

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

Rodrigo Rodrigues Pires de Mello

**MODELO DE UM AGENTE NEGOCIADOR BASEADO  
EM SISTEMAS MULTICONTEXTO:  
USANDO TEORIA DA ADAPTAÇÃO À ASPIRAÇÃO  
COMO ESTRATÉGIA DE NEGOCIAÇÃO**

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pires de Mello, Rodrigo Rodrigues  
Modelo de um agente negociador baseado em  
Sistemas Multicontexto : Usando Teoria da Adaptação à  
Aspiração como estratégia de negociação / Rodrigo  
Rodrigues Pires de Mello ; orientador, Ricardo  
Azambuja Silveira, 2019.  
105 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós  
Graduação em Ciência da Computação, Florianópolis,  
2019.

Inclui referências.

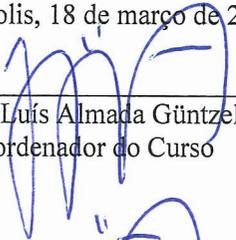
1. Ciência da Computação. 2. Agentes. 3.  
Negociação. 4. Sistemas multicontexto. 5. BDI. I.  
Silveira, Ricardo Azambuja. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação  
em Ciência da Computação. III. Título.

Rodrigo Rodrigues Pires de Mello

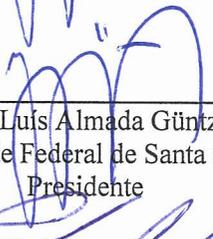
**Modelo de um agente negociador baseado em Sistemas  
Multicontexto: Usando Teoria da Adaptação à Aspiração como  
estratégia de negociação**

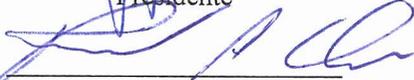
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Grau de Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Florianópolis, 18 de março de 2019.

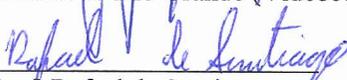
  
\_\_\_\_\_  
Prof. José Luís Almada Güntzel, Dr.  
Coordenador do Curso

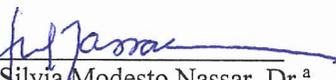
**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. José Luís Almada Güntzel, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ricardo Azambuja Silveira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
v/ Prof.<sup>a</sup> Graçaliz Pereira Dimuro, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal do Rio Grande (Videoconferência)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Rafael de Santiago, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Sílvia Modesto Nassar, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina



## AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio durante todos esses anos. À minha mãe Angela, pelo amor incondicional e seus conselhos. Aos meus irmãos Diogo, Mariana e Maieli pelo suporte e carinho.

Ao meu orientador Ricardo Azambuja Silveira, pelas suas contribuições acadêmicas.

Ao meu coorientador, extraoficial, Thiago Ângelo Gelaim, pela paciência e pelo tempo dedicado no desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca de qualificação e de defesa Elder Rizzon Santos, Graçaliz Pereira Dimuro, Rafael de Santiago e Silvia Modesto Nassar pelas contribuições neste trabalho.

Aos meus amigos Luiz Filipe, Jean, Eduardo, Gabriela, José e Luis que de alguma forma me ajudaram durante o mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.



## RESUMO

Certas atividades cotidianas como o agendamento de um compromisso, a organização de um itinerário de uma viagem, a procura por um emprego ou a compra de uma casa podem consumir uma parcela considerável do tempo disponível das pessoas. O potencial para a automação de tarefas cotidianas por meio do uso de agentes inteligentes tem chamado a atenção nos últimos anos. Entretanto, o uso de agentes requer que sejam realizadas diversas interações sociais e resolução de conflitos. A literatura apresenta vários modelos que têm como principal objetivo a resolução desses conflitos através de agentes capazes de negociar acordos. Porém, até o momento, poucos agentes negociadores foram utilizados para a resolução de problemas existentes no mundo real. Desta forma, este trabalho propõe uma arquitetura que envolve a adição de um contexto de negociação em um agente BDI baseado em sistemas multicontexto. Um sistema multicontexto permite que o agente raciocine na presença de vários tipos de informação com suas respectivas diferentes formas de representação, onde é possível empregar diferentes tipos de lógica em cada contexto. A estratégia de negociação do agente proposta neste trabalho é baseada na Teoria da Adaptação à Aspiração, um tipo de raciocínio limitado. Essa teoria é usada no modelo proposto para definir os atributos mais relevantes para o agente durante a negociação. Um estudo de caso contendo três cenários de negociação é apresentado para avaliar qualitativamente o agente negociador proposto neste trabalho. Através da análise qualitativa mostra-se que o agente proposto pode ser implantado em diferentes cenários de negociação, também atuando em diferentes papéis, ora como participante, ora como mediador.

