

Metodologia Tropos: Uma Análise do Estado-da-Arte por Meio de uma Revisão Sistemática

Giovane D’Avila Mendonça¹, Gilleanes T. A. Guedes¹

¹Universidade Federal do Pampa (Unipampa) - Campus Alegrete
Av. Tiarajú, 810 - Ibirapuitã, Alegrete – RS – Brazil
giovanedavila@gmail.com, gilleanesguedes@unipampa.edu.br

Abstract. *In this paper we analyze Tropos, a methodology for multi-agent systems development. This study has as its goal to establish the state-of-art of this methodology and to identify its strengths and weaknesses, mainly with regards to the requirements engineering. This way, we conducted a literature systematic review about this methodology, retrieving all relevant papers about it. Through this review we identified which stages of requirements engineering are covered by the methodology, what specific requirements for multi-agent system are identified and that Tropos supports partially the BDI model.*

Resumo. *Neste artigo analisamos Tropos, uma metodologia para desenvolvimento de sistemas multiagentes. Este estudo tem como objetivo estabelecer o estado-da-arte desta metodologia e identificar seus pontos fortes e fracos, sobretudo no que tange ao seu suporte à engenharia de requisitos. Dessa forma, conduzimos uma revisão sistemática da literatura sobre esta metodologia, recuperando todos os artigos considerados relevantes sobre ela. Por meio desta revisão identificamos quais etapas da engenharia de requisitos são cobertas pela metodologia, quais requisitos específicos para sistemas multiagentes são identificados e que Tropos suporta parcialmente o modelo BDI.*

1. Introdução

Sistemas multiagentes (SMAs) tem se tornado uma alternativa para o desenvolvimento de sistemas complexos [Labba et al. 2015]. Todavia o desenvolvimento deste tipo de software trouxe vários desafios para a engenharia de software, o que levou ao surgimento de uma nova área que mescla características tanto da Engenharia de Software como da Inteligência Artificial, denominada AOSE - Agent Oriented Software Engineering ou Engenharia de Software Orientada a Agentes. Os objetivos da AOSE envolvem criar metodologias, processos e linguagens de modelagem para o desenvolvimento específico de sistemas multiagentes.

Como não poderia deixar de ser, a AOSE se preocupa em adaptar a Engenharia de Requisitos - uma fase da Engenharia de Software que se preocupa em levantar, analisar, especificar e validar os requisitos do software para garantir a compreensão correta do que precisa ser desenvolvido [Fuentes-Fernandez et al. 2009] - de maneira a aplicá-la na construção de sistemas multiagentes. A Engenharia de Requisitos desempenha uma função crucial para o desenvolvimento de qualquer software pois, se as necessidades do software não forem corretamente compreendidas, o projeto não satisfará àqueles aos quais ele se destina.

Dentro deste contexto, a metodologia Tropos é uma metodologia para o desenvolvimento de sistemas multiagentes que cobre todo o ciclo de vida do desenvolvimento de software, apresentando ênfase na engenharia de requisitos. Essa metodologia permite estreitar a comunicação entre engenheiro de requisitos e analistas de negócios, a fim de reduzir a distância entre a análise de requisitos e a modelagem de processos de negócios [Montali et al. 2005].

Considerando a importância que Tropos dedica à engenharia de requisitos para sistemas multiagentes, desenvolvemos uma revisão sistemática com o objetivo de estabelecer o estado-da-arte desta metodologia, identificando seus pontos fortes e fracos, sobretudo com relação à como a metodologia adapta a engenharia de requisitos para o domínio de desenvolvimento de sistemas multiagentes.

Este artigo está estruturado da seguinte forma, a Seção 2 contém a fundamentação teórica; a Seção 3 apresenta o Protocolo da Revisão Sistemática; na Seção 4 os resultados da revisão são demonstrados e discutidos; por fim, na Seção 5, discorre-se sobre as considerações finais.

2. Fundamentação Teórica

Esta seção tem como objetivo apresentar conceitos relacionados ao tema deste artigo. Para isso, a Subseção 2.1 apresenta conceitos relacionados a Agentes e Sistema Multiagentes. A Subseção 2.2 apresenta conceitos de BDI. A Subseção 2.3 trata dos conceitos relacionados à Engenharia de Requisitos. Por fim a Subseção 2.4 apresenta o que é uma Revisão Sistemática.

