os quais demandam um grande volume de informações, constantemente atualizadas. Em virtude disso, gerentes de projetos necessitam cada vez mais de recursos que os auxiliem no acompanhamento dos trabalhos de projeto, bem como na tomada de decisões.

Segundo [O'CONNOR; JENKINS, 1999], para apoiar os gerentes de projeto, as organizações têm procurado desenvolver ferramentas de suporte abordando vários aspectos da gestão de seus projetos de software. Atualmente, existem no mercado várias ferramentas de auxílio para a solução de problemas, no entanto, a maioria destes sistemas está aquém no aspecto de apoio aos gerentes em seus processos decisórios e não oferecem alternativas concretas para a resolução de problemas relacionados às áreas-chave do projeto: escopo, custo e tempo.

A existência de métodos e técnicas de auxílio ao gerenciamento de projetos vêm se tornando cada vez mais necessária, principalmente para o gerenciamento dos processos de integração, onde aspectos relativos às diversas áreas de projeto envolvidas, se relacionam de forma complexa em ambientes dinâmicos e em constante mudança. No caso de apoio aos processos de monitoramento, algumas funcionalidades desejáveis são: (i) emitir mensagens de alerta a gerentes de projetos sobre desvios negativos e/ou positivos; (ii) gerar estimativas ou tendências de desempenho no caso de mudanças aprovadas e desvios; (iii) propor ações de controle (corretivas e preventivas) baseado na análise do trabalho planejado e realizado; e (iv) realizar um replanejamento quando a “saúde” do projeto estiver comprometida.

O Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBoK) vem sendo aplicado amplamente no gerenciamento de projetos de software [PMBOK, 2009]. A estrutura do guia compreende 44 processos organizados em várias áreas do conhecimento, entre elas: Escopo, Custo, Tempo e Integração; e 5 grupos de processos: Iniciação, Planejamento, Monitoramento e Controle, Execução e Finalização.

A importância da execução dos processos de monitoramento e controle sobre as peculiaridades do projeto pode ser visto na Figura 1. Nela, é apresentada a interação entre os processos de monitoramento e controle com todos os outros grupos de processos que antecedem a entrega do produto.

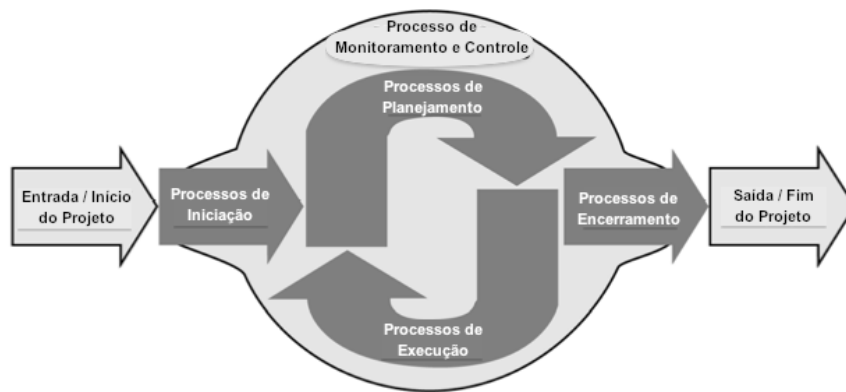


Figura 1. Grupo de processos de monitoramento e controle [PMBoK, 2009].

Como pode ser observado na Figura 1, os processos de monitoramento e controle interagem com todos os outros grupos de processos desde a fase inicial até a fase final do projeto. Neste contexto, os grupos de processos necessários e os processos que os constituem são guias para a aplicação de conhecimentos e habilidades de gerenciamento apropriados durante a execução do projeto.

Os métodos e técnicas de auxílio ao gerenciamento consistem de artifícios para enfrentar as dificuldades que envolvem os projetos, entre elas, o comprometimento em relação a prazos, orçamentos e qualidade. Esses aspectos se tornam difíceis de monitorar e controlar devido a constantes mudanças e dinamismo dos ambientes de desenvolvimento de software.

Apesar da evolução dos métodos e técnicas de construção e gerência de sistemas baseados em computador, um dos problemas mais comuns ainda nos dias de hoje é entregar software de qualidade no prazo e dentro do orçamento [PRESSMAN, 2009]. A ausência de um método de gerenciamento que auxilie no monitoramento e controle pode tornar o projeto imprevisível e difícil de controlar devido à ocorrência de eventuais fatores relacionados ao não cumprimento de prazos e orçamentos previstos, e ainda a possibilidade do projeto não atender às expectativas do cliente em termos de funcionalidade e qualidade. Neste cenário, os processos responsáveis pelo monitoramento e controle da execução do projeto se tornam [PMBoK, 2009] fundamentais para o atendimento às restrições do projeto (escopo, custo e tempo).

Para o gerenciamento dos trabalhos do projeto, o guia PMBoK sugere algumas técnicas e métodos para monitorar e controlar as atividades do projeto, são elas: a Técnica do Valor Agregado (TVA) e o Método do Caminho Crítico (CPM). A TVA, com destaque para este trabalho, é utilizada para monitorar e controlar o desempenho das atividades do projeto, integrando na sua formulação, as medidas de escopo, custo e tempo. Essas medidas

produzem, dentre outros, os índices de variação de prazos (VDP) e o índice de desempenho de custos (IDC). A TVA também permite calcular estimativas de esforço e duração do projeto. Para isso, gerentes de projeto devem obter dados históricos e reais do projeto.

O método do caminho crítico (CPM) trabalha sobre três fatores essenciais para o planejamento e controle do projeto: prazo, custo e qualidade. Este método é utilizado para determinar o caminho de um projeto através da determinação de datas de início e término mais cedo e de início e término mais tarde de cada atividade existente. Além de datas, o CPM permite determinar as folgas livre e total de cada atividade. A folga livre é o tempo que uma atividade pode atrasar sem que haja impacto na atividade sucessora, a folga total é o tempo que a atividade pode atrasar sem que haja impacto no término do projeto [PARTOVI; BURTON, 1993]. Esse caminho é considerado crítico quando é composto por um conjunto de atividades vinculadas entre si que não possuem margem de atraso.

Considerando a técnica e o método apresentado, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de dois agentes inteligentes, os quais interagem entre si e com o gerente de projeto para auxiliar no gerenciamento do projeto. Esses agentes seguem a estrutura dos agentes reativos simples baseado em modelo, como é definido por [RUSSEL; NORVIG, 2004]. Eles ainda possuem em sua arquitetura, um conjunto de regras condição-ação que permite agirem no ambiente de acordo com os estados que percebem. Interno a estrutura desse agentes, agregam características como cooperação e interação, como é o caso do Agente de Monitoramento (AMon) e capacidade de resolução de problemas, característica fundamental do Agente de Controle (ACon). Diferentemente das abordagens propostas na literatura, os agentes desenvolvidos neste trabalho promovem um gerenciamento preventivo com base no cálculo de estimativas futuras considerando o desempenho atual dos trabalhos, auxiliando gerentes de projetos em processos decisórios. Esse tipo de comportamento torna o monitoramento e o controle mais eficiente, uma vez que desvios são detectados em tempo real considerando as atividades em execução do projeto. Isso só é possível porque os agentes contém em suas estruturas técnicas e métodos de monitoramento e controle sugeridas pelo PMBoK: a Técnica do Valor Agregado [PMI Inc., 2005] e o Método do Caminho Crítico [PARTOVI; BURTON, 1993].

1.2 Objetivos

O presente trabalho propõe uma abordagem para apoiar gerentes de projeto no monitoramento e controle dos processos de software, com foco no escopo, custo e tempo. Neste contexto, é proposto um sistema baseado em agentes inteligentes os quais incorporam a teoria do Gerenciamento do Valor Agregado (GVA) e o Método do Caminho Crítico (CPM). A partir dos indicadores e projeções gerados com base no desempenho do trabalho realizado durante a execução do projeto, o sistema objetiva alertar os gerentes de projeto sobre desvios (negativos ou positivos), auxiliar na tomada de decisão e no replanejamento das atividades do projeto.

Como objetivos mais específicos do presente trabalho podemos citar:

- Definição do fluxo de monitoramento;
- Definição do fluxo de controle;
- Definição da arquitetura dos agentes de forma a dar suporte aos fluxos de monitoramento e controle definidos;
- Implementação de um protótipo que ilustre a abordagem proposta; e
- Avaliação da abordagem por meio de uma experiência de uso baseado em simulações.

1.3 Organização do Trabalho

O conteúdo deste trabalho é apresentado ao longo de sete capítulos, incluindo a presente introdução, os quais são descritos a seguir.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: Discorre sobre os conceitos relacionados com agentes inteligentes, especialmente os reativos baseados em conhecimento ou modelo. Adicionalmente, são apresentados o planejamento do cronograma (Método do Caminho Crítico), a técnica do gerenciamento do valor agregado e conceitos sobre gerência de projeto, processos de gerenciamento e áreas do conhecimento.

Capítulo 3 – Trabalhos Relacionados: Apresenta uma revisão bibliográfica acerca de metodologias, abordagens e métodos utilizados nas diversas maneiras de realizar monitoramento e controle de projetos, com destaque para as limitações, vantagens e desvantagens desses trabalhos.

Capítulo 4 – Abordagem I: O Ambiente e o Agente de Monitoramento AMon: Este capítulo descreve em detalhes o esboço da abordagem proposta, a

configuração do ambiente de execução dos agentes e por último, apresenta o agente de monitoramento com sua arquitetura interna e especificações.

Capítulo 5 – Abordagem II: O agente de controle ACon: Este capítulo apresenta a organização e o funcionamento do agente de controle ACon. A seguir, as ações de controle são abordadas individualmente e em detalhes.

Capítulo 6 – Avaliação da Abordagem: É neste capítulo que ocorrem às simulações que contemplam o estudo de caso deste trabalho. É apresentado ainda, a plataforma de experimentação, o funcionamento do agente AMon com base nas simulações realizadas e o funcionamento do agente ACon controlando atividades separadas e em conjunto.

Capítulo 7 – Considerações finais: Relaciona as principais contribuições desta pesquisa, assim como as considerações sobre a avaliação da abordagem. Apresenta também as limitações deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo fornece a fundamentação teórica sobre os conceitos relacionados ao escopo deste trabalho. Inicialmente, o conceito de agentes inteligentes é abordado. Em seguida, o planejamento do cronograma e o Método do Caminho Crítico são descritos. A técnica do Valor Agregado e suas principais definições são abordadas logo em seguida. Por último, são apresentados os fundamentos da disciplina de Gerência de Projetos, mais especificamente, os processos de monitoramento e controle.

2.1 Agentes Inteligentes

Um agente inteligente é uma entidade autônoma que percebe seu ambiente através de sensores e age sobre o mesmo utilizando atuadores [RUSSEL; NORVIG, 2004]. No contexto da disciplina de Inteligência Artificial, um agente é considerado funcional quando é capaz de executar continuamente e adquirir experiência e conhecimentos acerca do ambiente que está interagindo. Neste contexto, um agente deve ser capaz de aprender e tomar decisões a partir de situações diferentes [CASSILO, 2007].

A FIPA, *Foundation for Intelligent Physical Agents*, define agente como “uma entidade que reside em um ambiente, interpreta dados através de sensores os quais refletem eventos no ambiente e executam ações que modificam o ambiente. Um agente pode ser um software ou um hardware...” [FIPA, 2005]. De forma mais abrangente, agentes são componentes de software autônomos que atuam em determinado ambiente de forma a interagir com este e também com outros agentes [SILVA, 2003].

A autonomia em agentes implica na habilidade de executar sua tarefa por iniciativa própria, sem supervisão ou controle externo. Detém controle sobre suas ações e estado interno [GONÇALVES, 2009]. A Figura 2 representa esquematicamente a interação entre o agente e seu ambiente.

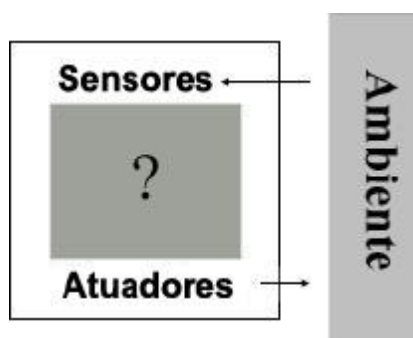


Figura 2. Agente com seus sensores e atuadores interagindo com o ambiente [RUSSEL; NORVIG, 2004].

A partir da percepção do seu ambiente, os agentes respondem em tempo hábil às mudanças que nele acontecem. Adicionalmente, os agentes alcançam seus objetivos de projeto através do monitoramento proativo e periódico do seu ambiente. Outros atributos em agentes incluem: comportamento colaborativo, capacidade de inferência, continuidade temporal, adaptabilidade, mobilidade, entre outros. Estas propriedades nos agentes possibilitam a geração de soluções para a crescente complexidade dos sistemas de computação que geralmente devem operar em ambientes não previsíveis, abertos e que mudam rapidamente [JENNINGS, 2000].

BRADSHAW (1997) definiu um conjunto de atributos ou propriedades dos agentes que permite informar os diversos aspectos do seu funcionamento:

- **Autonomia:** a capacidade de executar suas próprias tarefas e alcançar seus próprios objetivos sem a influência do ser humano;
- **Comportamento colaborativo:** a capacidade de trabalhar em conjunto com outros agentes (por meio da cooperação, negociação, coordenação e delegação de tarefas) para atingir um objetivo comum, ou seja, o objetivo do sistema no qual eles estão interagindo;
- **Reatividade:** a capacidade de perceber os eventos em tempo real e agir em consequência;
- **Comunicabilidade:** a capacidade de se comunicar com os humanos, outros agentes, sistemas legados, e fontes de informação;
- **Personalidade:** a capacidade de manifestar os atributos críveis como as emoções;
- **Adaptabilidade:** a capacidade de aprender e evoluir com base em suas experiências, as experiências de outros agentes e as mudanças do local de acolhimento; e
- **Mobilidade:** a capacidade de se mover de um lugar hospedeiro para outro.

Os agentes podem ser classificados, segundo [RUSSEL; NORVIG, 2004], de acordo com a maneira através da qual coletam informações e agem no ambiente. Mais especificamente, essa classificação representa a arquitetura dos agentes e são conhecidas como: (i) agentes reativos simples, (ii) agentes reativos baseados em modelo (ou conhecimento), (iii) agentes baseados em objetivo e (iv) agentes baseados em utilidade. Cada uma dessas arquiteturas contém internamente, uma função específica, que determina as ações do agente.

2.1.1 Agentes reativos baseados em modelo (ou conhecimento)

As arquiteturas internas de um agente são basicamente determinadas a partir de dois princípios: reativo e cognitivo. O reativo apenas responde às mudanças que ocorrem em seu ambiente [WEISS, 1999], enquanto o cognitivo ou proativo pode tomar decisões sobre suas ações, definir sequências de ações e adquirir conhecimento através das situações em que se encontra [RUSSEL; NORVIG, 2004].

Segundo Russel e Norvig (2004), um agente reativo simples seleciona uma ação com base na atual percepção sem registrar o histórico de ações anteriores. Adicionalmente, eles respondem continuamente às mudanças de seu ambiente. Um agente cognitivo ou proativo é mais complexo, com mecanismos de tomada de decisões avançados, interações sofisticadas e com um objetivo claramente estabelecido.

Dentre os agentes reativos, os baseados em modelos possuem uma arquitetura adequada às situações em que o ambiente de execução, no qual estão inseridos, é observável, porém a geografia desse ambiente é desconhecida [WEISS 1999]. Esses agentes sabem (i) o estado atual do ambiente no qual estão inseridos (propriedades relevantes presentes em sua estrutura); (ii) como o ambiente evolui (regras internas); (iii) como identificar estados desejáveis desse ambiente (objetivos); e (iv) como avaliar os resultados das ações sobre este ambiente.

Em uma abordagem mais específica, Russel e Norvig (2004) definem a arquitetura padrão de um agente reativo como apresentado na Figura 3, cujo funcionamento envolve cinco passos:

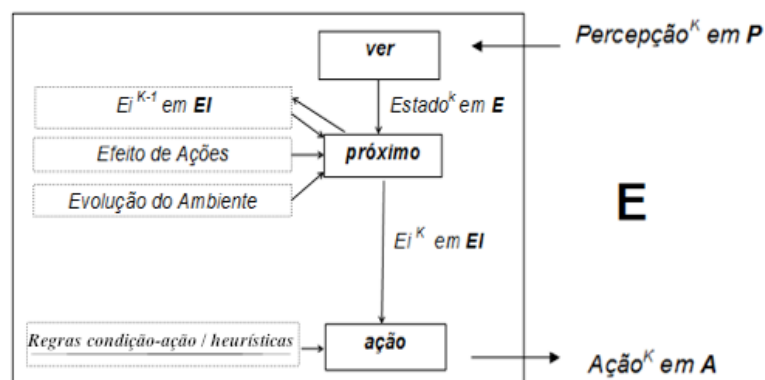


Figura 3. Arquitetura genérica dos agentes. Adaptado de [RUSSEL; NORVIG, 2004].

- 1-) por meio de sensores, o agente recebe informações do ambiente que são sequências de percepções definidas em um conjunto, $\mathbf{P} = \{p_1, \dots, p_k\}$, de k percepções possíveis para o ambiente $\mathbf{E}$;

- 2-) um subsistema de percepção, **Ver: $P \rightarrow E$** , processa cada percepção de uma sequência P^* e mapeia em uma de n estados, $E = \{e_1, \dots, e_n\}$, que são representações de aspectos das percepções de P que estão acessíveis ao agente;
- 3-) um subsistema de atualização de um estado interno, **Próximo: $EI \times E \rightarrow EI$** , empregando informações sobre o ambiente de tarefa do agente, mapeia um dos m estados internos possíveis para o agente, $EI = \{EI_1, \dots, EI_m\}$, e as representações em E em um novo estado interno;
- 4-) um subsistema de tomada de decisão, **Ação: $EI \rightarrow A$** , processa a informação sobre estado interno e, considerando um conjunto de regras condição-ação, seleciona uma de y ações do conjunto de ações possíveis para o agente, $A = \{a_1, \dots, a_y\}$;
- 5-) por meio de atuadores, o agente envia a ação selecionada para o ambiente.

No agente reativo, Russel e Norvig (2004) incorporam um conjunto de regras condição-ação no subsistema de tomada de decisão (Ação). Essas regras são conjuntos de ações pré-definidas e computadas para diversas situações previstas, simplificando o mapeamento percepção-ação. Os agentes reativos são mais adequados a subproblemas que exigem respostas rápidas. Quando agem em conjunto, esses agentes podem atingir bons resultados devido a sua característica de agir adequadamente sobre as situações que percebem.

2.2 Planejamento do Cronograma (Método do Caminho Crítico)

Um dos métodos mais proeminentes usados em planejamento de projetos é o Método do Caminho Crítico (CPM). O processo de planejamento do cronograma e determinação do caminho crítico consiste das seguintes etapas: estabelecer uma relação de dependência entre as atividades, construção da rede de atividades, avaliação da duração das atividades, e por último os cálculos para determinar a duração (início e fim) de cada atividade. A partir daí é possível determinar o caminho crítico e consequentemente a duração do projeto [PARTOVI; BURTON, 1993].

O caminho crítico [PARTOVI; BURTON, 1993] é o caminho da rede de atividades interligadas onde o tempo mais longo é o tempo total operacional, ou seja, é o que determina a duração do projeto. Esse caminho é chamado de crítico porque ele define o tempo total para finalizar todas as operações do diagrama de rede de atividades.

Neste trabalho, o modelo genérico para o cálculo do caminho crítico e determinação da duração do projeto foi baseado no trabalho de [REN et al., 2010]. Ren

realizou o cálculo do caminho crítico através de quatro passos básicos: o gerenciamento do escopo do projeto, a definição das atividades, o sequenciamento das atividades e a estimativa da duração das atividades. Para estimar a duração das atividades, foi utilizado o *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) [WANG et al., 1989].