**Palavras-chave:** Agentes. Negociação. Sistemas multicontexto. BDI



## ABSTRACT

Some daily tasks can be tedious or consume a great amount of time for humans to finish, such as scheduling a meeting, organize a trip, find a job, buy a house, and so on. However, using agents to perform our daily tasks requires social interaction and conflicts resolution. Many negotiating agents have been implemented to manage and solve these conflicts. Although, up until now, truly autonomous negotiators have rarely been deployed in real-world applications. In order to take one step further towards these limitations, we propose a negotiating BDI-agent based on Multi-Context Systems that use bounded rationality during the negotiation. Multi-Context Systems enable the agent to reason under the presence of many types of information, where each context may use a different type of logic. The agent's negotiation strategy is based on Aspiration Adaptation Theory, a type of bounded rationality. This theory is used in this work to define the most important issues during the negotiation. To evaluate the negotiating agent proposed in this work a study case with three negotiation scenarios is presented. This study case shows that the agent is flexible enough to be deployed on different negotiation scenario with different roles, in which it can act as a participant, or as a mediator.

**Keywords:** Agents. Negotiation. Multicontext Systems. BDI



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo do agente BDI baseado em um SMC. Adaptado de Parsons, Sierra e Jennings (1998).....	32
Figura 2	Espaço de aceitação de acordos dos agentes. Adaptado de Jennings et al. (2001).....	34
Figura 3	Bases indexadas pela <i>SCOPUS</i> . Acessado em 01/02/2019. <a href="https://www.elsevier.com/solutions/scopus/how-scopus-works/content">https://www.elsevier.com/solutions/scopus/how-scopus-works/content</a>	39
Figura 4	Funcionamento do processo de negociação entre dois agentes. Adaptado de Parsons, Sierra e Jennings (1998) .....	40
Figura 5	Ciclo da execução da estratégia de negociação baseada em AAT. Adaptado de Selten (1998) .....	54



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Relação dos trabalhos relacionados e do modelo proposto .....	45
Quadro 2	Principais características analisadas no estudo de caso	93



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAT	Aspiration Adaptation Theory
BDI	Belief-Desire-Intention
SMC	Sistema MultiContexto
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
GEmA	Generic Emotional Agent
Pre	pré-condições
Post	pós-condições
BC	<i>Belief Context</i>
DC	<i>Desire Context</i>
IC	<i>Intention Context</i>
CC	<i>Communication Context</i>
NC	<i>Negotiation Context</i>
PC	<i>Planning Context</i>
Ac	Conjunto de ações
P	Conjunto de planos



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta$	regras de inferência
$\psi$	fórmula do contexto $C_1$
$\phi$	fórmula do contexto $C_2$
$\vartheta$	fórmula do contexto $C_3$
$\delta$	conjunto de regras de inferência do contexto
$\omega$	identificador do sensor $S_i$
$\chi$	função mapeadora do sensor $S_i$
$\alpha$	nome da ação
$\beta$	ação ou conjunto de ações
$c_a$	custo
$g_i$	variável de objetivo
$a_j$	atributo de negociação
$v_{a_j}$	valor do atributo de negociação $a_j$
$x_i$	ação para atingir uma variável de objetivo
$\varphi$	variável de um objetivo de negociação
$\gamma$	valor de aspiração
$\alpha_i$	crença $i$
$\theta_j$	desejo $j$
$\beta_k$	intenção $k$
$G$	conjunto de variáveis de objetivo
$V_{g_i}$	conjunto das possibilidades de níveis de aspiração de $g_i$
$v_r$	nível de aspiração da variável de objetivo $g_i$



## LISTA DE CÓDIGOS

2.1	Um agente BDI modelado no Sigon . . . . .	33
4.1	Contexto de crenças do agente Bob . . . . .	54
4.2	Contexto de desejos do agente Bob . . . . .	55
4.3	Contexto de negociação do agente Bob . . . . .	55
4.4	Variáveis de objetivos presentes no contexto de negociação do agente Bob . . . . .	55
4.5	Contexto de negociação do agente Bob . . . . .	56
4.6	Contexto de desejos do agente Bob . . . . .	56
5.1	Crenças iniciais do agente mediador Charlie . . . . .	62
5.2	Crenças e intenções de Alice . . . . .	62
5.3	Crenças e intenções de Bob . . . . .	62
5.4	Crenças e intenções do agente mediador . . . . .	63
5.5	Inferência usada para modelar a propriedade de um recurso . . . . .	63
5.6	Regras de ponte utilizadas para modelar a redução . . . . .	64
5.7	Regras de pontes do agente mediador usadas para geração de uma proposta . . . . .	64
5.8	Intenções do agente mediador . . . . .	65
5.9	Regra de ponte e nova intenção do agente mediador para concessão de recursos . . . . .	65
5.10	Regra de ponte para envio de conselhos do agente . . . . .	66
5.11	Regras de ponte para adição de intenções e contexto de intenções do agente Charlie . . . . .	66
5.12	Regra de ponte e nova intenção do agente mediador para concessão de recursos . . . . .	66
5.13	Crenças e intenções do agente mediador . . . . .	68
5.14	Regras de pontes utilizadas para definir uso de recursos conforme a intenção e novas crenças do agente Charlie . . . . .	68
5.15	Regras de pontes do agente Charlie usadas para definir o nível de aspiração . . . . .	69
5.16	Contexto de negociação do agente Charlie e regras de ponte para adição de intenções . . . . .	69
5.17	Contexto de intenções e definição da regra de ponte para enviar um conselho . . . . .	70
5.18	regras de ponte para definir urgência e concessão de recursos . . . . .	70
5.19	Crenças e intenções de Alice . . . . .	71
5.20	Crenças e intenções de Bob . . . . .	72