2.1. Agentes e Sistemas Multiagentes

Um agente é um processo computacional, estabelecido em um ambiente, projetado para atingir um propósito por meio de um comportamento autônomo e flexível. O ambiente é o domínio de aplicação em que o agente agirá para atingir seus objetivos [Vicari and Gluz 2007].

Um sistema multiagente é composto por vários agentes inteligentes que interagem entre si [Wooldridge 2009]. O desenvolvimento deste tipo de sistema tem crescido e sido aplicado em diversas áreas [Liu et al. 2011], devido, entre outras razões, à sua capacidade de lidar com a complexidade [Boes and Migeon 2017].

2.2. Modelo BDI

O modelo BDI permite que os agentes tenham habilidades cognitivas para lidar com a dinâmica, incerta e ambientes complexos. Por meio deste modelo, agentes podem possuir estados mentais, tais como crenças, desejos e intenções [Chu and Lisitsa 2018].

Crenças são definidas como estados informativos sobre o ambiente de um sistema. Já os desejos são definidos como estados motivacionais ou metas a serem alcançadas pelos agentes. As intenções, por sua vez, são os estados deliberativos dos agentes que também podem ser definidos como comportamentos adotados para atingir as metas [Jo and Einhorn 2003] [Chu and Lisitsa 2018].

2.3. Engenharia de Requisitos

De acordo com [Berenbach et al. 2009], a engenharia de requisitos envolve todas as atividades do ciclo de vida do sistema, tendo como objetivos (I) identificar os requisitos do usuário, (II) analisar os requisitos para derivar requisitos adicionais, (III) documentar requisitos e (IV) validar os requisitos documentados.

No SWEBOK [Bourque et al. 2014] o processo de engenharia de requisitos aborda quatro subáreas principais: Elicitação de Requisitos, Análise de Requisitos, Especificação de Requisitos e Validação de Requisitos.

A Elicitação de Requisitos investiga como extrair requisitos e quais são suas origens. Esta subárea visa fornecer uma descrição do software que está sendo especificado utilizando técnicas para elicitación de requisitos tais como entrevistas, desenho de cenários, protótipos, observações, histórias de usuários, dentre outras técnicas. A Análise de Requisitos visa detectar e resolver conflitos entre requisitos, descobrir os limites do software e como ele deve interagir com seu ambiente organizacional e operacional, bem como elaborar requisitos de sistema para derivar novos requisitos de software.

A Especificação de Requisitos, por sua vez, produz documentos de requisitos que podem ser sistematicamente revisados, avaliados e aprovados. Por fim, a Validação de Requisitos avalia documentos de requisitos para garantir que os requisitos sejam compreensíveis, consistentes e completos.

2.4. Revisão Sistemática

De acordo com [Kitchenham 2007], revisão sistemática (RS) é uma técnica de pesquisa que tem como propósito identificar, selecionar, avaliar, interpretar e resumir os estudos disponíveis considerados relevantes para um tema de pesquisa ou fenômeno de interesse. Essa técnica busca estudos primários relacionados ao tema e fornece uma síntese mais profunda dos dados obtidos nestes estudos [Kitchenham and Brereton 2013].

Segundo [Biolchini et al. 2005], uma RS tem como base a definição de um protocolo previamente definido, que formaliza a execução da RS iniciando pela estipulação das questões de pesquisa, passando pelo estabelecimento dos critérios de seleção para inclusão e exclusão de estudos, seleção das bases digitais utilizadas para extração dos trabalhos relacionados com as palavras chaves aplicadas durante a busca nestas bases, concluindo com a definição de como os resultados serão apresentados.

3. Protocolo da Revisão Sistemática

Para atingir o objetivo deste trabalho de determinar o estado-da-arte da metodologia Tropos foi necessário produzir uma revisão sistemática. Para isso foi necessário definir um protocolo. Nesse protocolo foram definidas três questões de pesquisa:

1. “Quais fases da Engenharia de Requisitos são suportadas pela metodologia Tropos?”;
2. “Que requisitos específicos para Sistemas Multiagentes são identificados pela metodologia?”;
3. “Como a metodologia Tropos suporta o modelo BDI?”.

Tabela 1. Critérios de inclusão e exclusão.

Tipo	Critério
Inclusão	Estudos primários sobre a metodologia Tropos
Exclusão	Estudos não escritos em inglês
Exclusão	Estudos com menos de 5 páginas
Exclusão	Estudos que apenas citam a metodologia Tropos, sem detalhá-la.

Este protocolo também define a estratégia de seleção para determinar quais trabalhos serão incluídos e quais serão descartados. Na Tabela 1 são apresentados os critérios utilizados para inclusão e exclusão de estudos.