Algumas fórmulas foram utilizadas por Ren (2010) para calcular o tempo das atividades. A eq. 01, por exemplo, permite calcular o tempo estimado de uma atividade de acordo com as três situações de tempo da técnica PERT: tempo otimista, tempo mais provável e tempo pessimista.

$$t_i = (a_i + 4m_i + b) / 6 \quad (1)$$

Na eq. 01, a_i expressa o tempo otimista de uma atividade i , m_i expressa o tempo mais provável dessa atividade i e b_i expressa o tempo pessimista dessa atividade. Na eq. 02 é calculada a variação desse tempo estimado.

$$\sigma_i^2 = (b_i - a_i)^2 / 36 \quad (2)$$

Como apresentado no trabalho de Ren (2010), outros tempos das atividades do projeto devem ser calculados de acordo com as fórmulas a seguir:

t -> tempo de duração da atividade.

t_{ES} -> início cedo da atividade.

t_{EF} -> término cedo da atividade.

t_{LF} -> término tarde da atividade.

t_{LS} -> início tarde da atividade.

R -> Folga.

A duração do tempo (t) indica a duração de uma atividade, seja em horas, dias, semanas, etc. O início cedo de uma atividade (t_{ES}) é o tempo mais cedo que uma atividade pode iniciar. Esse tempo (t_{ES}) é expresso pela fórmula:

$$t_{ES} = \max_k \{ t_{EF}(k) \} \quad (3)$$

Na eq. 03, k é o número de tarefas de precedência.

O término cedo (t_{EF}) é calculado como o tempo de início cedo de uma atividade mais a duração dessa atividade. Esse tempo é dado pela fórmula:

$$t_{EF} = t_{ES} + t \quad (4)$$

O término tarde (t_{LF}) é o tempo mais tarde que uma atividade pode terminar. Esse tempo é expresso pela fórmula:

$$t_{LF} = \min_k \{ t_{LS}(k) \} \quad (5)$$

Na eq. 05, k é o número de atividades com atrasos.

O início tarde (t_{LS}) é calculado como o término tarde de uma atividade menos o seu tempo de duração. Esse tempo é expresso pela fórmula:

$$t_{LS} = t_{LF} - t \quad (6)$$

A folga de uma atividade, determinada por R , é o tempo livre para a realização de uma atividade que não afeta o tempo limite do projeto. Essa folga pode ser calculada das seguintes formas:

$$R = t_{LF} - t_{ES} - t \quad (7)$$

ou

$$R = t_{LF} - t_{EF} = t_{LS} - t_{ES} \quad (8)$$

De uma forma mais específica, as atividades que possuem folga igual a zero são chamadas de atividades críticas. Assim, o caminho crítico é definido pelo conjunto dessas atividades críticas que são interligadas por pontos de junção que dão sequência a execução do projeto. Esse caminho determina o tempo total do projeto.

2.3 Gerenciamento do Valor Agregado

O Gerenciamento do Valor Agregado (GVA), inserido na indústria por engenheiros de fábricas norte-americanas no início do Século XX, consiste de um método conhecido mundialmente para o monitoramento de custos e cronograma na gestão de projetos. Atualmente, o GVA é o método mais utilizado de avaliação de desempenho e análise da execução do cronograma e despesas geradas no gerenciamento da construção de projetos [CHANG et al., 2006].

A técnica do GVA compara as informações planejadas e realizadas de escopo, tempo e custo para medir o desempenho das atividades de projeto e, a partir dos indicadores obtidos, estabelecer uma tendência até seu término [PMI Inc., 2005]. O valor agregado requer das informações de uma linha de base integrada (planejamento atualizado e aprovado para todos os itens no projeto) a partir da qual o desempenho possa ser comparado durante o

desenvolvimento das atividades do projeto. Como gerentes de projetos se concentram mais em orçamento e cronograma, essa técnica permite uma visão simplificada do andamento e medição do projeto, de forma clara, precisa e detalhada.

A técnica do valor agregado integra medidas de escopo (o que o projeto irá produzir), custos (o quanto o projeto irá gastar) e tempo (o quanto o projeto irá durar). Essa integração ocorre à medida que informações: dependências entre atividades, recursos, esforços, durações e calendários, são aplicadas ao projeto e executadas no seu desenvolvimento. Dessa forma, é possível medir a quantidade de trabalho realizado em relação ao custo e data de conclusão previstos, de forma a estabelecer o quão bem o projeto está sendo realizado em relação ao seu plano inicial [FLEMING; KOPPELMAN, 2006].

As variáveis principais do GVA são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis do GVA com suas fórmulas, significados e finalidades [PMI Inc., 2005].

Nome	Fórmula	Significado/Finalidade
ONT – Orçamento no término	Representa o orçamento do projeto.	Quanto em dinheiro vai ser gasto no projeto. Informar ao financiador o valor total que ele está recebendo pelo projeto.
VP – Valor Planejado	$VP = ONT \times \% \text{ Planejado Completa}$	O que o cronograma diz que deveria ter sido gasto. Descobrir qual o valor que o plano diz que deveria ter sido entregue até agora.
VA – Valor Agregado	$VA = ONT \times \% \text{ Real Completa}$	Quanto do valor do projeto realmente foi recebido. O VA permite transformar a quantidade de trabalho que a equipe concluiu em valor de dinheiro.
CR – Custo Real	O que você realmente gastou no projeto	A quantia de dinheiro que foi gasto até a data atual.
IDP – Índice de Desempenho de Prazo	$IDP = VA / VP$	Se o projeto está atrás ou à frente no cronograma. Indica se está adiantado ou atrasado no cronograma. Usado para estimativas: $IDP > 1$ indica que está adiantado no cronograma. $IDP < 1$ indica que está atrasado no cronograma
VDP – Variação de Prazo	$VDP = VA - VP$	Quão à frente ou atrás o projeto está no cronograma. Isto dá um valor em reais sobre exatamente o quão à frente ou atrás do cronograma o projeto está. Se for > 0 está à frente, senão atrás.
IDC – Índice de Desempenho de Custo	$IDC = VA / CR$	Se o projeto está no orçamento ou não. Indica se está acima ($IDC < 1$) ou abaixo ($IDC > 1$) do orçamento. Usado para estimativas.
VC – Variação de Custo	$VC = VA - CR$	Quanto acima ou abaixo do orçamento o projeto se encontra. Indica a diferença entre o gasto planejado e o que realmente gastou. Se o VC for negativo indica que o financiador não está recebendo o dinheiro de volta.

O Orçamento No Término (ONT) informa a quantidade em dinheiro aprovado para desenvolver o projeto. O Valor Planejado (VP) é o somatório dos custos planejados das tarefas agendadas para ser realizadas em um determinado período. O VP informa quanto nós

pretendemos passar para o projeto e quanto trabalho deve ser concluído até certa data. O Valor Agregado (VA) é o custo originalmente orçado para realizar o trabalho que foi concluído, indicando a quantidade de trabalho que foi realmente concluído. O Custo Real (CR) são os gastos incorridos para realizar o trabalho até uma determinada data. O CR informa quanto foi realmente gasto para entregar o resultado. O VA é utilizado para refletir a situação corrente e determinar as tendências de desempenho em longo prazo através da integração das três dimensões do projeto: o escopo, o tempo e os custos do projeto.

Os indicadores mais importantes do *status* do projeto são: Variação de Custos ($VC = VA - CR$) e a Variação do Cronograma ($VDP = VA - VP$). Quando a VC é negativa, indica que um projeto ultrapassou seu orçamento planejado. Um resultado desfavorável de VDP ocorre quando os custos reais excedem o orçamento do trabalho que foi concluído.

Além disso, o GVA fornece também o prognóstico do projeto com base no desempenho em um determinado momento do progresso do projeto [LI et al., 2008]. Para isso, são utilizadas as variáveis de estimativas: Estimativa no Término ($ET = CR + ONT - VA$) e Estimativa Para Terminar ($EPT = ET - CR$). A ET estabelece uma previsão para o trabalho restante considerando o ritmo orçado. Já a EPT, permite informar quanto em dinheiro o restante do projeto irá custar.

De uma maneira geral, uma das características mais importantes do GVA é a capacidade de permitir as organizações estabelecerem níveis aceitáveis de desempenho para um projeto e suas tarefas de trabalho. As porcentagens como variância e índices de eficiência são as mais utilizadas, uma vez que permitem as organizações determinarem uma faixa aceitável de variações negativas e/ou positivas. Enquanto uma variação negativa é considerada potencialmente problemática, uma variação positiva pode representar uma oportunidade para o controle das tarefas de trabalho.

2.4 Gerência de Projetos, Processos de Gerenciamento e Áreas de Conhecimento

Segundo o PMBoK (2009), a Gerência de Projetos é a área que aplica conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto, a fim de alcançar seus objetivos. Essa disciplina é aplicada a ambientes de qualquer natureza, porte ou complexidade, formado por equipes multidisciplinares.

A Gerência de Projetos tem como objetivo atingir os objetivos em um certo prazo, com certo custo e qualidade, através da mobilização de recursos técnicos e humanos. Mas, para que isso aconteça, barreiras como o avanço tecnológico, a experiência acumulada e alguns fatores de mercado devem ser superados para se chegar ao produto/serviço desejado.

No PMBoK (2009), o gerenciamento de projetos envolve 5 grupos de processos: Iniciação, Planejamento, Execução, Monitoramento e Controle e Encerramento. Esses grupos são mapeados, de maneira específica, entre 9 áreas de conhecimento. Cada área lista seus processos de gerenciamento, e estes definem as entradas, as ferramentas e técnicas, e as saídas necessárias para se realizar o gerenciamento. A Tabela 2 apresenta a relação entre os grupos de processos e as áreas de conhecimento.

Tabela 2. Processos e áreas de conhecimento [PMBoK, 2009].

	Iniciação	Planejamento	Execução	Monitoramento e Controle	Encerramento
Integração	Desenvolver o termo de abertura do projeto.	Desenvolver o plano de gerenciamento do projeto.	Orientar e gerenciar a execução do projeto.	Monitorar e controlar o trabalho do projeto. Realizar o Controle integrado de mudança.	Encerrar o projeto ou fase.
Escopo		Coletar os requisitos. Definir o escopo. Criar a EAP (Estrutura Analítica do Projeto).		Verificar o escopo. Controlar o escopo.	
Tempo		Definir as atividades. Sequenciar as atividades. Estimar os recursos das atividades. Estimar a duração das atividades. Desenvolver o cronograma.		Controlar o cronograma.	
Custos		Estimar os custos. Determinar o orçamento.		Controlar os custos.	
Qualidade		Planejar a qualidade.	Realizar a garantia da qualidade.	Realizar o controle da qualidade.	
RH		Desenvolver o plano de RH (Recursos Humanos).	Mobilizar a equipe. Desenvolver a equipe. Gerenciar a equipe.		
Comunicação	Identificar as partes interessadas.	Planejar as comunicações.	Distribuir informações. Gerenciar as expectativas das partes interessadas.	Reportar o desempenho.	
Riscos		Planejar o gerenciamento dos riscos. Identificar os riscos. Realizar a análise qualitativa dos riscos. Realizar a análise quantitativa dos riscos. Planejar as respostas aos riscos.		Monitorar e controlar os riscos.	
Aquisição		Planejar as aquisições.	Realizar as aquisições.	Administrar as aquisições.	Encerrar as aquisições.

Os processos de monitoramento e controle, em destaque na Tabela 2, trata da prevenção e correção de desvios através do monitoramento da execução das atividades previstas no plano de projeto. Esse processo é apresentado com mais detalhe nas próximas Seções deste capítulo, auxiliando no entendimento da abordagem proposta.

2.4.1 Processos de Monitoramento e Controle de Projetos

Os processos de monitoramento e controle são responsáveis por acompanhar, revisar e regular o progresso e o desempenho do projeto, identificar todas as áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano de execução do projeto e recomendar a aplicação das mudanças [PMBok, 2009]. Objetivam observar e mensurar o desempenho do projeto de forma periódica e uniforme para identificar variações em relação aos objetivos traçados no plano de gerenciamento. O monitoramento e controle é realizado a partir do acompanhamento das áreas-chave: escopo, custo e tempo.

Durante todo o processo, o projeto é mantido sob controle a partir da determinação de ações corretivas, preventivas ou o replanejamento com o objetivo de resolver questões de desempenho em relação aos eventuais desvios detectados. Baseado nesse controle, somente as solicitações de mudanças aprovadas são incorporadas à linha de base revisada, o que pode requerer a elaboração de novas ou revisadas estimativas de custos e cronograma.

Os processos de monitoramento e controle incluem [PMBok, 2009]:

- Controlar as mudanças e recomendar ações preventivas antecipadamente;
- Monitorar as atividades do projeto em relação à linha de base de desempenho e seu plano de gerenciamento; e
- Influenciar os fatores que poderiam impedir o controle integrado de mudanças, para que somente as mudanças aprovadas sejam implementadas.

O monitoramento contínuo permite informar como anda a “saúde” do projeto, mais especificamente, identifica quaisquer áreas que requeiram atenção especial através de uma visão melhorada sobre o andamento do projeto. Atuando em várias fases do projeto, esse processo permite implantar ações corretivas e preventivas objetivando manter a conformidade com o plano de gerenciamento inicial. Essas ações, por exemplo, podem resultar em ajustes de pessoal atual, acerto de horas-extras, compensações entre os objetivos de orçamento e cronograma, entre outros.

Para este trabalho, iremos abordar dois processos do grupo de processos de monitoramento e controle: o Monitoramento e controle do trabalho do projeto e o Controle integrado de mudanças que são descritos, respectivamente, nas Seções 2.4.2 e 2.4.3.

2.4.2 Monitorar e Controlar o trabalho do projeto

Monitorar significa coletar, medir e distribuir informações de desempenho. A partir daí, avaliar as medições e tendências do projeto a fim de realizar melhorias no processo. O monitoramento consiste de um processo contínuo executado do início ao término do projeto. Esse processo informa ao gerente de projetos e sua equipe uma compreensão clara da realidade atual do projeto, identificando qualquer desvio que necessite de uma atenção especial [CRUZ, 2010].

Controlar o trabalho do projeto é determinar ações corretivas, preventivas, ou o replanejamento, com o objetivo de resolver qualquer problema relacionado ao desempenho. Entre as formas de ações corretivas destacam-se horas-extras, a paralelização de atividades, o corte de atividades e a compensação entre cronograma e orçamento.

Segundo o guia PMBoK (2009), a atividade de monitorar e controlar o trabalho de projeto inclui:

- Comparar desempenho real com o planejado;
- Avaliação de desempenho;
- Gerência dos riscos;
- Manutenção de bases de informações para alimentar os relatórios;
- Fornecimento de informações de suporte;
- Fornecimento de previsões; e
- Monitoramento da execução de mudanças aprovadas.

O monitoramento e controle é realizado através de entradas, ferramentas e saídas, que são responsáveis por determinar o fluxo dos dados para atingir os objetivos do projeto. A Figura 4 apresenta essas entradas, ferramentas e saídas de acordo com o fluxo do processo.

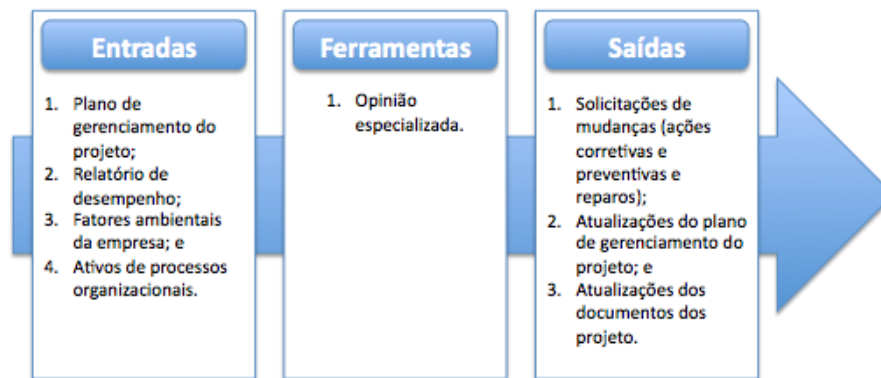


Figura 4. Monitorar e Controlar o trabalho do projeto: entradas, ferramentas e saídas [PMBok, 2009].

O Plano de Gerenciamento do Projeto tem por finalidade integrar e consolidar todos os planos de gerenciamento auxiliares e linhas de base dos processos de planejamento. Esse plano pode ser em nível resumido ou detalhado e pode ser composto de um ou mais planos auxiliares. Esses incluem: os planos de gerenciamento de escopo, cronograma, custos, qualidade, recursos humanos, comunicações, riscos e aquisições. As linhas de base consideradas envolvem: o cronograma, o desempenho de custos e do escopo.

O Relatório de Desempenho é outro item importante entre as entradas do processo de monitorar e controlar o trabalho do projeto. Esses relatórios incluem a situação atual do projeto, as realizações significativas no período, atividades agendadas, as previsões e questões diversas.

A técnica utilizada no processo de monitorar e controlar o trabalho do projeto é a Opinião de Especialistas. Essa técnica é necessária para interpretar as informações fornecidas pelos processos de monitoramento e controle e sugerir ações de forma a corrigir ou prevenir situações problemáticas ou aproveitar oportunidades. Dessa forma, o gerente de projeto e sua equipe poderão agir no projeto por intermédio de ações para assegurar que o desempenho do projeto alcance as expectativas. Algumas dessas ações (saídas) são incorporadas em solicitações de mudanças, que podem ser classificadas em [BARRA, 2010]:

- Ações corretivas: é qualquer ação tomada com o objetivo de alterar o desempenho futuro do projeto de maneira a compatibilizá-lo com o seu plano.
- Ações preventivas: é qualquer ação tomada com o objetivo de reduzir a probabilidade de uma potencial consequência de eventos de risco do projeto.

- Reparo de defeito: o problema é identificado e documentado com uma recomendação para reparar ou substituir completamente o componente que apresente o defeito.

Além da solicitação de mudanças, é preciso realizar a Atualização dos Planos de Gerenciamento do Projeto. Entre eles, o plano de gerenciamento do cronograma, dos custos, da qualidade e das linhas de base do escopo, cronograma e desempenho dos custos. Por último, a Atualização dos Documentos do Projeto deve ser realizada, os quais fazem parte os relatórios de desempenho, os registros e as previsões.

2.4.3 Realizar o controle integrado de mudanças

Depois de realizado o monitoramento e o controle do trabalho do projeto, é necessário realizar o processo de revisão de todas as solicitações, aprovações e gerenciamento de mudanças em entregas, ativos de processos organizacionais, documentos de projeto e plano de gerenciamento do projeto. O processo de realizar o controle integrado de mudanças é conduzido do início ao término do projeto. Em virtude disso, o gerenciamento dessas mudanças é realizado de forma cuidadosa e contínua, garantindo que apenas mudanças aprovadas sejam incorporadas à linha de base revisada.

Esse processo inclui algumas atividades de gerenciamento de mudanças com base no projeto de execução, são elas:

- Controlar os fatores que criam mudanças e gerenciar as que forem aprovadas;
- Revisar, analisar e aprovar as solicitações imediatamente;
- Manter a integridade das linhas de base;
- Revisar, aprovar ou rejeitar as ações (corretivas ou preventivas) recomendadas; e
- Documentar o impacto completo das solicitações de mudanças.

Assim como o processo de monitorar e controlar o trabalho do projeto, o controle integrado de mudanças compreende entradas, ferramentas e saídas que determinam o fluxo de controle dessas mudanças. Esse processo pode ser observado na Figura 5:

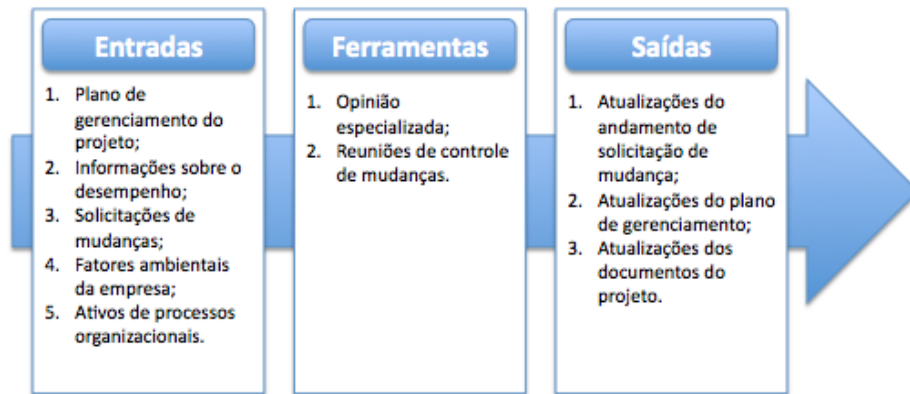


Figura 5. Realizar o controle integrado de mudanças: entradas, ferramentas e saídas [PMBOK, 2009].

