

1 Introdução

Sistemas multiagentes são sistemas descentralizados compostos de agentes inteligentes que desempenham suas tarefas de forma autônoma em um ambiente aberto, podendo ser reativos ou proativos, e possuem a habilidade de interagir com outros agentes [53]. Como os agentes coordenam suas ações de forma descentralizada através do envio e recebimento de mensagens, é difícil determinar o estado corrente do sistema ou ainda prever os efeitos de determinadas ações, justamente, por causa da ausência de coordenação central.

À medida que os agentes entram em execução e interagem entre si, eles se deparam com um alto grau de incerteza para tomadas de decisões. Isto aumenta a complexidade de planejamento de todas as possíveis situações que podem ocorrer durante a execução do sistema como um todo. E, para lidar com as incertezas associadas às interações de sistemas multiagentes abertos, faz-se necessário aumentar a confiabilidade destas interações no ambiente no qual os agentes vivem[8].

Além disso, sistemas críticos requerem que o comportamento global do sistema seja monitorado e as características estruturais do domínio sejam incorporadas [9]. Conceitos como regras organizacionais [10], normas e instituições [11][12], e estruturas sociais [13] surgem do fato de a engenharia de sistemas multiagentes oferecer conceitos e abstrações de alto nível e independente da implementação do agente que, explicitamente, definam a organização na qual os agentes “entram”, interagem com outros agentes para atingirem seus objetivos e “saem”. E, devido à dinamicidade do ambiente organizacional de sistemas multiagentes abertos, faz-se necessário verificar a conformidade do comportamento corrente da sociedade de agentes com o comportamento desejado pelo projetista do sistema multiagente para garantir uma maior confiabilidade do mesmo [14]. Esta verificação é feita através de leis, que são, por sua vez, as regras que podem ser definidas por engenheiros de sistemas multiagentes abertos *a*

priori, e servem para regular as interações dos agentes, garantindo que o comportamento emergente seja o esperado.

Além do problema do comportamento emergente, a possibilidade de falhas parciais é uma característica fundamental em sistemas distribuídos e, conseqüentemente, deve ser levada em consideração em sistemas multiagentes pela sua característica naturalmente distribuída. Considerando os esforços feitos pela comunidade de pesquisa em tolerância a falhas, que vem desenvolvendo soluções algorítmicas e arquiteturais notavelmente baseadas no conceito de replicação, uma nova técnica de replicação surgiu para resolver o problema de falhas em sistemas multiagentes e tem como princípio a replicação dos agentes. Como explicado em [15], a técnica de replicação de software em ambientes distribuídos possui três características que valem ser destacadas. Primeiro, por prover a base para recuperações de atraso a curto prazo. Segundo, por ser menos intrusiva com respeito ao tempo de execução. E terceiro e último, por ser mais escalável, o que é extremamente necessário para sistemas multiagentes abertos em larga escala.

1.1. Problema

A técnica de Replicação de Agentes propõe reutilizar os conceitos de recuperação através da tolerância a falhas existentes em sistemas distribuídos na recuperação de agentes baseando-se em informações que identifiquem suas criticalidades perante o sistema¹.

As estratégias atuais de cálculo e estimativa da criticalidade dos agentes para replicação não possuem um mecanismo que permita projetar uma variação de criticalidade com grau de granularidade maior a fim de tornar a estimativa mais eficaz. Entre as estratégias existentes, existe uma que utiliza os conceitos e abstrações das organizações que compõem o sistema multiagentes baseada na análise dos papéis que os agentes desempenham dentro das organizações [4]. Esta estratégia, entretanto, não é suficiente para um monitoramento adaptativo e dinâmico da criticalidade dos agentes com um grau de granularidade maior

¹ O conceito de criticalidade é definido no próximo capítulo. De forma geral, é considerado como o quão importante um agente é para o sistema.

considerando outras regras, ou mesmo, as leis que foram projetadas e especificadas *a priori*. Os papéis representam somente um ponto de análise dentre as muitas regras que podem ser consideradas, tais como compromissos que os agentes adquirem ou restrições de ambientes que influenciam a criticalidade dos agentes.