5.21	Inferência usada por Alice para modelar a propriedade de um recurso . . . . .	72
5.22	Regra de ponte utilizada por Alice para modelar a redução	72
5.23	Intenções de Alice . . . . .	73
5.24	Regra de ponte para concessão de recursos e o contexto de intenções de Alice . . . . .	73
5.25	Crenças e intenções de Bob após a receber a proposta . . .	73
5.26	Regra de ponte da redução utilizada por Bob . . . . .	74
5.27	Regra de ponte da unicidade utilizada por Bob . . . . .	74
5.28	Intenções do agente Bob . . . . .	74
5.29	Crenças e intenções da agente Alice . . . . .	74
5.30	Regras de ponte para modelar a parcimônia e contexto de intenções do agente . . . . .	75
5.31	Regras de ponte para modelar a benevolência . . . . .	76
5.32	Crenças e intenções da agente Alice . . . . .	76
5.33	Regras de ponte para a troca de crenças entre agentes . . .	76
5.34	Regras de pontes usadas para definir o nível de aspiração dos atributos . . . . .	78
5.35	Contexto de negociação da agente Alice . . . . .	78
5.36	Regras de ponte para definir novas intenções . . . . .	78
5.37	Crenças e intenções de Bob após a receber a proposta . . .	79
5.38	Nível de aspiração ou urgência dos recursos possuídos por Bob . . . . .	79
5.39	Regra de ponte para modelar a tomada de decisão relativa a um pedido de concessão . . . . .	80
5.40	Intenções de Bob após a execução das regras de ponte . . .	80
5.41	Regras de ponte para adição da resposta e motivo . . . . .	80
5.42	Regra de ponte responsável pela adição de conselhos no contexto de negociação . . . . .	81
5.43	Contexto de negociação da agente Alice . . . . .	82
5.44	Regras de ponte responsável pela adição de conselhos no contexto de comunicação . . . . .	82
5.45	Contextos de intenções e comunicação da agente Alice . .	82
5.46	Regras de ponte responsável pela adição de conselhos no contexto de crenças . . . . .	83
5.47	Crenças e intenções de Bob após a receber a proposta . . .	83
5.48	Contexto de negociação do agente Bob . . . . .	84
5.49	Contexto de negociação do agente Bob . . . . .	84
5.50	Contexto de intenções do agente Bob . . . . .	84
5.51	Contexto de negociação e regra de ponte de concessão de recursos da agente Alice . . . . .	85

5.52	Contexto de crenças e de desejos do agente . . . . .	87
5.53	Regras de ponte para definir níveis de aspiração dos termos de contrato . . . . .	87
5.54	Contexto de negociação do agente . . . . .	88
5.55	Regras de ponte para adição de desejos com base nos níveis de urgência . . . . .	88
5.56	Contexto de desejos . . . . .	89
5.57	Regras de ponte para criação de ações . . . . .	89
5.58	Ações adicionadas no contexto de planejamento . . . . .	89