A coleta de informações de desempenho durante o projeto considera informações relacionadas à situação das entregas, ao progresso do cronograma e aos custos incorridos. Outra entrada desse processo é a Solicitação de Mudanças, incluindo ações corretivas, preventivas e reparos de defeitos.

As ferramentas e técnicas utilizadas nesse processo incluem: a Opinião Especializada e as Reuniões de Controle de Mudanças. Uma boa prática é definir o comitê de controle de mudanças para ser responsável pela decisão da realização ou não dessas mudanças. Esse comitê pode aprovar as mudanças ou rejeitá-las. Em relação aos papéis e as responsabilidades do comitê, estes devem ser claramente definidos e consentidos, as decisões documentadas e comunicadas para acompanhamento posterior, e somente as solicitações de mudança aprovadas devem ser incorporadas à linha de base revisada.

Por fim, as saídas do processo de realização do controle integrado de mudanças concentram as Atualizações dos Documentos do Projeto, do Plano de Gerenciamento e do Andamento de Solicitação de Mudanças. Esta última é realizada pelo gerente de projeto ou por um membro da equipe designado. A situação do andamento das mudanças, aprovadas ou não, é atualizado no registro de solicitação de mudanças como parte das atualizações dos documentos do projeto.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Vários trabalhos propõem a utilização de agentes inteligentes para o gerenciamento dos diferentes aspectos no desenvolvimento de projetos. Nesta seção, são apresentados trabalhos de pesquisa que associam agentes inteligentes às técnicas e/ou ferramentas para gerenciar o monitoramento e o controle do andamento de projetos.

Dentre os trabalhos aqui relatados, algumas características e propriedades consideradas na abordagem proposta neste trabalho foram levados em consideração para a avaliação comparativa entre os mesmos. Foi verificado se os relacionados (i) são baseados em agentes ou outra técnica inteligente e proativa, (ii) se utilizam a técnica do valor agregado para realizarem o monitoramento e controle, (iii) se alertam os gerentes de projeto quando desvios são detectados e ainda, (iv) se propõem soluções de correção e prevenção desses desvios.

3.1 *Software Project Planning Associate (SPPA)*

Em [WU et al., 2009] é apresentada uma ferramenta baseada em agentes, o *Software Project Planning Associate* (SPPA), que consiste em um sistema multi-agente baseado em métricas do projeto, tais como produtividade e esforço. O objetivo da ferramenta é acompanhar o andamento do projeto de software para garantir a conformidade com o planejamento de metas para a realização das atividades.

O SPPA consiste de agentes inteligentes desenvolvidos na linguagem de programação Java e JESS (*Java Expert System Shell*) para ajudar objetivamente um gerente de projeto na inicialização de um plano de projeto de software, refinando/melhorando um plano, organizando, medindo, visualizando, controlando, monitorando e coletando dados. Essa ferramenta foi desenvolvida para ajudar gerentes a reunirem informações sobre o projeto a partir de qualquer ambiente de desenvolvimento de software, salvando em formato de objeto, atributo ou relacionamento. Usa uma arquitetura de três camadas e uma ferramenta de construção de sistema especialista para a criação de agentes inteligentes. Pode ainda, reunir informações de qualquer projeto de desenvolvimento de software que pode compartilhar diretórios através de uma rede para uma estação de trabalho de cliente do *Microsoft Windows*.

Os recursos, tarefas, horários, e marcos do projeto de software são descritos em um plano de projeto de software genérico baseado em métricas. Na medida em que o processo de desenvolvimento de software evolui, as métricas são discretamente coletadas e o cumprimento do plano é relatado pelos agentes. As previsões dos processos de software são realizadas e as recomendações são dinamicamente relatadas por vários agentes inteligentes,

sugerindo o desenvolvimento do software que deve ser executado para melhor cumprir o plano do projeto.

O SPPA alerta os gerentes quando as metas não são atingidas, desta forma o gerente somente poderá adotar ações corretivas. Porém, nenhuma solução para a correção dos desvios é sugerida pela ferramenta. Adicionalmente, as métricas são elaboradas com base nas dimensões de escopo e tempo, sem considerar o custo nas formulações.

3.2 *Software Project Management supported by Software Agents (SPMSA)*

O modelo *Software Project Management supported by Software Agents (SPMSA)* [NIENABER, 2008] consiste em um framework genérico, baseado em agentes de software, projetado para suportar vários aspectos do gerenciamento do projeto de software em um ambiente distribuído. A pesquisa propõe uma abordagem *black box*, onde cada um dos aspectos de gerenciamento envolve agentes cooperativos, cuja implementação a princípio, não é fornecida.

O escopo do modelo é definido em termos de processos SPM (*Software Process Management*), bem como o tipo de agentes que suportam estes processos. Em virtude disso, o principal objetivo desse modelo é apoiar as equipes e membros individuais das equipes no ambiente SPM durante a execução das suas tarefas. Para isso, um conjunto de agentes foram descritos para cada uma das funções chave do SPM. Apesar das descrições, este trabalho não deixa claro quais as metodologias utilizadas por esses agentes, nem mesmo como eles agem de fato nos ambientes SPM.

Alguns dos objetivos dos agentes envolvidos são:

- Agente Cliente: executa uma tarefa especializada em uma estação de trabalho, interage com o grupo de agentes e recebe como entradas as tarefas dos agentes;
- Agente de Mensagem: percorre a rede de agentes e transmite mensagens de e para os agentes;
- Agente de Monitoramento: monitora o movimento dos agentes, monitora as tarefas e atividades, e coordena os agentes;
- Agente de Tarefa: dar suporte a uma tarefa específica, calcular várias medidas, como a probabilidade de riscos, e gerar o *feedback* dos agentes de assistência pessoal.

Como pode ser observado, o SPMSA prevê na sua estrutura um agente de monitoramento, porém se limita ao acompanhamento de tarefas e fases do projeto, sem levar

em consideração o aspecto de custo. Embora o sistema prevê a notificação dos *stakeholders*, nenhuma proposta para correção de eventuais desvios em relação à linha de base do projeto é apresentada.

3.3 *Parametric Project Monitoring and Control (PPMC)*

O *Parametric Project Monitoring and Control* (PPMC) consiste de um modelo de estimativa proprietário [GOLARATH; GOLARATH, 2006] fundamentado na técnica do GVA, cujo objetivo é estender o escopo da estimativa de projetos de desenvolvimento de software estabelecendo uma iteração na condução das atividades de gerenciamento tornando o monitoramento constante e cíclico. Para isso, incluem-se linhas de base desde a estimativa até a produção do software que passam a ser monitoradas constantemente causando ajustes nas estimativas iniciais e refletindo essas mudanças nas demais atividades do projeto.

Esse modelo traz diversos recursos gráficos e cálculos automatizados para medir os índices de acompanhamento do desenvolvimento do projeto. Esta abordagem prevê ainda alguns indicadores de desempenho, são eles: (i) Índice de variação do custo e do desempenho; (ii) Variação na programação e do desempenho da programação; (iii) Variação no orçamento e índice de desempenho do orçamento; (iv) Variação do tempo e índice de desempenho do tempo; (v) Crescimento do projeto; (vi) Tamanho da convergência de incerteza; (vii) Variação na localização de defeitos; (viii) Variação na remoção dos defeitos.

No PPMC, o monitoramento é realizado através da técnica da Análise do Valor Agregado, responsável por calcular alguns indicadores de desempenho. Já o controle, é realizado através da metáfora “sinal de trânsito” para uma determinada medida ou métrica. As transições entre as cores verde e amarelo, e entre o amarelo e o vermelho foram definidas como limites de controle [GALORATH; GALORATH, 2006]. O objetivo dessas transições é vincular a noção de tolerância razoável para a noção de status, durante o processo de desenvolvimento.

Para alcançar o objetivo de estender o escopo das estimativas, o processo que envolve o PPMC adota um conjunto de etapas responsável pela criação de um novo plano de projeto (estimativa) que, por sua natureza, representa uma previsão baseada no desempenho. As etapas são:

1. Iniciar uma nova estimativa: usar a linha de base atual como o ponto de partida para uma nova estimativa.

2. Atualizar o tamanho das estimativas: revisar todos os pressupostos (base de estimativa) associados com a estimativa atual de incerteza em torno do tamanho do software.
3. Atualizar estimativas tecnológicas: revisar todas as bases de conhecimento e parâmetros das hipóteses tecnológicas utilizadas como base das estimativas para a linha de base atual.
4. Atualizar estimativas de cronograma: revisar a data de início do projeto e quaisquer suposições sobre a solução de troca tempo-esforço.
5. Atualizar estimativa de pessoal: especificar limitações de pessoal do início do projeto até o momento.
6. Atualização do ritmo de trabalho e estimativa FTE: revisar o ritmo de trabalho, bem como a definição de uma pessoa que trabalhe em tempo integral (normalmente especificada como custo de mão-de-obra por mês).
7. Calibração do tempo: este passo assume que o modelo de estimativa ou processo a ser utilizado pode ser calibrado por meio de ajustes dos coeficientes de calibração.
8. Comunicar os resultados: usar um conjunto adequado de gráficos e relatórios para apresentar os resultados do processo de previsão.
9. Nova linha de base do projeto: se as expectativas do projeto, os objetivos e compromissos forem garantidos, após aprovação de uma autoridade competente, substituir a linha de base atual com a nova estimativa.

Esse modelo trabalha apenas com ações preventivas e com isso, não garante que todos os desvios possam ser inibidos. O PPMC não é baseado em agentes, e, portanto não funciona de forma proativa, mas somente quando requerido pelo gerente ou membro da equipe. A ferramenta prevê a elaboração de relatórios e gráficos quando requerido, porém não alerta sobre desvios e não propõe ações corretivas. Outra desvantagem é o fato do PPMC ser um modelo proprietário, o que limita seu uso para outros fins.

4 ABORDAGEM I: O AMBIENTE E O AGENTE DE MONITORAMENTO AMon

A abordagem proposta objetiva auxiliar os gerentes de projeto no processo de monitoramento e controle contínuo com o auxílio da tecnologia de agentes. A utilização da tecnologia de agentes é justificada pela sua capacidade de detectar mudanças no ambiente no qual estão inseridos, raciocinar sobre essas mudanças e agir de forma proativa [JENNINGS, 2001]. Esses agentes fornecem uma metáfora natural para apoio em ambientes de equipe de desenvolvimento de software, onde eles podem monitorar e coordenar mudanças e opiniões dentro da equipe de desenvolvimento [BALASUBRAMANIAN et al., 2001].

O conteúdo deste capítulo é apresentado ao longo de três seções, que incluem o esboço da abordagem, a configuração do ambiente de execução dos agentes e por último, uma descrição sucinta do agente de monitoramento (AMon).

4.1 Esboço da Abordagem

A abordagem considera o desenvolvimento de dois agentes inteligentes, os quais colaboram entre si, e com o gerente de projeto para atingir os objetivos de monitorar e controlar o trabalho do projeto. A Figura 6 ilustra o esquema de interação existente entre os agentes e o gerente de projetos [DE SOUZA et al., 2012 (a)].

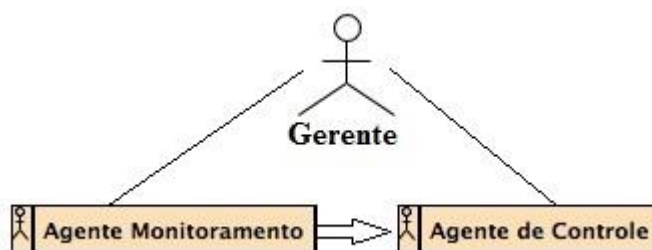


Figura 6. Relação entre os agentes envolvidos e o gerente de projeto.

O compartilhamento e troca de informações entre os agentes e o gerente consiste de uma atividade dinâmica e constante que envolve: (i) dados relativos ao planejamento inicial e trabalho real, relatado pelo projetista, (ii) análise da situação corrente em relação à desejada, diagnosticada pelo agente monitor, e (iii) o tratamento de desvios, realizado pelo agente de controle [DE SOUZA et al., 2013]. Quando desvios são detectados, o agente de controle sugere ações corretivas e preventivas a serem aprovadas pelo gerente de projeto. Ao mesmo tempo em que o agente propõe essas ações, ele gera novas estimativas e propõe um replanejamento baseado nos desvios detectados.

As soluções baseadas em agentes são adequadas a ambientes dinâmicos e complexos, como os de desenvolvimento de projetos de software. Além da sua capacidade de resolução de problemas, os agentes possuem um padrão sofisticado de interação, cooperação, coordenação e negociação. Podem ainda atuar de forma autônoma, pois possuem capacidade de seleção de tarefas, priorização e tomada de decisão. O objetivo dos agentes propostos é auxiliar gerentes de projeto no gerenciamento dos processos de desenvolvimento de software.

Os agentes de monitoramento (AMon) e de controle (ACon) incorporam um conjunto de regras condição-ação formuladas com base na teoria do Gerenciamento do Valor Agregado (GVA) [PMI Inc., 2005]. O GVA é a principal técnica recomendada pelo PMBoK e foi utilizada neste trabalho devido a sua capacidade de avaliar desempenho e analisar a execução do cronograma e despesas geradas na construção de projetos.

Para um monitoramento e controle mais objetivo e preciso, essa técnica foi aplicada sobre as atividades do projeto. Isso permite que os agentes retornem informações relativas a cada uma dessas atividades e do projeto como um todo, além de gerar alternativas para corrigir desvios detectados.

Na estrutura interna do agente AMon, o GVA é utilizado com o objetivo de determinar, em tempo real, o quão a frente ou atrás do cronograma e/ou orçamento o projeto se encontra. A partir dos indicadores obtidos, o agente alerta o gerente sobre eventuais desvios detectados. Baseado nas informações advindas do AMon, o agente de controle (ACon) reage de acordo com o grau de variação entre o planejamento e o desempenho, sugerindo ações corretivas e preventivas com vistas a minimizar o efeito negativo dos desvios detectados. Quando ações sugeridas são adotadas pelo gerente, o agente ACon se encarrega de gerar novas estimativas e realiza o replanejamento com base nas compensações de cronograma e orçamento [DE SOUZA et al., 2012 (b)]. Na estrutura interna do ACon, a partir dos indicadores obtidos com o GVA, o agente determina o tipo de ação corretiva/preventiva que pode ser realizada.

Os agentes monitoram o desempenho das principais variáveis do projeto (escopo, tempo e custo) e propõem ações para controlar os desvios sugerindo ao gerente ações corretivas e preventivas. O monitoramento e controle é realizado a partir do plano inicial consolidado do projeto ou linha de base. Durante a execução das atividades, o gerente intervém no processo de monitoramento e controle de modo a alimentar o sistema de agentes com as informações do andamento do projeto. Essa intervenção ocorre a qualquer momento do projeto, onde informações relativas à porcentagem do trabalho realizado e custo real das atividades são conhecidas e disponibilizadas no ambiente.

Na medida em que as ações são adotadas pelo gerente e novas estimativas são geradas pelo agente de controle, os agentes passam a monitorar e controlar as atividades do projeto sobre o novo plano consolidado ou linha de base atualizada (custo e tempo).

De forma resumida, a Tabela 3 apresenta os agentes propostos neste trabalho e suas características, em relação às informações percebidas pelos agentes e as informações sobre as ações possíveis para os agentes durante os processos de monitoramento e controle do trabalho do projeto [PMBok, 2009].

Tabela 3. Relação entre o processo envolvido, os agentes e suas características.

Processo	Agente	Características
Gerenciamento do Trabalho do Projeto	Agente de Monitoramento (AMon)	- Conhece as premissas e restrições do projeto e os limites de variação permitidos. - Conhece linha de base integrada: - Escopo (declaração do escopo). - Tempo (cronograma). - Custos (orçamento). - Percebe situação das entregas (desempenho); - Percebe desempenho dos custos. - Percebe desempenho do tempo. - Determina desvios (negativos e/ou positivos) com base na análise de variação. - Calcula indicadores de desempenho.
	Agente de Controle (ACon)	- Determina o caminho crítico. - Percebe desvios (negativos e/ou positivos). - Percebe mudanças aprovadas em relação ao escopo, tempo ou custo. - Calcula novas estimativas no término com base no desempenho. - Sugere ações preventivas. - Solicita mudanças: sugere ações corretivas.

Em resumo, o funcionamento dos agentes no ambiente vai depender do conhecimento que estes mantêm a respeito do andamento do projeto, das informações perceptivas e das ações que são capazes de realizar.

4.2 Configuração do ambiente de execução dos agentes

Antes de especificar a arquitetura dos agentes, é importante descrever os aspectos do ambiente de desenvolvimento do projeto que estão realmente acessíveis aos agentes nesta etapa da concepção. Estes aspectos estabelecem as informações que são percebidas pelos agentes e, por outro lado, é a respeito deles que os agentes AMon e ACon raciocinam para enviar as mensagens, as ações preventivas e as ações corretivas. Assim, esta seção apresenta a abordagem por meio de um ambiente específico, considerado nos capítulos de avaliação da abordagem, para facilitar a compreensão das informações sobre os agentes nas próximas subseções.

O ambiente de execução dos agentes considerado neste trabalho foi modelado com base no artigo de [REN et al., 2010], onde foi realizado um estudo utilizando o método do caminho crítico para formular o algoritmo de software para o planejamento do cronograma

do projeto, conforme apresentado na Seção 2.2 deste documento. Assim, com base nas funções definidas nesse artigo, alguns algoritmos são propostos, entre eles os que determinam as variáveis de tempo das atividades, a folga e a precedência entre essas atividades. A Tabela 4 apresenta o resultado desses algoritmos, cujos dados serão utilizados nas simulações apresentadas posteriormente:

Tabela 4. Tabela de cálculo de tempo de um plano de cronograma de projeto. Adaptado de [Ren et al., 2010].

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Atividade	Atividade precedente	t	t _{ES}	t _{EF}	t _{LF}	t _{LS}	R
A	-	10	0	10	10	0	0
B	-	5	0	5	10	5	5
C	AB	5	10	15	15	10	0
D	B	15	5	20	40	25	20
E	C	25	15	40	40	15	0
F	DE	5	40	45	45	40	0
G	F	5	45	50	50	45	0
H	F	10	45	55	65	55	10
I	F	5	45	50	65	60	15
J	G	15	50	65	65	50	0
K	HIJ	20	65	85	85	65	0
L	C	10	15	25	60	50	35
M	L	25	25	50	85	60	35
N	KM	5	85	90	90	85	0

Fazendo uma análise da Tabela 4, a primeira coluna representa as atividades que compõem o projeto, enquanto que na segunda coluna são descritas as atividades que precedem as primeiras. As outras colunas representam os tempos das atividades, conforme mencionado na Seção 2.2 deste documento. O diagrama de atividades descrito na Figura 7 representa o fluxo das atividades descritas na Tabela 4. Nesse diagrama, é possível visualizar o caminho crítico calculado com base no método proposto por Ren. A partir da diferença entre o tempo de início cedo e tarde para uma atividade (ou término cedo e tarde) é possível determinar a folga para essa atividade, onde as atividades com folga (R) igual a zero determinam o Caminho Crítico do projeto: A – C – E – F – G – J – K – N.

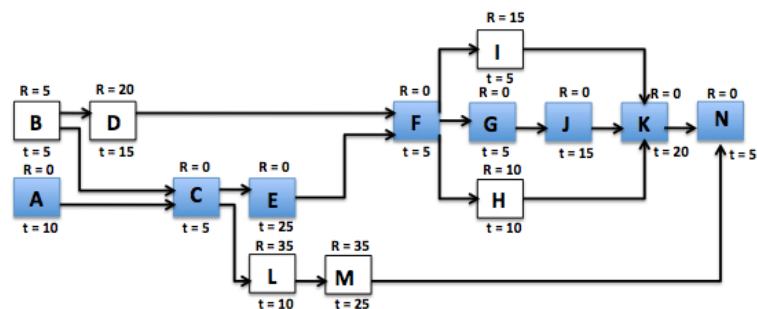


Figura 7. Diagrama de Atividades.