Para localizar os trabalhos foram utilizadas cinco bibliotecas digitais já conhecidas e amplamente utilizadas no meio acadêmico: I) *ACM Library*; II) *Engineering Village*; III) *IEEEExplore*; IV) *Scopus*; V) *Springer Link*. Também foi definido um conjunto de três palavras chaves para busca de trabalhos: *Tropos*, *Requirements*, *Multi-Agent System*. Para aumentar a abrangência de trabalhos retornados foram adicionados mais dois sinônimos: *Multiagent System*, *Agent System*.

Após identificados os termos centrais foi construída uma String de busca, conforme pode ser observada na Figura 1. No entanto, é importante observar que para obter os resultados desejados a String foi adaptada em cada base de dados para atender critérios particulares destas bibliotecas. Para seleção de trabalhos nas bases de dados a String foi executada buscando os termos no Título, Resumo e Palavras Chave.

Com objetivo de verificar a precisão da String de busca foi definido um conjunto de três artigos de controle, intitulados “*Tropos An Agent-Oriented Software Development Methodology*”, “*The Tropos Software Engineering Methodology*” e “*The tropos methodology*”. Na sequência a String foi executada na base da Scopus e verificou-se que os trabalhos retornados continham o conjunto de artigos previamente estabelecidos.

Para seleção de estudos, foram definidas 5 etapas: I) Executar a String de busca nas bases de dados; II) remover os estudos duplicados; III) aplicar os critérios de exclusão de trabalhos; IV) aplicar os critérios de inclusão nos estudos remanescentes da Etapa III; V) ler e extrair as informações dos estudos remanescentes na Etapa IV.

A condução da Revisão Sistemática foi realizada por dois avaliadores. Cada avaliador leu todos os trabalhos retornados na String de busca e aplicou os critérios de inclusão e exclusão, classificando o trabalho como aceito ou não aceito. Para os trabalhos com avaliações diferentes foi iniciado uma discussão que terminou apenas quando houve concordância na classificação final do trabalho.

```
("tropos") AND ("requirements") AND  
("multi-agent" OR "multiagent system" OR "agent system")
```

Figura 1. String de busca genérica

4. Resultados

Após a execução da String de busca na Etapa I, foram obtidos 138 estudos. A partir deste grupo de estudos verificou-se a existência de trabalhos duplicados e, após estes serem eliminados, obteve-se 68 estudos remanescentes. Na Etapa III restaram 19 estudos após aplicados os critérios de exclusão. Em seguida, na Etapa IV, depois de aplicado o critério de inclusão, restaram apenas 8 estudos primários sobre a metodologia. Finalmente, na Etapa V os 8 artigos selecionados foram estudados e analisados e suas informações foram extraídas.

4.1. Visão Geral dos Estudos

Com base nos estudos obtidos por meio desta revisão sistemática, percebemos que o projeto Tropos [Tropos 2019] foi lançado em outubro de 1999 tendo como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para construção de sistemas de software orientados a agentes [Mylopoulos et al. 2013].

Desde seu lançamento até os dias atuais esta metodologia vem sendo alvo de diversas pesquisas, tendo diversas extensões para aplicação em contextos variados, segundo [Liu and Xu 2011] ela está sendo utilizada com sucesso em diferentes campos, tais como sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo, redes de telecomunicações, veículos espaciais e sistemas médicos.

Na seção seguinte respondemos às questões de pesquisa com base nos trabalhos selecionados na Etapa V do Protocolo apresentado na Seção 3.

4.2. Respondendo às questões de pesquisa

Com relação à primeira questão de pesquisa, que busca determinar “Quais fases da Engenharia de Requisitos são suportadas pela metodologia Tropos?”, verificamos que, segundo [Morandini et al. 2014] Tropos suporta as subáreas de elicitação, análise, especificação e validação de requisitos. A etapa de engenharia de requisitos nesta metodologia é fortemente orientada a objetivos. Estes objetivos são úteis, de acordo com [Lei et al. 2015], para representar as necessidades e expectativas dos interessados, oferecendo uma maneira intuitiva de elicitar e analisar requisitos.

A etapa de análise inicial de requisitos visa estabelecer o conhecimento antecipado do problema [Liu and Xu 2011], já a subárea de especificação é coberta com atividades de modelagem de interações entre atores e seus relacionamentos com objetivos dentro de um sistema multiagente [Liu and Xu 2011] [Morandini et al. 2014]. A partir destas especificações são derivados os casos de testes que são utilizados na etapa de validação de requisitos com o objetivo de validar as interações entre agentes [Morandini et al. 2014].