1.2. Solução Proposta

Busca-se com esta dissertação o aprimoramento de um modelo conceitual que considere a variável criticalidade dos agentes na especificação de sistemas multiagentes abertos governados por leis, de forma a contribuir com o atributo de disponibilidade do conceito de fidedignidade (a ser apresentado no segundo capítulo) de sistemas multiagentes abertos governados por leis. Além disso, é proposta uma forma de documentar o *rationale*² em torno do projeto e especificação de leis de interação. Para isto, é proposta a implementação de uma arquitetura para desenvolvimento de SMA's abertos governados por leis tolerantes a falhas e uma forma de implementar tais mecanismos de forma simples, modular e com reuso.

Este trabalho possui dois objetivos macros: (i) prover uma forma pragmática de documentar e modelar leis utilizando o modelo conceitual provido pela linguagem declarativa de especificação de leis, chamada XMLaw [8][35], (ii) e prover uma plataforma integrada entre o *framework* DimaX [30], que é uma arquitetura dinâmica e adaptativa para replicação de agentes, e o *framework* M-Law [39], que é usado para imposição de regras de interação entre agentes, provendo um novo *framework* de monitoramento de criticalidade de agentes baseado em leis.

Os seguintes itens sintetizam as atividades desenvolvidas neste trabalho:

- ✓ Melhora na análise da criticalidade de agente feita pelo DimaX através de elementos presentes na imposição de regras de interação entre agentes feita pelo XMLaw.

² O termo *rationale* está em inglês e tem sua origem no latim. Ele significa o processo de raciocínio desenvolvido para se fundamentar algo. Por não ter uma tradução direta ao português e manter a expressividade da palavra, o termo foi mantido em inglês.

- ✓ Extensão de novos elementos no XMLaw com o objetivo de acrescentar o conceito de criticalidade de agente utilizado pelo DimaX.
- ✓ Integração de mecanismos de tolerância a falhas (DimaX) com a abordagem de leis para imposição de regras de interação entre agentes (XMLaw).
- ✓ Adaptação da técnica de Casos de Fidedignidade para o contexto das leis, derivando uma nova abordagem chamada Casos de Leis.
- ✓ Experimentação de estudos de casos para uma análise detalhada da arquitetura proposta e da abordagem de Casos de Leis para a especificação e projeto de leis, integrados ao XMLaw.

1.3. Contribuições

A principal contribuição deste trabalho é a proposição de um mecanismo de especificação com simplicidade, modularidade e reuso de elementos de leis de sistemas multiagentes abertos que determinam a variação da criticalidade dos agentes quando as leis estão sendo aplicadas ao monitorar as interações. E o desenvolvimento de uma arquitetura que integre ambos os mecanismos: aplicação das leis e replicação dos agentes baseando-se nas leis.

1.4. Organização da Dissertação

O restante deste trabalho está estruturado como a seguir:

- ✓ No Capítulo 2, são apresentados alguns conceitos necessários para o entendimento da dissertação. Entre eles está incluída o conceito de fidedignidade de sistemas multiagentes abertos com suas noções associadas a mecanismos de governança e de tolerância a falhas, incluindo a definição de criticalidade de agentes. No contexto de tolerância a falhas, uma visão geral do *framework* adaptativo e dinâmico para replicação de agentes (DimaX) é apresentada. E no contexto de governança, uma visão geral da linguagem declarativa (XMLaw) e do *framework* que a interpreta (M-Law) são apresentados.

- ✓ No Capítulo 3, mostra-se uma visão geral da área de pesquisa na qual esta dissertação se situa. Facilitando, desta forma, o entendimento da contribuição da dissertação.
- ✓ No Capítulo 4, apresentam-se as extensões realizadas no modelo conceitual do XMLaw e no *framework* M-Law, e as extensões realizadas na estratégia de cálculo e monitoramento da criticalidade dos agentes no *framework* DimaX. Por último, é apresentada a arquitetura final resultante de integração de ambos os *frameworks*.
- ✓ No Capítulo 5, apresenta-se a abordagem para o projeto da especificação das leis e da criticalidade, chamada Casos de Leis.
- ✓ No Capítulo 6, são apresentados dois estudos de caso, um mais simples para entendimento da abordagem aqui proposta, e um mais elaborado baseado em um sistema real para uma análise de resultados considerando a variação da criticalidade.
- ✓ Finalmente, as conclusões, resultados e trabalhos futuros são apresentados no Capítulo 7.