Para os fins da simulação, os custos das atividades apresentadas na Tabela 4 podem ser estimados com base em uma técnica denominada estimativa paramétrica [PMBoK, 2009]. Essa técnica utiliza uma relação entre dados históricos e outras variáveis (por exemplo, horas de trabalho) para calcular estimativas para parâmetros da atividade, tais como custos e duração. Desta forma, os custos das atividades podem ser determinados quantitativamente através da multiplicação das horas de trabalho (duração) das atividades a serem executadas pelo custo da mão-de-obra por unidade de tempo. Para este trabalho, consideramos esse custo como 70 unidades de moeda, fazendo referência ao termo homem-hora, adotada pelo modelo *Constructive Cost Modelo II* [COCOMO II, 2012].

A equação (1) apresenta o cálculo do custo (*custoAtividade*) de cada uma dessas atividades apresentadas no diagrama da Figura 7. Nesta equação, o tempo de duração das atividades é representado por *t* unidades de tempo, informado na Tabela 4.

$$\text{custoAtividade} = t * 70 \quad (9)$$

A Tabela 5 apresenta os cálculos da estimativa de custo das atividades do diagrama da Figura 7, obtidos com base na equação (9).

Tabela 5. Valores dos recursos das atividades.

Atividade (i)	Recurso das atividades (<i>custoAtividade</i>)
A	$10 * 70 = 700$
B	$5 * 70 = 350$
C	$5 * 70 = 350$
D	$15 * 70 = 1.050$
E	$25 * 70 = 1.750$
F	$5 * 70 = 350$
G	$5 * 70 = 350$
H	$10 * 70 = 700$
I	$5 * 70 = 350$
J	$15 * 70 = 1.050$
K	$20 * 70 = 1.400$
L	$10 * 70 = 700$
M	$25 * 70 = 1.750$
N	$5 * 70 = 350$

O tempo total do Projeto (*tempoProjeto*) e seu custo total (*custoProjeto*) são determinados, respectivamente, pela soma da duração das atividades do caminho crítico e a soma dos custos de todas as atividades do projeto.

4.3 Agente de Monitoramento (AMon)

O funcionamento do agente AMon pressupõe a existência de um plano inicial estabelecendo a duração (*duracaoAtividade*) e custo de cada atividade (*custoAtividade*), o momento atual em que o projeto se encontra (*T*), algumas variáveis consideradas na teoria do valor agregado e outras variáveis associadas às atividades do projeto, como: porcentagem do

trabalho desejado até o momento (*planejadaCompleta*), porcentagem do trabalho efetivamente realizado até o momento (*realCompleta*) e a despesa gerada até o momento (*custoRealAtiv*). A estrutura do agente AMon é apresentada na Figura 8.

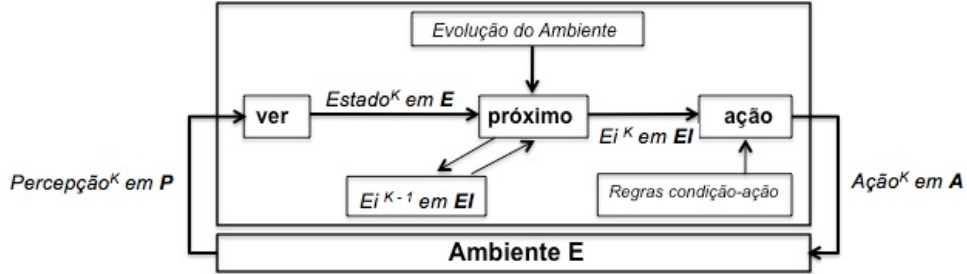


Figura 8. Arquitetura do agente AMon. Adaptado de [RUSSEL; NORVIG, 2004].

A função **ver** representa os sensores do agente. Em qualquer interação K com o ambiente, em qualquer momento T do projeto, esta função percebe as informações a respeito dos valores das variáveis associadas às atividades do projeto ($Percepção^K$) e mapeia estas informações em uma representação computacional adequada ($Estado^K$), que, no caso do AMon, é um conjunto da forma: (T , *duracaoAtividade*, *custoAtividade*, *planejadaCompleta*, *realCompleta*, *custoRealAtiv*).

Considerando esta informação estruturada e outras informações que o agente mantém internamente, a respeito de como o ambiente de desenvolvimento do projeto evolui, a função **próximo** atualiza o estado interno que o agente mantém a respeito das atividades do projeto (Ei^K). Mais especificamente, esta atualização ocorre através dos cálculos dos valores correntes das seguintes variáveis fundamentadas no GVA:

$$VP = \text{custoAtividade} * \text{planejadaCompleta} \quad (10)$$

$$VA = \text{custoAtividade} * \text{realCompleta} \quad (11)$$

$$IDP = VA / VP \quad (12)$$

$$VDP = VA - VP \quad (13)$$

$$IDC = VA / \text{custoReal} \quad (14)$$

$$VC = VA - \text{custoReal} \quad (15)$$

onde VP representa o valor planejado, VA o valor agregado, IDP o índice de desempenho de prazo, VDP a variação de prazo, IDC o índice de desempenho de custo e VC a variação de custo. Os valores das variáveis (10)–(15) compõem o estado interno do agente, representado por uma sêxtupla da forma: (VP, VA, IDP, VDP, IDC, VC), cujos valores identificam ou não uma insatisfação entre o estado corrente de uma atividade em andamento no projeto e seu estado desejado.

Mais especificamente, as informações correntes no estado interno permitem que a função **ação** do agente determine a situação real do trabalho do projeto quanto a orçamento e

cronograma. Assim, em qualquer momento T do projeto, a função *ação* considera estas informações e um conjunto de regras condição-ação, e seleciona as ações adequadas (A^k). Desta forma, a partir de um conjunto de mensagens possíveis o agente indica adequadamente ao gerente a situação atual do projeto quanto ao cronograma e orçamento. A Tabela 6 apresenta o conjunto de doze regras para o monitoramento envolvendo as variáveis (12)-(15), concebido para esta dissertação [DE SOUZA et al., 2012 (b)].

Tabela 6. Conjunto de regras condição-ação embutidas no AMon.

Id	Regras Condição-Ação
1	se IDP = 1.0 então faça(mensagem('Atividade está dentro do cronograma'))
2	senão se IDP > 1 então faça(mensagem('Atividade está adiantada do cronograma'))
3	senão faça(mensagem('Atividade está atrasada no cronograma'))
4	se VDP = 0.0 então faça(mensagem('Atividade está dentro do cronograma'))
5	senão se VDP > 0 então faça(mensagem('Atividade está VDP reais a frente do cronograma'))
6	senão faça(mensagem('Atividade está VDP reais atrás do cronograma'))
7	se IDC = 1.0 então faça(mensagem('Atividade está dentro do orçamento'))
8	senão se IDC > 1 então faça(mensagem('Atividade está abaixo do orçamento'))
9	senão faça(mensagem('Atividade está acima do orçamento'))
10	se VC = 0.0 então faça(mensagem('Atividade está dentro do orçamento'))
11	senão se VC > 0 então faça(mensagem('Atividade está VC reais abaixo do orçamento'))
12	senão faça(mensagem('Atividade está VC reais acima do orçamento'))

O conjunto pode ser incrementado com novas regras visando aprimorar o processo de monitoramento. Assim, com doze regras, quatro mensagens podem ser ativadas em cada interação que o agente mantiver com o ambiente de projeto. A Figura 9 sintetiza o esqueleto do programa agente AMon [DE SOUZA et al., 2012 (b)].

função agente-AMon($Percepção^K$) **retorna** uma ação
entradas: $Percepção$ em P , percepção dos valores, uma descrição dos valores percepção
variáveis estáticas: $Estado^K$ em E , um conjunto da forma (T , $duracaoAtividade$, $custoAtividade$, $planejadaCompleta$, $realCompleta$, $custoReal$)
 $INFOevolução$, informação nas Expressões (10)-(15)
 Ei^K em EI , uma sêxtupla da forma (VP, VA, IDP, VDP, IDC, VC)
 $REGRAS$, conjunto de doze regras na Tabela 6
 $Ação^K$ em A , quatro mensagens nos consequentes de quatro regras
 $Estado^K \leftarrow ver(Percepção^K)$
 $Ei^K \leftarrow próximo(Estado^K, Ei^{K-1}, INFOevolução)$
 $Ação^K \leftarrow ação(Ei^K, REGRAS)$
retornar $Ação^K$

Figura 9. Esqueleto do programa Agente AMon.

O mecanismo de seleção de ação do AMon foi concebido para indicar como solução do problema de monitoramento em uma interação K , todas as mensagens que aparecem nos consequentes das regras cujos antecedentes descrevem condições verdadeiras. As regras (01)-(03) permitem alertar o gerente sobre a situação atual das atividades em

execução do projeto em relação ao cronograma. As três situações de alertas possíveis são determinadas através do cálculo da variável (IDP) na equação (12). As regras (04)-(06) permitem ao agente informar o quanto em dinheiro cada atividade em andamento no projeto está à frente ou atrás do cronograma. Essas regras têm como base a equação (13). As regras (07)-(09) compreendem informações a respeito do custo das atividades em execução no projeto, informando a situação real de cada uma quanto ao orçamento. Essas informações são processadas através do cálculo de IDC na equação (14). Por fim, as regras (10)-(12) permitem informar ao gerente a variação, em dinheiro, positiva ou negativa do orçamento das atividades. Para isso, o VC é calculado conforme a equação (15).

Para que o agente ACon possa agir no ambiente, é preciso que o AMon envie um pacote (estado interno) com as mensagens contendo as principais informações (custo e tempo) das atividades em andamento no projeto, processadas pelo agente AMon. Algumas variáveis do valor agregado também são utilizadas no processo de controle. Além do mais, no pacote, o controle utiliza os valores de porcentagem do trabalho efetivamente realizado até o momento (*realCompleta*) na atividade e a despesa gerada até o momento (*custoRealAtiv*) na atividade.

5 ABORDAGEM II: O AGENTE DE CONTROLE ACon

Este capítulo apresenta uma descrição detalhada do agente de controle (ACon). Inicialmente, a sua organização e seu funcionamento são apresentados com base nas suas percepções, estado interno e ações. Em seguida, as ações de controle do agente são abordadas em detalhe, favorecendo o entendimento da execução dessas ações através das etapas que compõe cada uma delas. São cinco as ações de controle abordadas neste trabalho: (i) compressão do cronograma, (ii) paralelização, (iii) compensação de orçamento em cronograma, (iv) compensação de custo entre atividades e (v) compensação de tempo entre atividades.

5.1 Organização e Funcionamento do Agente ACon

O agente ACon é ativado a partir das percepções de desvios negativos detectados pelo agente AMon. Após o recebimento do pacote de informações enviado por AMon, o agente ACon envia uma mensagem resposta (*reply*) para o AMon informando que o pacote foi recebido com sucesso. Em seguida, ACon considera em seu funcionamento um plano inicial a partir do qual são identificados alguns atributos das atividades: identificação (*idAtividade*), duração (*duracaoAtividade*) e o custo (*custoAtividade*), atividades predecessoras e sucessoras. As variáveis de tempo consideradas no ambiente de execução do agente na seção anterior (tempos de início e término cedo ou tarde), as atividades precedentes e as folgas (*R*), também são utilizadas para possíveis atualizações (replanejamento) e para determinação de um novo caminho crítico quando desvios negativos são detectados.

Assim como o agente de monitoramento, o agente ACon consiste de um agente reativo simples baseado em modelo com regras condição-ação. A sua estrutura (Figura 10) é consistente com a estrutura do agente reativo com estado interno e regras condição-ação definido por [RUSSEL; NORVIG, 2004], composta pelas funções *ver*, *próximo* e *ação*.

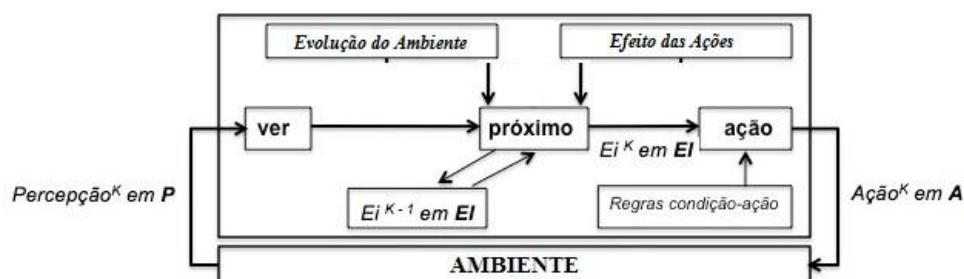


Figura 10. Arquitetura do agente ACon. Adaptado de [RUSSEL; NORVIG, 2004].

A função **ver** representa os sensores do agente. Em qualquer interação K do agente com o ambiente, em qualquer momento do projeto T , esta função percebe (*Percepção^K*) as informações a respeito dos valores das variáveis de estado das atividades do projeto contempladas no plano inicial e o pacote de informações provenientes do AMon a respeito da situação atual das atividades do projeto, e mapeia estas informações em uma representação computacional adequada (*Estado^K*), ou seja:

Tabela 7. Estado interno, Ações e Percepções do AMon.

Estado Interno AMon	VP, VA, IDP, VDP, IDC, VC
Ações AMon	mensagens nas regras ativadas
Percepções Ambiente	<i>Diagrama de atividades do projeto, idAtividade, duraçãoAtividade custoRealAtiv, realCompleta, precedentes</i>

Considerando estas informações, a função **próximo** atualiza o estado interno que o agente mantém a respeito do desenvolvimento das atividades do projeto (*Ei^K*). Mais especificamente, esta atualização ocorre através das estimativas dos valores correntes das seguintes variáveis e variações contempladas na teoria do valor agregado:

$$ETcusto = custoAtividade / IDC \quad (16)$$

$$EPTcusto = ETcusto - custoRealAtiv \quad (17)$$

$$VAFcusto = custoAtividade - ETcusto \quad (18)$$

$$PercVAFcusto = VAFcusto / custoAtividade \quad (19)$$

$$IDPT = (custoAtividade - VA) / (custoAtividade - custoRealAtiv) \quad (20)$$

$$ETtempo = (custoAtividade / IDP) / (custoAtividade / duracaoAtividade) \quad (21)$$

$$EPTtempo = ETtempo - duracaoAtividade \quad (22)$$

$$VAFtempo = duracaoAtividade - ETtempo \quad (23)$$

$$PercVAFtempo = VAFtempo / duracaoAtividade \quad (24)$$

onde *ETcusto* representa a estimativa no término relacionado a custo, *EPTcusto* a estimativa para terminar relacionado a custo, *VAFcusto* a variação do custo na conclusão da atividade, *PercVAFcusto* o percentual dessa variação, *IDPT* o índice de desempenho para terminar a atividade, *ETtempo* a estimativa no término relacionado a tempo, *EPTtempo* a estimativa para terminar relacionado a tempo, *VAFtempo* a variação de tempo ao final da atividade, *PercVAFtempo* o percentual dessa variação, *VA* o valor agregado e *IDC* o índice de desempenho de custo.

Os valores das variáveis (16)-(24), componentes do estado interno, representam uma tupla da forma: (*ETcusto*, *EPTcusto*, *VAFcusto*, *PercVAFcusto*, *IDPT*, *ETtempo*, *EPTtempo*, *VAFtempo*, *PercVAFtempo*), indicando novas estimativas e variações de custo e

tempo necessárias para auxiliar a função ação na seleção de ações preventivas e corretivas. Mais especificamente, os valores destas variáveis permitem ao agente estimar custo e tempo, em um determinado momento do projeto considerando o desempenho atual, além de informar a variação de custo e tempo ao término das atividades em relação às novas estimativas.

O agente ACon mantém em seu estado interno todo o diagrama de rede de atividades e o caminho crítico, calculado de acordo com as equações de (1)-(8) apresentadas na Seção 2.2 deste documento. À medida que novas estimativas vão sendo geradas, a função **próximo** calcula o novo caminho crítico com base nos tempos das atividades e atividades de precedências, contempladas no plano inicial, e atualiza o diagrama de atividades que mantém sobre o ambiente. Em especial, vale destacar as seguintes informações (Tabela 8) como relevantes no processo de atualização de estado interno e na inferência do efeito das ações corretivas e preventivas em atividades em execução, que são possíveis e necessárias para a correção de desvios detectados.

Tabela 8. Estado interno do ACon.

Estado Interno ACon	<i>..., ETcusto, EPTcusto, VAFcusto, PercVAFcusto, IDPT, ETtempo, EPTtempo, VAFtempo, PercVAFtempo, custoAtividade, duraçãoAtividade, t_{ES}, t_{EF}, t_{LF}, t_{LS}, R</i>
----------------------------	---

Adicionalmente, a função **próximo** do agente considera as atividades em andamento e as alternativas para o tratamento de desvios negativos detectados. Dentre essas alternativas, a função simula o efeito das ações corretivas e preventivas. Entre as ações preventivas e corretivas, alternativas que o agente poderá simular vale destacar: hora-extra, paralelização, compensação entre os objetivos de orçamento e cronograma, compensação de custos entre atividades e compensação de tempo entre atividades.

A função **ação** do agente ACon utiliza estas informações atualizadas e um conjunto de regras condição-ação semelhantes às do agente AMon. O mecanismo de seleção de ação do ACon foi concebido para indicar como solução do problema de controle em uma interação com o agente AMon e o ambiente, todas as ações preventivas e corretivas que aparecem nos consequentes das regras cujos antecedentes descrevem condições verdadeiras. A Figura 11 sintetiza o esqueleto do programa agente ACon.

função agente-ACon(Percepção^K) retorna uma ação
entradas: Percepção em P, informações sobre as atividades em andamento
variáveis estáticas: INFOevolução/INFOefeito, informação nas Expressões (16)-(24)
 Ei^K em EI, variáveis ETcusto, EPTcusto, VAFcusto, PercVAFcusto, IDPT,
ETtempo, EPTtempo, VAFtempo, PercVAFtempo)
REGRAS, conjunto de nove regras na Tabela 9 e 14
Ação^K em A, ações corretivas/preventivas e resultados simulações
 $Estado^K \leftarrow \text{ver}(Percepção^K)$
 $Ei^K \leftarrow \text{próximo}(Estado^K, Ei^{K-1}, INFOevolução)$
 $Ei^K \leftarrow \text{próximo}(Estado^K, Ei^{K-1}, INFOevolução, INFOefeito)$
 $Ação^K \leftarrow \text{ação}(Ei^K, REGRAS)$
retornar Ação^K

Figura 11. Esqueleto do programa Agente ACon.

No caso do ACon, o conjunto de regras condição-ação foi dividido em dois subconjuntos. O primeiro subconjunto contém regras cujas condições no antecedente são estabelecidas considerando apenas as informações correntes sobre a execução de atividades individuais, enquanto que as ações determinam as correções/prevenções propostas para a atividade individual. A Tabela 9 apresenta o primeiro subconjunto adotado, ou seja, composto de quatro regras para o controle de atividades individuais. As condições nas regras consideram os valores das variáveis (12), (13), (14) e (15).

Tabela 9. Subconjunto de 4 regras condição-ação embutidas no ACon.

Id	Regras Condição-Ação: Atividade Individual
1	se (IDP > 1.0 && VDP > 0.0 && IDC < 1.0 && VC < 0.0) então faça Ação 01
2	se (IDP < 1.0 && VDP < 0.0 && IDC > 1.0 && VC > 0.0) então faça Ação 02
3	se (IDP < 1.0 && VDP < 0.0 && IDC < 1.0 && VC < 0.0) então faça Ação 03
4	se (IDP == 1.0 && VDP == 0.0 && IDC < 1.0 && VC < 0.0) então faça Ação 04

A condição na primeira regra permite detectar situações do tipo: adiantada no cronograma e acima do orçamento na execução de uma atividade. Por sua vez, a ação Ação 01 no consequente da regra corresponde às descrições das ações preventivas e corretivas e dos efeitos destas ações, obtidos a partir de simulações no estado interno considerando o estado corrente da atividade. Abaixo as ações (Tabela 10) e outras informações enviadas para o gerente em Ação 01, em qualquer interação que o agente ACon mantém com o ambiente:

Tabela 10. Ação 01 do agente ACon.