No que tange à segunda questão de pesquisa, em que buscou-se verificar “Quais requisitos específicos para Sistemas Multiagentes são identificados pela metodologia?”, segundo o estudo de [Lei et al. 2015] os elementos básicos do meta modelo Tropos procuram identificar atores, objetivos, objetivos soft (*soft goals*), tarefas, recursos de agentes e objetivo de decomposição. Já segundo os estudos de [Morandini et al. 2014] e [Mouratidis et al. 2016] estabelecem que durante a engenharia de requisitos são identificados os objetivos dos agentes, os papéis de agentes, os planos e as dependências entre agentes.

Como pode ser observado na Tabela 2 cinco estudos (E01, E03, E04, E05, E07) apresentam os requisitos específicos para sistemas multiagentes que são indentificados por Tropos. Estes requisitos são Planos de Agentes, Objetivos, Tarefas associados e recursos utilizados pelos agentes para atingir os objetivos. Por outro lado, os estudos E02 e E08 descrevem que a metodologia Tropos identifica apenas Objetivos, Tarefas e Recursos utilizados pelos agentes. Já o estudo E06 apresenta a identificação apenas de planos de agentes e objetivos associados.

Com isso, identificamos que a metodologia Tropos carece de mecanismos para identificar quando os objetivos se tornam intenções. Também não provê identificação de percepções dos agentes, tão fundamentais para que os objetivos de um agentes se tornem intenções.

Tabela 2. Requisitos Específicos para Sistemas Multiagentes.

Estudo	Planos	Objetivos	Tarefas	Recursos
E01 [Silva et al. 2007]	X	X	X	X
E02 [Penserini et al. 2007]		X	X	X
E03 [Liu and Xu 2011]	X	X	X	X
E04 [Bryl et al. 2008]	X	X	X	X
E05 [Giunchiglia et al. 2003]	X	X	X	X
E06 [Morandini et al. 2014]	X	X		
E07 [Bresciani et al. 2004]	X	X	X	X
E08 [Giorgini et al. 2004]		X	X	X

Por fim, quanto à última questão de pesquisa, “Como a metodologia Tropos suporta o modelo BDI?”, segundo [Morandini et al. 2014] a metodologia Tropos suporta parcialmente este modelo, tendo em vista que ela permite apenas a identificação de objetivos, planos, dependências e relações de contribuição entre agentes. Lei et al. [Lei et al. 2015] acrescenta que as crenças representam as informações de contexto, os estados internos possíveis e as ações que podem ser executadas pelo agente. Outra limitação da metodologia, de acordo com [Bresciani et al. 2004] é que ela não é adequada para utilização em agentes de softwares sofisticados que exigem mecanismos avançados de raciocínio para planos, metas e negociações.

5. Considerações Finais

Durante a execução da revisão sistemática identificamos diversos estudos que utilizam a metodologia Tropos como suporte ao desenvolvimento de sistemas multiagentes. Grande parte destes estudos utilizam a metodologia como base para extensão de novas abordagens. Todavia, verificamos que estes estudos não estão indexados no site oficial do Projeto Tropos [Tropos 2019], isto posto, demonstra que a partir de 2012 houve diversos estudos independentes da pesquisa central, o que demonstra a criação de variações da metodologia.

Observamos que a metodologia tem suporte às subáreas de elicitación, especificação, análise e validação de requisitos. Mas o foco principal da metodologia é apoiar as atividades de análise e projeto no processo de desenvolvimento de software. Requisitos funcionais e não funcionais são identificados a partir da dependência entre atores e o relacionamento entre os objetivos e os objetivos não funcionais (*soft goals*).

Um ponto negativo é que a metodologia carece de aprofundamento para atender integralmente ao modelo BDI. Para isso é necessário propor a identificação de requisitos

BDI desde as fases iniciais da Engenharia de Requisitos em Tropos. Os recursos de modelagem não permitem a identificação de quando os objetivos se tornam intenções. Também não provê recursos para identificação e modelagem de percepções dos agentes.

Um ponto forte da metodologia apontado por [Bresciani et al. 2004] refere-se ao fato que pode ser adaptada para uso integrado com outros processos e técnicas de engenharia de requisitos para sistemas multiagentes com objetivo de entregar sistemas de software robustos, confiáveis e utilizáveis. Para [Silva et al. 2007] Tropos é uma metodologia completa para identificar requisitos iniciais e provê recursos para identificação de requisitos tardios, não identificados nas fases iniciais.