Atividade X	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- Para finalizar dentro do orçamento, o desempenho deve melhorar em K%. - $VAF_{custo} = \text{Variação de custo ao final da atividade será de } W$.
ATIVIDADE CORRENTE	X: $\text{custoAtividade} = \text{custo orçado para esta atividade}$. $\text{duracaoAtividade} = \text{duração desta atividade}$. $R = \text{folga}$ $t_{LS} = \text{início tarde}$ $t_{LF} = \text{término tarde}$
SUCCESSORAS	Y: $\text{custoAtividade} = \text{custo orçado para esta atividade}$. $\text{duracaoAtividade} = \text{duração desta atividade}$. $R = \text{folga}$ $t_{LS} = \text{início tarde}$ $t_{LF} = \text{término tarde}$
	...
	Z: $\text{custoAtividade} = \text{custo orçado para esta atividade}$. $\text{duracaoAtividade} = \text{duração desta atividade}$. $R = \text{folga}$ $t_{LS} = \text{início tarde}$ $t_{LF} = \text{término tarde}$
AÇÃO CORRETIVA:	- Compensação de custo entre as duas atividades sucessoras de maior folga.
NOVAS ESTIMATIVAS	X: novo $\text{custoAtividade} = \text{novo custo estimado para esta atividade}$ nova $\text{duracaoAtividade} = \text{nova duração da atividade}$ nova $R = \text{folga}$ novo $t_{LS} = \text{novo tempo de início tarde}$ nov $t_{LF} = \text{novo tempo de término tarde}$
	Y: novo $\text{custoAtividade} = \text{novo custo estimado para esta atividade}$ nova $\text{duracaoAtividade} = \text{nova duração estimada para esta atividade}$ nova $R = \text{nova folga}$ novo $t_{LS} = \text{novo tempo de início tarde}$ nov $t_{LF} = \text{novo tempo de término tarde}$
	Z: novo $\text{custoAtividade} = \text{novo custo estimado para esta atividade}$ nova $\text{duracaoAtividade} = \text{nova duração estimada para esta atividade}$ nova $R = \text{nova folga}$ novo $t_{LS} = \text{novo tempo de início tarde}$ nov $t_{LF} = \text{novo tempo de término tarde}$

A ação preventiva para uma atividade X indica que para terminar a atividade no custo estimado deve-se aumentar o desempenho. Como ação corretiva propõe-se uma compensação de custos entre as duas atividades sucessoras fora do caminho crítico com maior folga, ou seja, as atividades Y e Z. Dependendo da intensidade do desvio detectado mais que duas atividades com folga podem ser consideradas. As atividades no caminho crítico são preservadas visando minimizar riscos quanto ao cumprimento do cronograma do projeto, uma vez que um desvio sobre uma atividade do caminho crítico pode comprometer o término do projeto. Adicionalmente, as novas estimativas de custos são geradas a partir da correção desse desvio.

A condição na segunda regra detecta as situações: atrasado no cronograma e abaixo do orçamento. Por sua vez, a ação Ação 02 no consequente da regra corresponde às

descrições das ações preventivas e corretivas e dos efeitos destas ações, obtidos a partir de simulações no estado interno considerando o estado corrente da atividade. Abaixo as ações (Tabela 11) e outras informações enviadas para o gerente em Ação 02, em qualquer interação que o agente ACon mantém com o ambiente:

Tabela 11. Ação 02 do agente ACon.

Atividade X	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- Para finalizar dentro do cronograma, o desempenho deve melhorar em K%. - VAFcusto = variação do custo da atividade ao final do projeto - VAFtempo = variação do tempo da atividade ao final do projeto
ATIVIDADE CORRENTE	X: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
SUCCESSORAS	Y: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	. . .
	Z: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
AÇÃO CORRETIVA:	- Hora-extra.
NOVAS ESTIMATIVAS	X: novo custoAtividade = novo custo estimado para esta atividade nova duracaoAtividade = nova duração estimada da atividade R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	Y: novo custoAtividade = novo custo estimado para esta atividade nova duracaoAtividade = nova duração estimada para esta atividade nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde
	Z: novo custoAtividade = novo custo estimado para esta atividade nova duracaoAtividade = nova duração estimada para esta atividade nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde

De acordo com Ação 02 aplicada à atividade de X, a ação preventiva informa ao gerente o custo abaixo do previsto e seu tempo ultrapassado ao final desta atividade. A ação corretiva horas-extra foi proposta para solucionar o desvio negativo relacionado ao cronograma. Como existe um excesso em unidades de moeda, é realizada uma compensação, transformando-se esse ganho em horas de trabalho. Logo, como o desvio pode não ser sancionado por completo, compensa-se aleatoriamente o restante de horas a serem trabalhadas sobre a folga das duas atividades sucessoras fora do caminho crítico de maior folga: Y e Z.

Adicionalmente, devido a redução dessas folgas, surgem novas estimativas de t_{LS} (início tarde) e t_{LF} (término tarde) com o objetivo de não comprometer o cronograma dessas atividades.

Semelhantemente, a condição na terceira regra detecta as situações: atrasado no cronograma e acima do orçamento. A ação Ação 03 no consequente da regra corresponde às descrições das ações preventivas e corretivas e dos efeitos destas ações, obtidos a partir de simulações no estado interno considerando o estado corrente da atividade. Abaixo as ações (Tabela 12) e outras informações enviadas para o gerente em Ação 03:

Tabela 12. Ação 03 do agente ACon.

Atividade X	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- Para terminar dentro do orçamento, o IDC da atividade corrente X deve melhorar a um IDPT. Para isso, o esforço deve aumentar em K%. - VAF_{custo} = variação de custo da atividade ao final do projeto.
ATIVIDADE CORRENTE	X: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
SUCCESSORAS	Y: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	...
	Z: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
AÇÃO CORRETIVA:	- Paralelização. - Deve-se iniciar imediatamente a atividade sucessora Y ou Z.
NOVAS ESTIMATIVAS	X: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	Y custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde novo t_{ES} = novo tempo de início cedo novo t_{EF} = novo tempo de término cedo
	Z: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde novo t_{ES} = novo tempo de início cedo novo t_{EF} = novo tempo de término cedo

A ação preventiva para uma atividade X indica que para terminar a atividade dentro do orçamento previsto o seu esforço deve aumentar em K%. Como ação corretiva propõe-se paralelizar a execução da atividade corrente X com a próxima atividade. Isso significa dizer que a execução da(s) atividade(s) sucessora(s) de X é antecipada para que o impacto relativo ao cronograma ao final do projeto seja reduzido. Com isso, as atividades sucessoras devem ter suas folgas e tempos de início e término cedo ou tarde atualizados.

A condição na quarta regra condição-ação detecta situações: dentro do cronograma e acima do orçamento. A ação Ação 04 no consequente da regra corresponde às descrições das ações preventivas e corretivas e dos efeitos destas ações, obtidos a partir de simulações no estado interno considerando o estado corrente da atividade. Abaixo as ações (Tabela 13) e outras informações enviadas para o gerente em Ação 04:

Tabela 13. Ação 04 do agente ACon.

Atividade X	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- Para terminar dentro do orçamento, o IDC da atividade corrente X deve melhorar a um IDPT. Para isso, o esforço deve aumentar em K%. - VAF_{custo} = variação de custo da atividade ao final do projeto
ATIVIDADE CORRENTE	X: $custo_{Atividade}$ = custo orçado para esta atividade. $duracao_{Atividade}$ = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
SUCESSORAS	Y: $custo_{Atividade}$ = custo orçado para esta atividade. $duracao_{Atividade}$ = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	...
	Z: $custo_{Atividade}$ = custo orçado para esta atividade. $duracao_{Atividade}$ = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
AÇÃO CORRETIVA:	- Compensação de custo entre as atividades sucessoras (fora do caminho crítico) de maior folga.
NOVAS ESTIMATIVAS	X: novo $custo_{Atividade}$ = novo custo estimado da atividade $duracao_{Atividade}$ = duração da atividade R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	Y: novo $custo_{Atividade}$ = novo custo estimado para esta atividade nova $duracao_{Atividade}$ = nova duração estimada para esta atividade nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde
	Z: novo $custo_{Atividade}$ = novo custo estimado para esta atividade nova $duracao_{Atividade}$ = nova duração estimada para esta atividade nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde

De acordo com a Ação 04 aplicada à atividade de X, a ação preventiva informa ao gerente o custo acima do previsto e que, para terminar a atividade dentro do orçamento, seu desempenho deve melhorar. A ação corretiva para este desvio é a compensação de custo entre as atividades sucessoras fora do caminho crítico de maior folga. Realizando esta compensação, as atividades sucessoras têm seus custos reduzidos, porém seu cronograma aumentado devido à redução das folgas dessas atividades. São selecionadas as que estão fora do caminho crítico para não colocar em risco o cronograma do projeto.

No segundo subconjunto de regras do agente ACon, em vez de atividades individuais, as condições nas regras consideram as informações de todas as atividades em execução, enquanto que as ações e simulações dizem respeito a esta nova situação. Este novo conjunto de regras condição-ação considera a correção e prevenção de desvios quando tratados sobre todas as atividades correntes em execução. A Tabela 14 apresenta o novo conjunto. As condições nas regras consideram os valores das variáveis (17), (18), (19), (22), (23) e (24).

Tabela 14. Subconjunto de 5 regras condição-ação embutidas no ACon.

Id	Regras Condição-Ação: Conjunto de Atividades
5	se (VAFcustoProjeto > 0 && VAFtempoProjeto < 0) então faça Ação 05
6	se (VAFcustoProjeto < 0 && VAFtempoProjeto > 0) então faça Ação 06
7	se (VAFcustoProjeto < 0 && VAFtempoProjeto < 0) então faça Ação 07
8	se (VAFcustoProjeto < 0 && VAFtempoProjeto == 0) então faça Ação 08
9	se (VAFcustoProjeto == 0 && VAFtempoProjeto < 0) então faça Ação 09

A condição na sexta regra permite detectar situações em que ocorre um desvio negativo de recursos (orçamento) e um atraso no tempo sobre o tempo total do projeto. A ação Ação 06 corresponde às descrições das ações preventivas e corretivas e dos efeitos destas ações obtidos com as simulações. Abaixo, conforme realizado para as ações do primeiro subconjunto, as descrições das ações e seus efeitos enviados ao gerente são apresentados na Tabela 15:

Tabela 15. Ação 06 do agente ACon.

Atividade X e Y	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- Para terminar o projeto dentro do orçamento, o desempenho das atividades deve melhorar em K%.
ATIVIDADE CORRENTE	X: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	Y: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
SUCCESSORAS	L: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	M: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	...
	Z: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
AÇÃO CORRETIVA:	- Compensação de custo sobre as atividades sucessoras fora do caminho crítico - Compensação de tempo entre as atividades correntes
NOVAS ESTIMATIVAS	X: novo custoAtividade = novo custo estimado da atividade nova duracaoAtividade = duração da atividade nova R = nova folga t_{LS} = início tarde novo t_{LF} = nov tempo de término tarde
	Y: novo custoAtividade = novo custo estimado da atividade nova duracaoAtividade = duração da atividade nova R = nova folga t_{LS} = início tarde novo t_{LF} = nov tempo de término tarde
	L: novo custoAtividade = novo custo estimado da atividade duracaoAtividade = duração da atividade R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	M: novo custoAtividade = novo custo estimado da atividade duracaoAtividade = duração da atividade R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	...
	Z: novo custoAtividade = novo custo estimado da atividade duracaoAtividade = duração da atividade R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde

A Ação 06 considera correções para desvios considerando o conjunto de atividades correntes. Neste caso, a ação preventiva para as atividades X e Y indica que para terminar o projeto dentro do orçamento, o seu desempenho sobre o conjunto de atividades correntes deve melhorar. Como ação corretiva, para a ação Ação 06 é proposta a compensação de custo sobre as atividades sucessoras fora do caminho crítico. Além disso, o tempo de execução de uma atividade corrente que estava excedido, é compensado sobre o tempo de outra atividade corrente. Com isso, os tempos destinados à execução do conjunto de atividade correntes são balanceados considerando esta situação (Ação 06). Logo, o custo, a duração e as folgas das atividades correntes são atualizados juntamente com os custos das atividades sucessoras.

De acordo com a Ação 07 aplicada às atividades em conjunto X e Y, as ações preventivas informam ao gerente o desempenho que deve aumentar para que as atividades em execução possam finalizar dentro do tempo estimado e custo previsto. As ações corretivas contemplam compensações de tempo e custo entre as atividades sucessoras às atividades correntes, que estão fora do caminho crítico. Realizando essas compensações, as atividades sucessoras têm seus custos reduzidos, porém seu cronograma é adequado com base na redução das folgas dessas atividades. São selecionadas as que estão fora do caminho crítico para não colocar em risco o cronograma do projeto, já que as atividades do caminho crítico não possuem folga.

No caso da sétima regra, a condição detecta os desvios negativos de custo e tempo sobre o total do projeto (Tabela 16).

Tabela 16. Ação 07 do agente ACon.

Atividade X e Y	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- Para terminar dentro do orçamento, o IDC das atividades correntes devem melhorar a um IDPT. Para isso, o esforço deve aumentar em K%. - VAFcusto = variação de custo da atividade ao final do projeto. - VAFtempo = variação de tempo da atividade ao final do projeto.
ATIVIDADE CORRENTE	X: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
SUCESSORAS	Y: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde
	. . .
	Z: custoAtividade = custo orçado para esta atividade. duracaoAtividade = duração desta atividade. R = folga t_{LS} = início tarde t_{LF} = término tarde

Tabela 16. Ação 07 do agente ACon (Continuação).

AÇÃO CORRETIVA:	- Compensação de custos entre as atividades sucessoras fora do caminho crítico; - Compensação de tempo entre as atividades sucessoras fora do caminho crítico.
NOVAS ESTIMATIVAS	L: novo custoAtividade = novo custo estimado da atividade nova duracaoAtividade = nova duração estimada da atividade nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde
	M: novo custoAtividade = novo custo estimado da atividade nova duracaoAtividade = nova duração estimada da atividade nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde
	...
	D: novo custoAtividade = novo custo estimado da atividade nova duracaoAtividade = nova duração estimada da atividade nova R = nova folga novo t_{LS} = novo tempo de início tarde novo t_{LF} = novo tempo de término tarde

A Ação 07 considera correções para desvios considerando o conjunto de atividades correntes. Neste caso, a ação preventiva para as atividades X e Y indica que para terminar o projeto dentro do orçamento, o seu desempenho (custo e tempo) sobre o conjunto de atividades correntes deve melhorar. Como ações corretivas, considerou a compensação de custo e tempo sobre as atividades sucessoras fora do caminho crítico. Em consequência, as atividades sucessoras tiveram seus custos e tempos atualizados juntamente com suas folgas e tempos de início e término tarde.

Para este trabalho foram implementadas as Ações 06 e 07 porque demonstram situações difíceis de um projeto quando se trata de tomada de decisão. Mais especificamente, tanto a ação 06 como a 07 demonstram situações em que variações negativas no orçamento e cronograma acontecem ao mesmo tempo, o que agrava ainda mais a situação do projeto. Já as Ações 05, 08 e 09, consideram situações em que as atividades possuem variações negativas hora no orçamento, hora no cronograma. Isso faz com que o gerente possa tomar decisões mais rápidas, já que as mudanças (correções) podem ocorrer nas próprias atividades correntes.

5.2 Ações de Controle

Segundo o PMBoK [PMBoK, 2009], algumas técnicas de correções de desvios são recomendadas para minimizar perdas sobre os objetivos do projeto. Para este trabalho cada uma dessas técnicas foi configurada e implementada de acordo com o tipo de desvio detectado e impacto desses desvios. As ações de controle aqui propostas trabalham sobre duas vertentes: aplicadas sobre atividades separadas e sobre atividades em conjunto. As Seções

5.2.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4 e 5.2.5 apresentam os tipos de ações de controle sugeridas. Para cada uma dessas ações, são apresentadas as duas possíveis ocasiões (atividades separadas e em conjunto) quando necessário. Para esta abordagem, consideramos “ações para atividades em conjunto” como sendo ações aplicadas sobre as atividades que estão sendo executadas simultaneamente.

5.2.1 Compressão (Hora-extra)

Essa técnica é utilizada quando, por algum motivo, ocorreu atraso no cronograma relacionado ao plano inicial. Exemplos de compressão poderiam incluir a aprovação de horas-extras, recursos adicionais ou o pagamento para a aceleração da entrega das atividades do caminho crítico. Para este trabalho, utilizamos horas-extras para suprir as necessidades do cronograma.

Essa técnica é sugerida a partir do momento que uma atividade está prestes ou já ultrapassou seu limite, ou seja, seu término tarde (t_{LF}). Neste caso, com base na atividade corrente, a correção é realizada sobre suas atividades sucessoras de maior folga, que não estão incluídas no caminho crítico. Neste trabalho, a princípio, a compensação do tempo é realizada sobre duas atividades sucessoras que satisfazem essa condição. Caso essa compensação sobre as duas atividades sucessoras não seja satisfeita, outra atividade sucessora é selecionada para realizar a compensação e assim por diante. São 5 os passos que configuram essa ação:

- 1 Verificar se, através da $VAFTempo$, a quantidade necessária de horas-extra para terminar a atividade dentro do prazo;
- 2 Verificar a variação de custo ($VAFcusto$) ao final da atividade;
- 3 Se a variação de custo for positiva ($VAFcusto > 0$), ir para o passo 4. Se a variação for igual a zero ($VAFcusto = 0$), ir para o passo 5. Se for menor que zero ($VAFcusto < 0$), outra ação corretiva é proposta: compensação entre os objetivos de orçamento e cronograma;
- 4 Para $VAFcusto > 0$, compensar esse excedente do orçamento em horas de mão-de-obra, através das equações (25) e (26):

$$\text{horasDisponiveis} = (VAFcusto / 70) \quad (25)$$

$$\text{compensacao} = (\text{horasDisponiveis} + VAFTempo); \quad (26)$$

se esse excedente suprir a quantidade de horas ($\text{compensacao} \geq 0$), finalizar a correção;
- 5 Quando $VAFcusto = 0$ ($\text{compensacao} < 0$), realizar a compensação de horas sobre as duas próximas atividades sucessoras fora do caminho crítico de maior folga, ou seja, realizar o suprimento de horas sobre a folga dessas duas atividades empregando-se as equações (27) e (28):

$$\text{sobraCompensacao} = \text{compensacao} * (-1) \quad (27)$$

$$\text{quocienteTempo} = (\text{sobraCompensacao} / 2) \quad (28)$$
- 6 Quando $VAFcusto < 0$, calcular a folga das duas atividades sucessoras fora do

caminho crítico (equação 29) e, a seguir, calcular as novas estimativas dos tempos de início tarde (t_{LS}) e término tarde (t_{LF}) dessas atividades, conforme ilustra as equações (30) e (31):

$$\text{novaFolgaSucessora} = \text{folgaAtividade} - \text{quocienteTempo} \quad (29)$$

$$\text{novaEstimativaTls} = \text{tlsAtividade} - (\text{quocienteTempo} / 2) \quad (30)$$

$$\text{novaEstimativaTlf} = \text{tlfAtividade} - (\text{quocienteTempo} / 2) \quad (31)$$

As variáveis `novaEstimativaTls` e `novaEstimativaTlf` indicam as novas datas de início tarde e término tarde das atividades, respectivamente, considerando que sua folga diminuiu de `quocienteTempo`. Quando dividido por dois, esse quociente é subtraído proporcionalmente entre o t_{LS} e t_{LF} . Assim, baseado nas equações (25)-(31), pode-se afirmar que as horas-extras são gerenciadas com base no orçamento da própria atividade corrente e/ou com base nas folgas das atividades sucessoras.

5.2.2 Paralelização

Paralelismo é uma técnica de compressão de cronograma onde fases ou atividades normalmente executadas em sequência são executadas em paralelo. Nem sempre essa técnica poder ser utilizada, pois atividades possuem interdependências e isso dificulta a paralelização. A paralelização é uma alternativa para minimizar o desvio negativo sobre o cronograma do projeto. Na abordagem proposta, essa técnica só é aplicada sobre atividades do caminho crítico, mais especificamente, considerando que um desvio de tempo sobre uma atividade do caminho crítico pode comprometer a data de entrega do projeto. Quando o cronograma do projeto é comprometido por algum motivo, ou seja, quando uma atividade do caminho crítico tem seu cronograma alterado negativamente, a paralelização se torna uma saída para minimizar a perda de tempo. São 6 os passos para a realização dessa técnica:

- 1 Verificar a variação de tempo ao final da atividade corrente (*VAFTempo*);
- 2 Se essa variação for negativa (*VAFTempo* < 0), informar ao gerente que, naquele momento, o projeto está atrasado em (*atrasoAtual*), conforme ilustra a equação (32):

$$\text{atrasoAtual} = (\text{VDP} / 70) \quad (32)$$

- 3 Buscar a próxima atividade sucessora no caminho crítico e indicar ao gerente que esta deve ser iniciada imediatamente;
- 4 Calcular as novas estimativas de custo e tempo da atividade corrente e informar ao gerente;
- 5 Calcular o novo tempo total do projeto (*novoTempoProjeto*) considerando o atraso (*atrasoAtual*) relativo ao desvio detectado, conforme ilustrado na equação (33):

$$\text{novoTempoProjeto} = \sum \text{duracaoAtividade} + \text{atrasoAtual} \quad (33)$$

- 6 Ao final, informar ao gerente o quanto o projeto está atrasado para uma

possível avaliação, e simultaneamente apresentar as novas estimativas de tempo do projeto para que o gerente possa tomar decisão e sugerir as mudanças com base nas novas estimativas.

A variável `novoTempoProjeto` consiste no somatório da duração das atividades ($\sum duracaoAtividade$) que sucedem a atividade corrente e fazem parte do caminho crítico adicionado ao atraso atual (`atrasoAtual`).

5.2.3 Compensação de orçamento em cronograma

Compensar orçamento em cronograma consiste em transformar recursos em horas de trabalho. Para esta abordagem, essa técnica de compensação é aplicada sobre as atividades do caminho crítico. Particularmente, as atividades do caminho crítico devem ser trabalhadas como casos especiais, pois elas não contêm folgas e isso faz com que qualquer atraso comprometa a data de entrega do projeto. Quando acontece esse atraso, a solução é sugerida através do uso da variável homem-hora, definida no Capítulo 4 deste trabalho.

A princípio, o agente trabalha apenas com duas atividades sucessoras. Caso essa compensação sobre as duas atividades sucessoras não seja satisfeita, outra atividade sucessora é selecionada para realizar a compensação e assim por diante. São 4 os passos seguidos pelo agente para a realização desta ação:

- 1 Verificar a variação de custo (VAF_{custo}) da atividade corrente;
- 2 Buscar as atividades sucessoras que estão fora do caminho crítico;
- 3 Selecionar as duas sucessoras de maior folga e subtrair o custo homem-hora, proporcionalmente, entre essas atividades (equações 34 e 35), gerando uma nova estimativa de custo para as duas sucessoras:

$$quocienteCusto = (VAF_{custo} / 2) \quad (34)$$

$$novaEstimativaCusto = custoAtividade - quocienteCusto \quad (35)$$
- 4 Transformar recursos em horas de mão-de-obra e subtrair essas horas proporcionalmente, entre as duas atividades sucessoras (equação 36). A seguir, novas folgas são calculadas para estas atividades (equação 37):

$$quocienteTempo = (quocienteCusto / 70) \quad (36)$$

$$novaFolgaSucessora = folgaAtividade - quocienteTempo \quad (37)$$
- 5 Calcular as novas estimativas dos tempos de início tarde (t_{LS}) e término tarde (t_{LF}) das atividades sucessoras fora do caminho crítico, conforme ilustra as equações (38) e (39):

$$novaEstimativaTls = TlsAtividade - (quocienteTempo / 2) \quad (38)$$

$$novaEstimativaTlf = TlfAtividade - (quocienteTempo / 2) \quad (39)$$

A variável `novaFolgaSucessora` representa o cálculo das novas folgas das duas atividades sucessoras de maior folga fora do caminho crítico. As variáveis

`novaEstimativaTls` e `novaEstimativaTlf` indicam as novas datas de início tarde e término tarde das atividades, respectivamente, considerando que a folga de cada uma das atividades diminuiu de `quocienteTempo`. Quando dividido por dois, esse quociente é subtraído proporcionalmente entre o T_{LS} e T_{LF} . Por se tratar de uma atividade do caminho crítico, a compensação de orçamento em cronograma na própria atividade é um risco para o cronograma do projeto, pois não existem folgas nestas atividades para que elas possam se beneficiar de algum atraso no cronograma. Por isso, sempre é proposto alterar orçamento e cronograma das atividades que estão fora do caminho crítico, reduzindo assim esses riscos.

5.2.4 Compensação de custo entre atividades

Essa técnica é aplicada sobre duas vertentes: considerando a atividade corrente separadamente e sobre o conjunto de atividades correntes. Para a correção de atividades individuais, a técnica só é aplicada sobre aquelas que estão fora do caminho crítico. Considerando ações para atividades individuais, 4 passos ilustram esse processo:

- 1 Verificar a variação de custo (*VAFCusto*) ao final da atividade corrente;
 - 2 Buscar as atividades sucessoras que estão fora do caminho crítico;
 - 3 Selecionar as duas sucessoras de maior folga e divide, proporcionalmente, entre essas atividades (equação 40):
- $$\text{quocienteCusto} = (\text{VAFCusto} / 2) \quad (40)$$
- 4 Gerar novas estimativas de custo para as duas atividades sucessoras (equação 41):
- $$\text{novaEstimativaCusto} = \text{custoAtividade} - \text{quocienteCusto} \quad (41)$$

Quando ações são geradas para atividades correntes em conjunto, os passos para essa correção ocorrem da seguinte maneira:

- 1 Verificar a variação de custo ao final do projeto sobre o conjunto de atividades correntes (*VAFCustoProjeto*) através da equação (42):
- $$\text{VAFCustoProjeto} = \sum \text{VAFCustoAtivCorrentes} \quad (42)$$
- 2 Buscar as atividades sucessoras das atividades correntes que estão fora do caminho crítico;
 - 3 Compensar a *VAFCustoProjeto* sobre todas as atividades fora do caminho crítico que sucedem às atividades correntes (*qtdeSucessoras*), como ilustra as equações (43) e (44):
- $$\text{quocienteCustoProjeto} = \text{VAFCustoProjeto} / \text{qtdeSucessoras} \quad (43)$$
- $$\text{novaEstimativaCusto} = \text{custoAtividade} - \text{quocienteCustoProjeto} \quad (44)$$

A variável $VAF_{custoProjeto}$ consiste no somatório das variações de custo de todas as atividade em execução. A variável $novaEstimativaCusto$ representa o cálculo dos novos custos das atividades sucessoras fora do caminho crítico das atividades correntes em execução, após a realização das compensações.

5.2.5 Compensação de tempo entre atividades

Assim como a compensação de custos, essa técnica também é aplicada sobre as vertentes: atividade corrente separadamente e sobre o conjunto de atividades correntes. Porém, quando considerada a atividade separada, a ação corretiva proposta é a hora-extra, mencionada na Seção 5.2.1. Considerando as atividades correntes em conjunto, a realização da correção acontece da seguinte forma:

1 Verificar a variação de tempo ao final do projeto sobre o conjunto de atividades correntes ($VAF_{tempoProjeto}$) através da equação (45):

$$VAF_{tempoProjeto} = \sum VAF_{tempoAtivCorrentes} \quad (45)$$

2 Buscar as atividades sucessoras das atividades correntes que estão fora do caminho crítico;

3 Compensar a $VAF_{tempoProjeto}$ sobre a folga de todas as atividades fora do caminho crítico que sucedem às atividades correntes ($qtdeSucessoras$), como ilustram as equações (46) e (47):

$$quocienteTempoProjeto = VAF_{tempoProjeto} / qtdeSucessoras \quad (46)$$

$$novaEstimativaFolga = folgaAtividade - quocienteTempoProjeto \quad (47)$$

4 Calcular as novas estimativas dos tempos de início tarde (T_{LS}) e término tarde (T_{LF}) das atividades sucessoras fora do caminho crítico, conforme ilustram as equações (48) e (49):

$$novaEstimativaTls = TlsAtividade - (quocienteTempoProjeto / 2) \quad (48)$$

$$novaEstimativaTlf = TlfAtividade - (quocienteTempoProjeto / 2) \quad (49)$$

A variável $VAF_{tempoProjeto}$ consiste no somatório das variações de tempo de todas as atividade em execução. A variável $novaEstimativaFolga$ representa o cálculo das novas folgas das atividades sucessoras fora do caminho crítico das atividades correntes em execução, após realizado as compensações. As variáveis $novaEstimativaTls$ e $novaEstimativaTlf$ indicam as novas datas de início tarde e término tarde das atividades, respectivamente, considerando que a folga da atividade diminuiu de $quocienteTempoProjeto$. Quando dividido por dois, esse quociente é subtraído proporcionalmente entre o t_{LS} e t_{LF} .

6 AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM

Para a avaliação da abordagem proposta foi desenvolvida uma plataforma de experimentação e três situações principais foram experimentadas. A Seção 6.1 apresenta algumas das principais classes envolvidas na concepção da plataforma relacionadas com os agentes AMon e ACon. A Seção 6.2 apresenta os resultados de simulações com o agente AMon monitorando as atividades A e B, presentes no diagrama de atividades apresentado na Seção 4.2 deste trabalho, cada uma em um cenário diferente no que diz respeito a escopo, tempo e custo. A Seção 6.3 apresenta os resultados de simulações com o agente ACon controlando as atividades A e B individualmente, ou seja, propondo ações corretivas e preventivas considerando o primeiro conjunto de quatro regras descrito na Tabela 9 do Capítulo 5. Finalizando, a seção 6.4 apresenta os resultados de simulações com o agente ACon controlando as atividades A e B em conjunto (simultaneamente), ou seja, propondo ações corretivas e preventivas considerando o segundo conjunto de quatro regras descrito na Tabela 14 do Capítulo 5.

6.1 Plataforma de Experimentação

Os agentes propostos neste trabalho foram desenvolvidos utilizando a ferramenta de desenvolvimento Eclipse. Como linguagem de programação, utilizou-se JAVA com o auxílio do *framework* JADE¹ (*Java Agent Development Framework*). Em JADE o agente de software possui um comportamento, definido nos casos dos agentes AMon e ACon uma ação, que pertence aos conjunto de ações possíveis para os agentes no ambiente de tarefa. Para que esses comportamentos possam ser disparados, o código que implementa esta funcionalidade em JADE deve estar em uma classe, a qual herda as funcionalidades da classe `jade.core.Behaviour`.

Uma classe especificando um comportamento de agente possui dois métodos:

- `action()` – contém o código referente ao comportamento a ser executado pelo agente; e
- `done()` – devolve um valor booleano, indicando se o comportamento foi finalizado ou não.

¹ JADE: É um *middleware* de agentes que implementa uma plataforma distribuída e um *framework* de desenvolvimento para sistemas multi-agentes. Esse framework pode ser encontrado em: <http://jade.tilab.com/>

A execução dos comportamentos do agente na plataforma JADE é constituída por três níveis básicos [BELLIFEMINE et al., 2007]:

1. Inicialização: consiste na execução do método `setup()`;
2. Realização da tarefa: representa o nível de execução dos comportamentos do agente. O escalonador seleciona o primeiro comportamento da fila e executa seu método `action()`. Após a execução deste método, certifica-se da finalização do comportamento com o método `done()`. Caso este comportamento ainda não esteja finalizado, o escalonador captura o próximo comportamento da lista de comportamentos ativos, colocando este comportamento ainda não finalizado no final da fila, para ser posteriormente executado, ou seja, este comportamento é bloqueado até que chegue sua vez de ser executado. Quando um comportamento é finalizado, é removido da lista de comportamentos ativos e enviado para a lista de comportamentos bloqueados;
3. Limpeza e finalização: Consiste da execução de métodos específicos para finalização do agente (`takeDown()`).

Os agentes envolvidos neste trabalho foram concebidos de acordo com esses três níveis de execução. A figura presente no Anexo A deste documento apresenta, genericamente, o ciclo de evolução dos agentes propostos levando em consideração esses três níveis ou fases proposto por [BELLIFEMINE et al., 2007]. Considerando esse ciclo de evolução e os níveis de execução dos agentes, duas classes foram desenvolvidas: a classe `AgenteAMon.java` e a classe `AgenteACon.java`. Essas classes herdam as propriedades da classe pai `Agent`, que, por definição, configura e define os agentes de monitoramento e controle. A Figura 12 ilustra o caso do agente `AMon`.

```
public class AgenteAMon extends Agent {

    protected void setup() {
        System.out.println(" # Agente " + getLocalName() + " inicializado...");

        addBehaviour(new SimpleBehaviour(this){
            .
            .
            .
        });

        addBehaviour(new CyclicBehaviour(this){
            .
            .
            .
        });
    }

    protected void takeDown(){
        System.out.println(" # Agente " + getLocalName() + " finalizado!");
    }
}
```

Figura 12. Classe `AgenteAMon.java`.

Como podemos observar na Figura 12, a classe `AgenteAMon.java` só é inicializada quando o método `setup()` é executado. A seguir, a linha de código `addBehaviour(new SimpleBehaviour(this))` indica que este agente possui um comportamento do tipo *simpleBehaviour*. Esse tipo indica que o comportamento é executado apenas uma vez. Para isto, deve-se importar a classe `jade.core.behaviours.SimpleBehaviour`.

A Figura 13 ilustra o método *simpleBehaviour* de maneira mais detalhada. Na Figura, o método `done()` retorna *verdadeiro* quando o número de interações for maior que uma quantidade de interações do agente com o ambiente, conforme o gerente desejar, indicando o fim do comportamento. O método `action()`, responsável pela execução do comportamento, invoca a função `ver()` que por sua vez, chama a função *próximo()* para realizar os cálculos do estado interno do agente de monitoramento. Após esses cálculos, o estado interno é definido como um objeto e enviado através de uma mensagem para o receptor (ACon).

```
addBehaviour(new SimpleBehaviour(this){
    public void action(){
        if(K == 2){
            try {
                ver();
            } catch (IOException e) {
                // TODO Auto-generated catch block
                e.printStackTrace();
            }
        }

        try {
            if(K == 2){
                ACLMessage msg = new ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
                msg.addReceiver(new AID("ACon", AID.ISLOCALNAME));
                msg.setContentObject(estadoInterno);
                myAgent.send(msg);
            }
            K++;
        } catch (IOException ex){
            System.out.println("Erro ao enviar mensagem!");
        }
    }

    public boolean done(){
        if (K > 5) {
            myAgent.doDelete();
            return true;
        } else {
            return false;
        }
    }
});
```

Figura 13. Comportamento *simpleBehaviour* da classe `AgenteAMon.java`.

A Figura 14 apresenta a linha de código `addBehaviour(new CyclicBehaviour(this))`, indicando que o agente possui um comportamento cíclico, ou

seja, este comportamento se mantém ativo enquanto o agente estiver ativo na plataforma. Isso é uma característica do agente AMon, pois ele fica atentado às mudanças no ambiente.

```
addBehaviour(new CyclicBehaviour(this){
    public void action(){
        ACLMessage msg = myAgent.receive();
        if(msg != null){
            String content = msg.getContent();
            System.out.println();
            System.out.println("Reply: " + msg.getSender().getLocalName() + " - " + content);
        } else {
            block();
        }
    }
});
```

Figura 14. Comportamento *cyclicBehaviour* da classe *AgenteAMon.java*.

O método `action()` recebe a resposta enviada pelo agente ACon, conforme pode ser percebido na Figura 14, confirmando o recebimento das informações sobre o estado interno do agente AMon. Essa resposta é do tipo *String* que contém em seu corpo a mensagem: “Estado interno do AMon recebido!”. Caso a mensagem tenha um valor nulo, o método `block()` é ativado e o comportamento é bloqueado até que uma nova mensagem chegue ao agente. Para a utilização do comportamento *cyclicBehaviour*, é necessário herdar as funcionalidades da classe `jade.core.behaviours.CyclicBehaviour`.

A Figura 15 trata o caso do agente ACon apresentando a classe *AgenteACon.java*. O funcionamento desta classe é ativado a partir do recebimento das informações sobre o estado interno enviadas pelo agente AMon.

```
public class AgenteACon extends Agent {
    .
    .
    .
    protected void setup() {
        System.out.println("Agente " + getLocalName() + " inicializado!");
        System.out.println();
        System.out.println(" # Aguardando o Agente AMon enviar seu Estado Interno...");

        addBehaviour(new CyclicBehaviour(this) {
            .
            .
            .
        });
    }

    protected void takeDown() {
        System.out.println(" # Agente " + getLocalName() + " finalizado!");
    }
}
```

Figura 15. Classe *AgenteACon.java*.

O agente ACon também incorpora um comportamento do tipo cíclico, ficando atento às mensagens de saída do agente AMon e, sempre que houver percepções, ele executa o método `ver ( )` descrito na Figura 16. Esse método percebe o objeto enviado pelo agente

AMon e estrutura-o como um *array*. O agente ACon retorna continuamente uma mensagem (*reply*) confirmando o recebimento deste objeto.

```
public void ver(Agent myAgent) throws IOException {
    ACLMessage msg = receive();
    if (msg != null) {
        try {
            ACLMessage reply = msg.createReply();
            this.estadoInternoAMon = (double[][][]) msg.getContentObject();

            // configurando Reply.
            reply.setPerformative(ACLMessage.INFORM);
            reply.setContent("Estado Interno do AMon recebido!");
            myAgent.send(reply);

            this.proximo();
        } catch (Exception e) {}
    } else {
        block();
    }
}
```

Figura 16. Método *ver()* da classe *AgenteACon.java*.

O método *próximo()* é acionado e o estado interno do ACon é então atualizado. A classe *AgenteACon.java* também herda os atributos da classe pai *Agent*, como ilustrado na Figura 16. A principal característica dos comportamentos cíclicos é que eles nunca finalizam. O método *action()* desse comportamento é sempre executado, pois *done()* sempre retorna *false*. A Figura 17 ilustra o comportamento cíclico do agente ACon.

```
addBehaviour(new CyclicBehaviour(this) {
    public void action() {
        try {
            ver(myAgent);
        } catch (Exception e) {}
    }
});
```

Figura 17. Comportamento *cyclicBehaviour* da classe *AgenteACon.java*.

A comunicação entre os agentes AMon e ACon representa a “espinha dorsal” do processo que envolve esta abordagem. Essa comunicação garante o funcionamento do agente ACon uma vez que sua ação é definida com base nas percepções do agente AMon. É também através dessa comunicação que o agente ACon toma conhecimento do que está acontecendo no ambiente e, conseqüentemente, realiza as atualizações, como por exemplo, a determinação de um novo caminho crítico.

A troca de mensagens na plataforma JADE, como acontece entre os agentes AMon e ACon, realiza-se mediante mensagens FIPA-ACL² (*Foundation for Intelligent*

² FIPA: É uma organização da sociedade de normas IEEE que promove a tecnologia baseada em agente e a interpolaridade de seus padrões através de outras tecnologias. Pode ser encontrada em: <http://www.fipa.org/>

Physical Agents). O *framework* disponibiliza um mecanismo assíncrono de mensagens. Cada agente possui uma fila de mensagens (caixa de entrada). No momento desejado pelo agente este pode ler apenas a primeira mensagem, ou ler as mensagens que satisfazem algum critério. As mensagens trocadas são instanciadas da classe `jade.lang.acl.ACLMessage` [JADE WIKISPACE, 2013].

6.2 Funcionamento do Agente AMon

Conforme o Capítulo 4 ilustra, a concepção do agente AMon considera que o agente interage com o ambiente de projeto periodicamente, buscando perceber os valores de seis variáveis de estado (*T*, *duracaoAtividade*, *custoAtividade*, *planejadaCompleta*, *realCompleta*, *custoRealAtiv*). Sempre que necessário, o agente deve enviar para o projetista mensagens de alerta indicando diferenças positivas ou negativas entre os estados corrente e desejado das atividades de projeto. Esta seção apresenta os resultados das interações do agente AMon com um ambiente de projeto simulado, mas que pode ser configurado para gerar diferentes cenários de satisfação orçamento/escopo das atividades do projeto ao final dos tempos estimados.