Embora a metodologia Tropos apresente suporte para as quatro subáreas da engenharia de requisitos, ela carece de alguns elementos básicos para identificação de requisitos específicos de sistemas multiagentes, como percepções e intenções. Assim, percebemos que ainda há margem para evolução desta metodologia.

Referências

- Berenbach, B., Paulish, D., Kazmeier, J., and Rudorfer, A. (2009). *Software & systems requirements engineering: in practice*. McGraw-Hill, Inc.
- Biolchini, J., Mian, P. G., Natali, A. C. C., and Travassos, G. H. (2005). *Systematic review in software engineering*. System Engineering and Computer Science Department COPPE/UFRJ.
- Boes, J. and Migeon, F. (2017). Self-organizing multi-agent systems for the control of complex systems. *Journal of Systems and Software*, 134:12–28.
- Bourque, P., Fairley, R. E., et al. (2014). *Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK (R)): Version 3.0*. IEEE Computer Society Press.
- Bresciani, P., Perini, A., Giorgini, P., Giunchiglia, F., and Mylopoulos, J. (2004). Tropos: An agent-oriented software development methodology. *Kluwer Academic Publishers*.
- Bryl, V., Mello, P., Montali, M., Torroni, P., and Zannone, N. (2008). B-tropos agent-oriented requirements engineering meets computational logic for declarative business process modeling and verification.
- Chu, G. and Lisitsa, A. (2018). Poster: Agent-based (bdi) modeling for automation of penetration testing. *2018 16th Annual Conference on Privacy, Security and Trust (PST)*.
- Fuentes-Fernandez, R., Gomez-Sanz, J. J., and Pavon, J. (2009). Requirements elicitation and analysis of multiagent systems using activity theory. *IEEE*.
- Giorgini, P., Kolp, Manuel, M. J., and Pistore, M. (2004). The tropos methodology.
- Giunchiglia, F., Mylopoulos, J., and PeriniKuik, A. (2003). The tropos software development methodology: Processes, models and diagrams.
- Jo, C.-H. and Einhorn, J. M. (2003). A process for bdi agent-based software construction. *Proceedings of the International Conference on Software Engineering Research and Practise*.
- Kitchenham, B. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. Citeseer.

- Kitchenham, B. and Brereton, P. (2013). A systematic review of systematic review process research in software engineering.
- Labba, C., Bellamine ben Saoud, N., and Dugdale, J. (2015). Towards a conceptual framework to support adaptative agent-based systems partitioning. *IEEE*.
- Lei, Y., Kerong, B., and Zhiyong, H. (2015). *A Model Driven Agent-Oriented Self-Adaptive Software Development Method*. IEEE, 12th international conference on fuzzy systems and knowledge discovery edition.
- Liu, G., Zheng, L., and Zhu, T. (2011). Cooperative planning process modeling on daily dispatching plan in railway bureau based on multi-agent. *International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application*.
- Liu, X. and Xu, X. (2011). Requirement analysis for data warehouses based on the tropos.
- Montali, M., Torroni, P., and Zannone, N. (2005). Engineering and verifying agent-oriented requirements augmented by business constraints with b-tropos. *IFIRB-TOCAI RBNE05BFRK* – <http://www.dis.uniroma1.it/~tocai/>.
- Morandini, M., Dalpiaz, F., Nguyen, C. D., and Siena, A. (2014). The tropos software engineering methodology.
- Mouratidis, H., Argyropoulos, N., and Shei, S. (2016). Security requirements engineering for cloud computing: The secure tropos approach.
- Mylopoulos, J., Castro, J., and Kolp, M. (2013). *The Evolution of Tropos*. Springer, seminal contributions to information systems engineering edition.
- Penserini, L., Bresciani, P., Kuik, T., and Busetta, P. (2007). Using tropos to model agent based architectures for adaptive systems: a case study in ambient intelligence.
- Silva, M. J., Maciel, P. R., Pinto, R. C., Alencar, F., Tedesco, P., and Castro, J. (2007). Extracting the best features of two tropos approaches for the efcient design of mas. *X Conference Iberoamericana de Software Engineering*.
- Tropos (2019). Tropos project. In <http://www.troposproject.eu/biblio/>. Acesso em: 20-07-2019.
- Vicari, R. M. and Gluz, J. C. (2007). An intelligent tutoring system (its) view on aose. *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering*, 1(3-4):295–333.
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.