No modelo do ambiente concebido, o tempo estimado para o término de uma atividade e seu custo total, do ponto de vista do modelo, representados por (*duracaoAtividade*) e (*custoAtividade*), são inicializados e mantêm-se constantes até o final das simulações. A porcentagem desejada do trabalho planejado, PC, a porcentagem realizada do trabalho planejado, RC, e os gastos realizados, CR, também devem ser inicializados, mas variam com o tempo, T. Mais especificamente, o modelo incorpora os valores iniciais na definição dos comportamentos das variáveis PC, RC e CR em função do tempo:

$$PC(T) = ((1 - PC1) * (T/duracaoAtividade) + PC1 \quad (50)$$

$$RC(T) = (1 - \delta RC - RC1) * (T/duracaoAtividade) + RC1 \quad (51)$$

$$CR(T) = (custoAtividade - \delta CR - CR1) * (T/duracaoAtividade) + CR1 \quad (52)$$

onde T representa o tempo atual da atividade, PC1 e RC1 representam respectivamente as porcentagens desejada e realizada da atividade planejada no início das simulações; CR1 representa o custo real da atividade no início; δRC representa a porcentagem não realizada da atividade planejada e δCR o valor acima/abaixo do orçamento gasto/economizado ao final do tempo da atividade, tal que as duas condições abaixo devem ser satisfeitas:

$$0 \leq \delta RC < 1 - RC1 \quad (53)$$

$$CR1 - custoAtividade < \delta CR \leq \%custoAtividade \quad (54)$$

Considerando as condições descritas nas equações (51) e (52) para atribuição de valores aos parâmetros do modelo, δ_{RC} e δ_{CR} , foram configurados seis cenários diferentes para simulação das interações, K , do AMon com as atividades no ambiente do projeto. Genericamente, cada cenário é descrito em termos do nível de satisfação alcançado no trabalho realizado e em seu custo ao final do tempo estimado para duração da atividade (*duracaoAtividade*). A Tabela 17 descreve os cenários simulados, considerando três alternativas possíveis de níveis de satisfação escopo/custo ao final das simulações, ou seja: insatisfação (-), satisfação (•) e mais que satisfação (+). A Tabela também apresenta as regras que foram ativadas pelo agente nas interações que manteve com as 14 atividades do ambiente de projeto devidamente parametrizado.

Tabela 17. Cenários de Interação AMon/Ambiente.

Cenário	δ_{RC}	δ_{CR}	Nível de Satisfação		Regras Ativadas
			Escopo	Custo	
I	0	0	•	•	r1, r2, r4, r5, r7, r8, r10, r11
II	0	$-0.3 * \text{custoAtividade}$	•	+	r1, r2, r4, r5, r7, r8, r10, r11
III	0	$0.3 * \text{custoAtividade}$	•	-	r1, r2, r4, r5, r7, r9, r10, r12
IV	0.1	0	-	•	r1, r2, r3, r4, r5, r6, r7, r9, r10, r12
V	0.2	$-0.3 * \text{custoAtividade}$	-	+	r2, r3, r5, r6, r7, r8, r10, r11
VI	0.3	$0.3 * \text{custoAtividade}$	-	-	r2, r3, r5, r6, r7, r9, r10, r12

Nos três primeiros cenários as atividades do projeto realizaram 100% do trabalho planejado ao final do tempo estimado. No Cenário I o trabalho realizado consumiu exatamente o que tinha sido previsto. No Cenário II o trabalho da atividade conseguiu economizar 30% do orçamento. No Cenário III, ultrapassou o orçamento em 30%. Nos outros três cenários, entretanto o trabalho planejado não foi concretizado. No Cenário IV exatamente 10% deixou de ser realizado. No Cenário V, 20% não foi finalizado. No Cenário VI, ao todo, 30% deixou de ser entregue no tempo previsto.

No que diz respeito à parametrização necessária à simulação das interações do agente com as atividades do ambiente, para a avaliação das regras ativadas por AMon na Tabela 17, foi suficiente realizar seis interações ($K = 1, \dots, 6$) para cada uma das atividades do projeto, considerando o tempo e o custo de cada uma delas. Para apresentar os resultados do modelo concebido neste trabalho, escolheu-se aleatoriamente as duas primeiras atividades do projeto, A e B, configuradas no ambiente de execução dos agentes, descrito na Seção 4.2.

A Tabela 18 apresenta o *log* das principais informações processadas pelo agente AMon na primeira ($K = 1$), na segunda ($K = 2$) e na última interação ($K = 6$) do agente com o ambiente configurado no Cenário III, considerando a atividade A com duração estimada em 10 unidades de tempo ($T = 0 \dots 10$) e os seguintes valores iniciais para as variáveis expressas

em (50)-(52), percebidos pelo agente AMon: $\text{custoAtividade} = 700$ unidades de moeda; $\text{PC1} = 30\%$, $\text{RC1} = 45\%$, $\text{CR1} = 315$.

Tabela 18. Saídas de *ver*, *próximo* e *ação* do AMon em seis interações no Cenário III para a atividade A.

K	Percepção ^K				Ei ^K				Re ^K	Ação ^K
	T	PC	RC	CR	IDP	VDP	IDC	VC		
1	0	0.30	0.45	315.0	1.5	105.0	1.0	0.0	2 5 7 10	Cronograma Adiantado. 105.0 Adiantado Cronograma. Dentro Orçamento. Dentro Orçamento.
2	4	0.4	0.52	406.0	1.3	84.0	0.89	-42.0	2 5 9 12	Cronograma Adiantado 84.0 Adiantado Cronograma Acima Orçamento -42.0 Acima Orçamento
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	10	1.0	1.0	910.0	1.0	0.0	0.76	-210	1 4 9 12	Dentro Cronograma. Dentro Cronograma. Acima Orçamento. -210.0 Acima Orçamento.

No Cenário III, onde ocorre satisfação quanto a escopo e insatisfação de custo ao final da atividade, foram ativadas oito das doze regras mantidas internamente por AMon. Na primeira interação com o ambiente ($K = 1$), o agente percebeu os parâmetros que foram inicializados no modelo do ambiente, atualizou seu estado interno e ativou o subconjunto de regras correspondentes, ou seja, as regras 2, 5, 7 e 10, cujos consequentes contém as mensagens de mais que satisfação de escopo e satisfação de custo. São estas mensagens que são enviadas para o gerente e para o agente de controle ACon.

Na segunda interação ($K = 2$), o agente percebeu os parâmetros que foram inicializados no modelo do ambiente, atualizou seu estado interno e ativou as regras 2, 5, 9 e 12, cujos consequentes contém as mensagens de mais que satisfação no cronograma e insatisfação de custo no projeto. Na última interação ($K = 6$) o agente agiu corretamente enviando as mensagens de satisfação de cronograma e insatisfação de custo, conforme os consequentes das regras 1, 4, 9 e 12.

A Tabela 19 apresenta o *log* das principais informações processadas pelo agente AMon na primeira ($K = 1$), na segunda ($K = 2$) e na última interação ($K = 6$) do agente com o ambiente configurado no Cenário V, considerando a atividade B como a outra atividade em andamento, com duração estimada igual a 5 unidades de tempo ($T = 0...5$) e os seguintes valores iniciais para as variáveis expressa em (50)-(52): $\text{custoAtividade} = 350$ unidades de moeda; $\text{PC1} = 30\%$, $\text{RC1} = 45\%$, $\text{CR1} = 157.5$.

Tabela 19. Saídas de *ver*, *próximo* e *ação* do AMon em seis interações no Cenário V para a atividade B.

K	$Percepção^K$				Ei^K				Re^K	$Ação^K$
	T	PC	RC	CR	IDP	VDP	IDC	VC		
1	0	0.3	0.45	157.5	1.5	52.5	1.0	0.0	2 5 7 10	Cronograma Adiantado. 52.5 Frente Cronograma. Dentro Orçamento. Dentro Orçamento.
2	2	0.4	0.28	77.0	0.7	-42.0	1.27	21.0	3 6 8 11	Cronograma Atrasado. -42.0 Atrás Cronograma. Abaixo Orçamento. 21.0 Abaixo Orçamento.
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	5	1.0	0.7	192.5	0.7	-105.0	1.27	52.49	3 6 8 11	Cronograma Atrasado. -105.0 Atrás Cronograma. Abaixo Orçamento. 52.49 Abaixo Orçamento.

Conforme esperado, a primeira interação com o ambiente no Cenário V ocorreu da mesma maneira que no Cenário III. Entretanto, na segunda ($K = 2$) e na última interação, o agente se comportou de maneira diferente do ocorrido no Cenário III. Na segunda interação o agente ativou as regras 3, 6, 8 e 11, enviando mensagens indicando insatisfação quanto a escopo e mais que satisfação quanto a custo. Na última interação, o agente continuou enviando mensagens de insatisfação quanto a escopo e mais que satisfação quanto a custo.

O Cenário III, considerando a atividade A, e o Cenário V, considerando a atividade B, ilustram duas situações em que cada uma das doze regras do AMon foi ativada em pelo menos uma das seis interações registradas. Conforme pode ser observado nas Tabelas 18 e 19, o agente respondeu racionalmente às percepções capturadas do ambiente nas diversas interações que realizou. As mensagens enviadas ao ambiente condizem integralmente com a realidade do trabalho do projeto. Da mesma maneira, realizando-se uma análise das regras que foram ativadas nos outros seis cenários descritos na Tabela 17, é possível observar que o agente também respondeu adequadamente. De acordo com os resultados apresentados, o agente AMon apresentou um comportamento racional, enviando mensagens coerentes de acordo com as informações ambientais que percebeu.

6.3 Funcionamento do Agente ACon Controlando Atividades Separadas

Esta seção avalia o funcionamento do ACon considerando o primeiro conjunto de quatro regras descrito na Tabela 9, no Capítulo 4. Neste caso, ações corretivas e preventivas são selecionadas considerando-se que duas ou mais atividades são executadas independentemente umas das outras. Assim a seleção de ações considera as informações relacionadas à atividade onde será realizado o reparo, sem levar em consideração o desempenho de atividades que estejam sendo executadas simultaneamente. Esta seção

apresenta duas simulações com o agente ACon envolvendo duas atividades em cenários diferentes.

A primeira simulação considera o Cenário III na Tabela 17 e as saídas correspondentes geradas pelo agente AMon para a atividade A, na Tabela 18 descrita na Seção 5.2. Na tabela 18, na segunda interação ($K=2$) com o ambiente, a quatro unidades de tempo de execução do projeto ($T=4$), o agente AMon enviou para o agente ACon um pacote de informação contendo mensagens de monitoramento e informações sobre seu estado interno. A Tabela 20 esquematiza as informações no pacote de informações percebido pela função *ver* do agente ACon na segunda interação. Além das informações enviadas pelo agente AMon, o agente ACon percebe outras informações do ambiente de execução da atividade A.

Tabela 20. Informações enviadas por AMon e pelo Ambiente de execução para ACon.

Cenário III - Atividade A - $K = 2$ e $T = 4$	
Estado Interno AMon	Valores das Variáveis
VP	280.0
VA	364.0
IDP	1.30
VDP	84.0
IDC	0.89
VC	- 42.0
Ações AMon	Adiantado no cronograma. 84.0 adiantado no cronograma
	Acima do orçamento. -42.0 acima do orçamento.
Percepções Ambiente	Valores das Variáveis
<i>idAtividade</i>	1
<i>custoRealAtiv</i>	406.0
<i>realCompleta</i>	0.52
<i>duraçãoAtividade</i>	10.0
precedentes	--

Ao perceber o pacote de informações acima, a função *próximo* do agente ACon atualiza seu estado interno empregando a formulação descrita no Capítulo 4. A Tabela 21 esquematiza as informações que foram atualizadas no estado interno do agente ACon depois que percebeu algumas das informações na Tabela 20.

Tabela 21. Estado Interno Agente ACon.

Cenário III - Atividade A - $K = 2$ e $T = 4$	
Estado Interno	Val. Variáveis
...	...
<i>ETcusto</i>	786.51
<i>EPTcusto</i>	380,51
<i>VAFcusto</i>	- 80.76
<i>PercVAFcusto</i>	11%
<i>IDPT</i>	24.63%
<i>ETtempo</i>	7.69
<i>EPTtempo</i>	- 2.31
<i>VAFtempo</i>	2.31
<i>PercVAFtempo</i>	23%

Tabela 21. Estado Interno Agente ACon (Continuação).

<i>custoAtividade</i>	700.0
<i>duraçãoAtividade</i>	10.0
t_{ES}	0.0
t_{EF}	10.0
t_{LF}	10.0
t_{LS}	0.0
R	0.0

Além destas informações, a função **próximo** atualiza o efeito das quatro ações nos consequentes das regras condição-ação na Tabela 9, conforme o esquema adotado no Capítulo 5 para a descrição de cada uma das ações corretivas/preventivas para o agente ACon. Em seguida, depois da atualização de estado interno, a função **ação** do agente age no ambiente.

Na primeira etapa, considerando os valores das variáveis componentes do estado interno do agente ACon, percebidas por ACon para a atividade A, a função **ação** selecionou a primeira regra condição-ação na Tabela 9, ou seja, que tem uma condição em seu antecedente ($IDP > 1.0 \ \&\& \ VDP > 0.0 \ \&\& \ IDC < 1.0 \ \&\& \ VC < 0.0$) que é satisfeita pelos valores atuais percebidos pelo agente ($IDP = 1.30$; $VDP = 84.0$; $IDC = 0.89$; $VC = -42.0$). Na segunda etapa, a função seleciona a ação no consequente da regra, ou seja, a Ação 01, considerada cabível para o tipo de desvio detectado. A Tabela 22 apresenta a especificação da Ação 01, enviada para o gerente na segunda interação que o agente ACon manteve com o ambiente.

Tabela 22. Ações preventivas, corretivas e novas estimativas para a atividade A.

Cenário III - Atividade A (ACon)	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- Para finalizar dentro do orçamento, o desempenho deve melhorar em 24.63%. - $VAF_{custo} = -80.76$
ATIVIDADE CORRENTE	A: $custoAtividade = 700.0$ $duracaoAtividade = 10.0$ $R = 0.0$ - $t_{LS} = 0.0$ - $t_{LF} = 10.0$
SUCCESSORAS	L: $custoAtividade = 700.0$ $duracaoAtividade = 10.0$ $R = 35.0$ $t_{LS} = 50.0$ $t_{LF} = 60.0$
	M: $custoAtividade = 1750.0$ $duracaoAtividade = 25.0$ $R = 35.0$ $t_{LS} = 60.0$ $t_{LF} = 85.0$
	I: $custoAtividade = 350.0$ $duracaoAtividade = 5.0$ $R = 15.0$ $t_{LS} = 60.0$ $t_{LF} = 65.0$
	H: $custoAtividade = 700.0$ $duracaoAtividade = 10.0$ $R = 10.0$ $t_{LS} = 55.0$ $t_{LF} = 65.0$

Tabela 22. Ações preventivas, corretivas e novas estimativas para a atividade A (Continuação).

AÇÃO CORRETIVA:	- Compensação de custo entre as duas atividades sucessoras de maior folga.
NOVAS ESTIMATIVAS	A: novo custoAtividade = 786.51 nova duracaoAtividade = 7.69 R = 0.0 $t_{LS} = 0.0$ $t_{LF} = 10.0$
	L: novo custoAtividade = 659.61 nova duracaoAtividade = 10.0 nova R = 34.42 novo $t_{LS} = 49.71$ nov $t_{LF} = 59.71$
	M: novo custoAtividade = 1709.0 nova duracaoAtividade = 25.0 nova R = 34.42 novo $t_{LS} = 59.71$ novo $t_{LF} = 84.71$

Como pode ser observado na Tabela 22, a ação preventiva para a atividade A, o IDPT (índice de desempenho para terminar) indica que para terminar a atividade no custo estimado, deve-se aumentar o desempenho em 24,63%. Ao final da atividade, estima-se que o custo irá ultrapassar em 80.76 unidades de moeda. Assim, como ação corretiva, foi proposto uma compensação de custos entre duas atividades sucessoras fora do caminho crítico com maior folga, ou seja, as atividades L e M. Dependendo da intensidade do desvio detectado mais que duas atividades com folga podem ser consideradas. As atividades no caminho crítico são preservadas visando minimizar riscos quanto ao cumprimento do cronograma do projeto, uma vez que um desvio sobre uma atividade do caminho crítico pode comprometer o término do projeto. Adicionalmente, novas estimativas de custos foram geradas a partir da correção desse desvio.

A segunda simulação considera o Cenário V na Tabela 19 e as saídas correspondentes geradas pelo agente AMon para a atividade B, na Tabela 14 descrita na Seção 5.1. Na tabela, na segunda interação (K=2) com o ambiente o agente AMon enviou para o agente ACon um pacote de informação contendo mensagens de monitoramento e informações sobre seu estado interno. A Tabela 23 esquematiza as informações no pacote de informações percebido pela função *ver* do agente ACon na segunda interação. Algumas destas informações foram enviadas pelo agente AMon, enquanto que outras foram percebidas por ACon a partir do ambiente sobre a atividade B.

Tabela 23. Informações enviadas por AMon e pelo Ambiente de execução para ACon.

Cenário V - Atividade B - K = 2 e T = 4	
Estado Interno AMon	Valores das Variáveis
VP	140.0
VA	98.0
IDP	0.7
VDP	- 42.0
IDC	1.27
VC	21.0
Ações AMon	Atrasado no cronograma. - 42.0 atrasado no cronograma.
	Abaixo do orçamento. 21.0 abaixo do orçamento.
Percepções Ambiente	Valores das Variáveis
<i>idAtividade</i>	2
<i>custoRealAtiv</i>	77.0
<i>realCompleta</i>	0.28
<i>duraçãoAtividade</i>	5.0
precedentes	--

Ao perceber o pacote acima, a função *próximo* do agente ACon atualizou seu estado interno. A Tabela 24 esquematiza as informações atualizadas no estado interno do agente depois que percebeu algumas das informações na Tabela 23.

Tabela 24. Estado Interno Agente ACon.

Cenário V - Atividade B - K = 2 e T = 4	
Estado Interno	Val. Variáveis
...	...
<i>ETcusto</i>	275.59
<i>EPTcusto</i>	198.59
<i>VAFcusto</i>	74.41
<i>PercVAFcusto</i>	21%
<i>IDPT</i>	92%
<i>ETtempo</i>	7.14
<i>EPTtempo</i>	2.14
<i>VAFtempo</i>	-2.14
<i>PercVAFtempo</i>	42%
<i>custoAtividade</i>	350.0
<i>duraçãoAtividade</i>	5.0
t_{ES}	0.0
t_{EF}	5.0
t_{LF}	10.0
t_{LS}	5.0
R	5.0

Com a atualização de estado interno, considerando os valores das variáveis componentes do estado interno do agente AMon, a função *ação* selecionou a segunda regra condição-ação na Tabela 9, ou seja, que tem uma condição em seu antecedente ($IDP < 1.0 \ \&\& \ VDP < 0.0 \ \&\& \ IDC > 1.0 \ \&\& \ VC > 0.0$) que é satisfeita pelos valores atuais percebidos pelo agente ($IDP = 0.7$; $VDP = -42.0$; $IDC = 1.27$; $VC = 21.0$). Em seguida, a função seleciona a ação no consequente da regra, ou seja, a Ação 02, considerada cabível para o tipo

de desvio detectado. A Tabela 25 apresenta a especificação da Ação 02, enviada para o gerente na segunda interação que o agente ACon manteve com o ambiente.

Tabela 25. Ações preventivas, corretivas e novas estimativas para a atividade B.

Cenário V - Atividade B (ACon)	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- VAFcusto = 75.0 - VAFtempo = - 2.14
ATIVIDADE CORRENTE	B: custoAtividade = 350.0 duracaoAtividade = 5.0 R = 5.0 t _{LS} = 5.0 t _{LF} = 10.0
SUCCESSORAS	L: custoAtividade = 700.0 duracaoAtividade = 10.0 R = 35.0 t _{LS} = 50.0 t _{LF} = 60.0
	M: custoAtividade = 1750.0 duracaoAtividade = 25 .0 R = 35.0 t _{LS} = 60.0 t _{LF} = 85.0
	D: custoAtividade = 1050.0 duracaoAtividade = 15.0 R = 20.0 t _{LS} = 25.0 t _{LF} = 40.0
	I: custoAtividade = 350.0 duracaoAtividade = 5.0 R = 15.0 t _{LS} = 60.0 t _{LF} = 65.0
	H: custoAtividade = 700.0 duracaoAtividade = 10.0 R = 10.0 t _{LS} = 55.0 t _{LF} = 65.0
AÇÃO CORRETIVA:	- Hora-extra.
NOVAS ESTIMATIVAS	B: novo custoAtividade = 275.59 nova duracaoAtividade = 7.14 R = 0.0 t _{LS} = 5;0 t _{LF} = 10.0
	L: novo custoAtividade = 700.0 nova duracaoAtividade = 10.0 nova R = 34.46 novo t _{LS} = 49.73 nov t _{LF} = 59.73
	M: novo custoAtividade = 1750.0 nova duracaoAtividade = 25.0 nova R = 34.46 novo t _{LS} = 59.73 novo t _{LF} = 83.73

De acordo com Ação 02 aplicada à atividade de B, como ação preventiva foi informado ao gerente que ao final desta atividade, o custo será de 75.0 abaixo do previsto e seu tempo será ultrapassado em -2.14 unidade de tempo. Para solucionar o desvio negativo

relacionado ao cronograma, foi proposta a ação corretiva horas-extra. Como existe um excesso de 75.0 unidades de moeda, foi realizada uma compensação, ou seja, transformou-se esse ganho em horas de trabalho. Entretanto, como o desvio não foi sancionado por completo, foi compensado, aleatoriamente, o restante de horas a serem trabalhadas sobre a folga das duas atividades sucessoras fora do caminho crítico de maior folga: L e M. Adicionalmente, devido a redução dessas folgas, sugeriram novas estimativas de t_{LS} (início tarde) e t_{LF} (término tarde) com o objetivo de não comprometer o cronograma dessas atividades.

As simulações realizadas sobre as atividades A e B buscaram ilustrar o processamento das informações realizadas pelo agente ACon e avaliar o resultado das ações que o agente seleciona em dois cenários específicos. Outros cenários podem ser testados buscando conhecer o efeito das outras ações nos consequentes das quatro regras condição-ação na Tabela 9 do Capítulo 4. Porém, para este trabalho as simulações para as ações 1 e 2 foram suficientes para testar e avaliar que os consequentes dessas ações atendem de forma adequada as situações que o agente percebe.

A próxima seção apresenta alguns resultados quando o agente de controle seleciona ações considerando que várias atividades estão em execução.

6.4 Funcionamento do Agente ACon Controlando Atividades em Conjunto

Nos processos de desenvolvimento de software é possível observar que em determinado momento do desenvolvimento, uma ou mais atividades podem ser executadas simultaneamente dependendo de suas pré-condições e seus tempos de início cedo ou tarde. Esta seção apresenta os resultados de simulações com o agente ACon percebendo os desvios relacionados a custo e tempo de atividades, que estão em execução simultânea durante um período de tempo, e selecionando ações visando corrigir os desvios em cada uma das atividades em execução. Assim, mais especificamente, a seção aborda a avaliação do agente quanto à utilização do subconjunto composto de cinco regras na Tabela 14 no Capítulo 5.

A simulação considera que a atividade A no Cenário III e a atividade B no Cenário V, ambos os cenários descritos na Tabela 17, estão em execução simultânea na segunda interação ($K=2$) com o ambiente, a quatro unidades de tempo de execução do projeto ($T=4$). As Tabelas 18 e 19 apresentam as saídas correspondentes geradas pelo agente AMon respectivamente para as atividades A e B em seus cenários. As Tabelas 20 e 23 apresentam as informações enviadas pelo agente AMon e pelo ambiente de execução, percebidas pela função *ver* do agente ACon, respectivamente a respeito das atividades A e B. As Tabelas 21 e

24 apresentam as informações no estado interno, atualizadas pela função *próximo* do agente, a respeito das duas atividades.

Em resumo, a respeito da atividade A o agente ACon sabe que está “adiantado no cronograma e acima do orçamento”, e a respeito da atividade B que está “atrasado no cronograma e abaixo do orçamento” a respeito do monitoramento da atividade B. Estas duas informações consideradas simultaneamente pela função *ação* do agente geram ações preventivas/corretivas diferentes do caso em que as atividades são tratadas independentemente. Assim, considerando os valores das variáveis componentes do estado interno do agente AMon, percebidas por ACon para as duas atividades, a função *ação* selecionou a sexta regra condição-ação do grupo de regras, ou seja, a segunda regra na Tabela 14 do Capítulo 5, isto é, que tem a condição satisfeita em seu antecedente ($VAFcustoProjeto < 0 \ \&\& \ VAFtempoProjeto > 0$). Em seguida, a função seleciona a Ação 06, no consequente da regra, considerada cabível para os desvios detectados. A Tabela 26 apresenta a especificação da Ação 06, enviada para o gerente na segunda interação.

Tabela 26. Ações preventias, corretivas e novas estimativas.

Cenário III - Atividade A / Cenário V – Atividade B (ACon)	
AÇÕES PREVENTIVAS:	- Para terminar o projeto dentro do orçamento, o desempenho deve melhorar em 5%. - O atraso no cronograma da atividade B (-2.14) foi compensado pelo cronograma adiantado da atividade A (2.31).
ATIVIDADES CORRENTES	A: custoAtividade = 700.0 duracaoAtividade = 10.0 R = 0.0 $t_{LS} = 0.0$ $t_{LF} = 10.0$
	B: custoAtividade = 350.0 duracaoAtividade = 5.0 R = 5.0 $t_{LS} = 5.0$ $t_{LF} = 10.0$
SUCESSORAS	L: custoAtividade = 700.0 duracaoAtividade = 10.0 R = 35.0 $t_{LS} = 50.0$ $t_{LF} = 60.0$
	M: custoAtividade = 1750.0 duracaoAtividade = 25.0 R = 35.0 $t_{LS} = 60.0$ $t_{LF} = 85.0$
	D: custoAtividade = 1050.0 duracaoAtividade = 15.0 R = 20.0 $t_{LS} = 25.0$ $t_{LF} = 40.0$
	I: custoAtividade = 350.0 duracaoAtividade = 5.0 R = 15.0 $t_{LS} = 60.0$ $t_{LF} = 65.0$
	H: custoAtividade = 700.0 duracaoAtividade = 10.0 R = 10.0 / $t_{LS} = 55.0$ / $t_{LF} = 65.0$

Tabela 26. Ações corretivas e novas estimativas (Continuação).

AÇÃO CORRETIVA:	- Compensação de custo sobre as atividades sucessoras fora do caminho crítico. - Compensação de cronograma entre as atividades correntes.
NOVAS ESTIMATIVAS	A: novo custoAtividade = 786.51
	B: novo custoAtividade = 275.59
	L: novo custoAtividade = 698.84
	M: novo custoAtividade = 1748.84
	I: novo custoAtividade = 348.84
	H: novo custoAtividade = 698.84
	D: novo custoAtividade = 1048.84

Conforme a Tabela 26 indica, a ação corretiva proposta pelo agente ACon, ou seja, a Ação 06, recomenda a compensação de custos sobre as atividades sucessoras das atividades A e B, e que não estão no caminho crítico: L, M, I, H e D. As atividades no caminho crítico são preservadas visando minimizar riscos quanto ao cumprimento do cronograma do projeto, uma vez que um desvio sobre uma atividade do caminho crítico pode comprometer o término do projeto.

Após essa compensação, o agente ACon realizou o replanejamento, gerando novas estimativas para as atividades correntes A e B e para as atividades que sofreram reajuste no orçamento, ou seja, as atividades sucessoras L, M, I, H e D. Em relação ao cronograma do projeto, os reajustes foram realizados sobre as próprias atividades correntes, onde o tempo excedido de uma (B) foi sancionado pelo excesso de tempo da outra (A). Quando esse tempo for excedido e o término do projeto estiver comprometido, essa prática de compensação de tempo recai sobre as folgas das atividades sucessoras a estas.

Para as atividades em conjunto, foram realizadas várias simulações, porém neste capítulo apenas dois (III e V) dos seis cenários tiveram seus resultados apresentados. A decisão em apresentar apenas esses dois cenários foi devido a situações difíceis de escopo, custo e tempo que eles representam, e isso foi suficiente para avaliar a (i) plataforma de execução dos agentes, (ii) como esses agentes agem no ambiente (percepção), (iii) as ações como consequentes das regras propostas e a (iv) comunicação entre esses agentes.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente, este capítulo apresenta as principais contribuições da pesquisa. Em seguida, as considerações sobre a avaliação da abordagem foram elencadas para o melhor entendimento da formação dos cenários que foram utilizados nas simulações. Para concluir o capítulo, foram relatadas algumas limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

7.1 Contribuições da pesquisa

Este trabalho apresentou uma abordagem para a assistência inteligente no gerenciamento de projetos de software. A abordagem integra agentes inteligentes cujo comportamento é baseado na teoria do valor agregado e no método do caminho crítico, para auxiliar os gerentes e suas equipes no processo de monitoramento e controle de custo e tempo do trabalho do projeto.

Após a análise de metodologias, plataformas de desenvolvimento e técnicas que pudessem dar suporte a esta abordagem, foi constatado que o método do caminho crítico e a técnica do valor agregado eram as mais adequadas para o objetivo específico de auxiliar os gerentes de forma a avaliar desempenho e sugerir ações de controle e prevenções. Assim, a ideia de expor uma abordagem inteligente surgiu da viabilidade de agregar funcionalidades do guia PMBoK aos agentes inteligentes, para suprir necessidades de informações precisas de orçamento e cronograma para a gestão e acompanhamento dos processos de software.

A abordagem apresentada foi desenvolvida de forma genérica, logo ela pode ser utilizada para qualquer ambiente de desenvolvimento desde que se tenha um plano inicial definido e um gerente de projeto para alimentar o ambiente de execução com informações reais e atualizadas.

Considerando a complexidade dos processos e suas interações nem sempre aparentes, assim como também o volume de informação envolvida, a abordagem proativa para o monitoramento contínuo apresentou-se eficiente e o controle satisfatório baseado nos resultados dos estudos de casos realizados.

7.2 Considerações sobre a avaliação da abordagem

A plataforma de experimentação foi desenvolvida com o objetivo de reproduzir realidades e situações possíveis da execução de um projeto de desenvolvimento de software. Ela permite a evolução gradativa de um ambiente de desenvolvimento com base em um plano

de trabalho inicial relatado pelo gerente de projeto. A evolução desse ambiente ocorre de forma automatizada com base nos algoritmos implementados, porém algumas informações (custo e tempo) recorrentes do estado atual das atividades devem ser informadas pelo gerente.

Para atuarem nesse ambiente, o agente de monitoramento (AMon) e o de controle (ACon) foram desenvolvidos utilizando a plataforma de desenvolvimento JADE (*Java Agent Development Framework*), e simulações foram realizadas abordando diferentes cenários e aspectos para demonstrar diversas situações possíveis de um projeto de software. Baseado nos resultados apresentados observou-se que os agentes inteligentes e a técnica do valor agregado podem fornecer informações relevantes dentro do contexto de controle de processo de desenvolvimento de software.

7.3 Limitações e sugestões para trabalhos futuros

A técnica do valor agregado, segundo a literatura [PMI Inc., 2005], foi desenvolvida para ser aplicada sobre o projeto como um todo. Neste trabalho, com o objetivo de obter informações mais precisas e detalhadas durante o desenvolvimento de um projeto, foi sugerido utilizar o valor agregado para cada atividade em particular. Isso só foi possível porque, assim como o projeto, as atividades possuem algumas características comuns, como por exemplo, (i) o custo relacionado ao seu desenvolvimento, (ii) o tempo de duração, (iii) escopo e (iv) datas de início e fim. A ideia de trabalhar com os atributos do valor agregado voltados para as atividades refletiram na escolha do método do caminho crítico. Como os atributos desse método são aplicados considerando cada atividade, o planejamento do cronograma de um projeto se torna mais eficiente.

Como trabalhos futuros, existem alguns que poderão ser desenvolvidos com o intuito de dar continuidade e enriquecer ainda mais o trabalho apresentado nesta dissertação. Dentre eles podem ser citados:

- i. Um refinamento das regras do agente de monitoramento com o objetivo de perceber aspectos menos aparentes do projeto;
- ii. Um refinamento nas regras do agente de controle para que novas ações possam ser capazes de atender um número maior de situações difíceis de serem controladas;
- iii. Incorporação nas regras do agente de controle as decisões relacionadas à margem de erro, já que desvios pouco aparentes estão sendo tratados de maneira geral;

- iv. É previsto o desenvolvimento de um *add-in* para uma ferramenta de gerência de projeto real em que ambos os agentes possam auxiliar os gerentes de projeto a tomarem decisões.

REFERÊNCIAS

- BARRA, R. (2010). Introdução ao Gerenciamento de Projetos e PMBoK. Grupo Synergia, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.slideshare.net/synergiaufmg/introduo-a-gerenciamento-de-projetos-e-pmbok-3368781>.
- BALASUBRAMANIAN, S.; BRENNAN, R. W.; NORRIE, D. H. (2001). “An architecture for metamorphic control of holonic manufacturing systems”, *Computer in Industry*, vol. 46, pp. 13-31.
- BELLIFEMINE, F. L.; CAIRE, G.; GRE-ENWOOD, D. (2007) “Developing Multi-Agent Systems with JADE (Wiley Series in Agent Technology)”. [S.l.]: John Wiley & Sons. ISBN 0470057475.
- BRADSHAW, J. M. (1997). *Software Agents*. MIT Press Cambridge, MA, USA.
- CASILLO, B. H. (2007). Agente auxiliando ambientes de Engenharia de Software Centrado em Processos. Dissertação de mestrado apresentada em 26 de Junho de 2007. INPE, São José dos Campos. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/09.03.17.24>.
- CHANG, Q.; JI, G.; LI, C. (2006). “The research to second-level earned value method for improve performance measurement of engineering project”, *Chinese Journal of Management Science*, vol. 14, no. 2, pp. 65-70.
- COCOMO II (2012). Constructive Cost Model II. Disponível em http://csse.usc.edu/csse/research/COCOMOII/cocomo_main.html
- CRUZ, F. (2010). Monitorando e Controlando, Passo 1. Disponível em <http://www.fabiocruz.com/pmbok%C2%AE/monitorando-e-controlando-2/>.
- DE SOUZA, L. L. C.; CORTES, M. I. ; CAMPOS, G. A. L. (2012) (a). Simulando o Monitoramento do Ambiente de Desenvolvimento: uma solução baseada em Agentes. In: XIII Ibero-American Conference on Artificial Intelligence - IBERAGENTS, 2012, Cartagena. Simulando o Monitoramento do Ambiente de Desenvolvimento: uma solução baseada em Agentes, 2012.
- DE SOUZA, L. L. C.; CORTES, M. I. ; CAMPOS, G. A. L. (2012) (b). Abordagem Inteligente para o Monitoramento e Controle de Processos de Software. In: III Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática - CBSOFT, 2012, Natal. Proceedings III AutoSoft, 2012.
- DE SOUZA, L. L. C.; CAMPOS, G. A. L. ; CORTES, M. I. ; QUEIROZ, A. C. P. (2013). Auxiliando nas Decisões Gerenciais de Projetos de Software com Agentes Inteligentes. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software, 2013, Salvador/BA. XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE SOFTWARE, 2013.
- EVELEENS, J. L.; VERHOEF, C. (2010). “The rise and fall of the Chaos report figures”, Vrije Universiteit Amsterdam. Publicado por IEEE Computer Society. Disponível em <http://www.cs.vu.nl/~x/chaos/chaos.pdf>
- FLEMING, Q.W.; KOPPELMAN, J.M. (2006). “Earned value project management”, 3rd ed.,

Project Management Institute, Atlanta.

- GALORATH, D. D.; GALORATH, J. (2006) “Achieving software development success - using best practice planning, estimation, tracking and control”, In: Software Measurement European Forum, Roma. Proceedings. Roma: SMEF, p. 293-304.
- GARCIA, C. A. L. (2009). Um método que integra métricas funcionais, COCOMO II e técnica do valor agregado com guia PMBoK”. Tese apresentada a pró-reitoria de pós-graduação e pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- GONÇALVES, E. J. T. (2009). Modelagem de Arquiteturas Internas de Agentes de Software Utilizando A Linguagem MAS-ML 2.0. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação da UECE, Centro de Ciência e Tecnologia. Fortaleza.
- FIPA - Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (2005). FIPA Standards Committee (FIPA SC) Policies and Procedures. Disponível em: http://www.jamesodell.com/FIPA_PandP.pdf.
- JADEWIKISPACES (2013). “Programación JADE”. Disponível em <http://programacionjade.wikispaces.com/Agentes>.
- JENNINGS, N. R. (2000). “On agent-based software engineering”, Em: Artificial Intelligent, v. 177, n. 2, pp. 277-296.
- JENNINGS, N. R. (2001). “An Agent-Based approach for building Complex Software Systems”, Em: Communications of the ACM, 44, pp. 35-39.
- KEDI, Z.; HONGPING, Y. (2010) “Application of Earned Value Analysis in Project Monitoring and Control of CMMI”. Em: 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(JCACTE), IEEE.
- LI, J.; WEI, C.; LI J.; LI Q. (2008). “Earned Value Project Management of Model-Centric Software Development”, Em: WICOM – 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Páginas: 1-4.
- NIENABER, R. C.; BARNARD, A. (2007) “A generic agent Framework to support the various software project management Processes”. Em: Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management. Volume 2.
- NIENABER, R. C. (2008) “A model for enhancing software project management using software agent technology”, Em: Universidade da África do Sul. Trabalho apresentado para o título de Doutor do Departamento de Ciência da Computação.
- O’CONNOR, R.; JENKINS, J. (1999). “Using Agents for Distributed Software Project Management”, Em: WETICE Proceedings of the 8th Workshop on Enabling Technologies on Infrastructure for Collaborative Enterprises, pp. 54-60. IEEE, Washington, USA.
- PARTOVI, F. Y.; BURTON, J. (1993). “Timing of Monitoring and Control of CPM Projects”. IEEE, Vol. 40, nº 1.
- PMBoK: Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBoK) (2009), 14 Campus Boulevard Newtown Square, Pennsylvania 19073-3299, Estados Unidos, 4ª Edição.

- PMI: Project Management Institute (PMI Inc.) (2005) “Practice Standart for Earned Value Management”, 1º Edição. USA: Project Management Institute, Inc..
- PRESSMAN, R. S. (2009). Engenharia de Software. 6 Ed. São Paulo: McGraw-Hill Brasil Técnicos.
- REN, Y.; XING, T.; CHAI, X.; QUAN, Q.; CHEN, X. (2010). “Study of Using Critical Path Method to Formulate the Algorithm of Software Project Schedule Planning”, Em: 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. IEEE.
- RUSSEL, S.; NORVIG, P. (2004) “Artificial Intelligent: A modern approach”, Nova Jersey, Estados Unidos, 2o Edição.
- SILVA, L.A.M. (2003). Estudo e desenvolvimento de sistemas multiagentes usando JADE Java Agent Development Framework. Fortaleza, UNIFOR.
- WANG, Y.; HEIJMANS, J. G. C.; HUA, L-K. (1989). “Program Evaluation and Review Technique (PERT). Volume 2, pp. 137-149, China.
- WANGENHEIM, C. G. (2013). Planejamento e Gestão de Projetos, PMP. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Em: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/br/>. Visitado em Janeiro de 2013.
- WEISS, G. (1999). “Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence”. MIT Press, Massachusetts.
- WU, C.; CHANG, W.; SETHI, I. (2009) “A Metric-Based Multi-Agent System for Software Project Management,” Em: Eight IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science.

ANEXO A

Esta Figura apresenta a forma genérica do ciclo de evolução dos agentes propostos neste trabalho considerando os três níveis ou fases: inicialização, execução dos comportamentos dos agentes e operações de finalização dos agentes [BELLIFEMINE et al., 2007].