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	23
1.1	OBJETIVOS .....	25
1.1.1	Objetivo geral .....	26
1.1.2	Objetivos específicos .....	26
1.2	METODOLOGIA .....	26
1.3	CONTRIBUIÇÕES .....	28
1.3.1	Contribuições científicas .....	28
1.3.2	Contribuições tecnológicas .....	29
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	29
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	31
2.1	AGENTE .....	31
2.2	AGENTES BDI BASEADO EM SMC .....	31
2.3	SIGON: UM FRAMEWORK PARA DESENVOLVIMENTO DE AGENTES .....	33
2.4	NEGOCIAÇÃO .....	34
2.5	TEORIA DA ADAPTAÇÃO À ASPIRAÇÃO .....	35
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b> .....	37
3.1	METODOLOGIA DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LI- TERATURA .....	37
3.1.1	Perguntas de pesquisa .....	37
3.1.2	Critérios de exclusão e inclusão .....	38
3.1.3	Definição de <i>strings</i> de busca e da base de dados ..	38
3.1.4	Executando a busca .....	38
3.2	RESULTADO DA RSL .....	39
3.2.1	Agents that Reason and Negotiated By Arguing ..	39
3.2.2	Reasoning Principles for Negotiating Agent .....	40
3.2.3	An Agent Architecture for Simultaneous Bilateral Negotiations .....	41
3.2.4	Modeling of Emotional-Social Negotiator Agents ..	41
3.2.5	Dispute resolution using argumentation-based me- diation .....	42
3.2.6	Hana: a human-aware negotiation architecture ...	43
3.2.7	Multi-issue Automated Negotiation with Different Strategies for a Car Dealer Business Scenario .....	43
3.2.8	Practical reasoning in an argumentation-based de- cision BDI agent: A case study for participatory management of protected areas .....	44

3.3	ANÁLISE DOS TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .	44
<b>4</b>	<b>MODELO PROPOSTO . . . . .</b>	<b>47</b>
4.1	CONTEXTOS DE CRENÇAS, DESEJOS, INTENÇÕES, PLANEJAMENTO E COMUNICAÇÃO . . . . .	47
4.2	CONTEXTO DE NEGOCIAÇÃO . . . . .	50
4.3	CRIAÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE NEGOCIAÇÃO BASEADA EM AAT . . . . .	51
4.3.1	Integrando a estratégia de negociação ao ciclo de raciocínio do agente . . . . .	53
4.3.2	Cenário exemplo: Usando AAT como estratégia de negociação na compra de uma casa em um leilão	54
4.3.3	Definindo valores para o nível de aspiração de uma variável de objetivo . . . . .	57
4.3.4	Atualização automática dos níveis de aspiração du- rante a negociação . . . . .	59
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO . . . . .</b>	<b>61</b>
5.1	CENÁRIO 1 - REPAROS DOMÉSTICOS COM MEDI- ADOR . . . . .	61
5.1.1	Mediador usando estratégia de negociação base- ada em argumentação . . . . .	62
5.1.2	Mediador usando estratégia de negociação base- ada em AAT . . . . .	67
5.2	CENÁRIO 2 - REPAROS DOMÉSTICOS SEM MEDI- ADOR . . . . .	71
5.2.1	Negociação usando estratégia de negociação base- ada em argumentação . . . . .	71
5.2.2	Negociação usando estratégia de negociação base- ada em AAT . . . . .	77
5.3	CENÁRIO 3 - DEFINIÇÃO DOS TERMOS DE CON- TRATO . . . . .	85
5.4	DISCUSSÃO SOBRE OS CENÁRIOS . . . . .	90
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>95</b>
6.1	CONCLUSÕES . . . . .	95
6.2	TRABALHOS FUTUROS . . . . .	97
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>99</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O uso de agentes como ferramenta de auxílio na realização de tarefas cotidianas, tais como o agendamento de uma consulta médica, organização do itinerário de uma viagem, reserva de um hotel ou a alocação de um recurso computacional, requer ações que necessitam de interações sociais (CASTELFRANCHI, 1998). Durante essas interações sociais é comum que surjam conflitos, já que, assim como as pessoas, os agentes de software possuem diferentes crenças e objetivos (ZHU; JIANG, 2015; KRAUS, 1997).

A coordenação do trabalho dos agentes consiste em gerenciar as interdependências entre as suas atividades em ambientes conflituosos (WOOLDRIDGE, 2009). Tang e Basheer (2017) definem os três principais modelos para gerenciar essas interdependências: *organizacional*, um modelo com uma estrutura autoritária e um conjunto de regras a serem seguidas pelos agentes do grupo; *biológica*, onde cada membro possui um papel relevante para a composição de um sistema inteligente focado em um comportamento coletivo; *comercialização*, o modelo trata a questão de coordenação como um mercado, onde os agentes interagem de forma competitiva e podem negociar acordos para atingir seus objetivos.

Considerando a negociação como parte do modelo de comercialização que gerencia e coordena a tomada de decisão e está presente em boa parte das interações cotidianas (KRAUS, 1997; TANG; BASHEER, 2017), se faz necessário a definição de um modelo de agente negociador. Um agente negociador tem como principal objetivo auxiliar o ser humano em tarefas que demandam tempo, recursos, esforços cognitivo e custos (BAARSLAG et al., 2017).

O potencial apresentado por agentes negociadores na resolução de problemas relacionados a Internet das Coisas e Sistemas Elétricos Inteligentes tem chamado a atenção nos últimos anos (BAARSLAG et al., 2017). Como observado por Baarslag et al. (2017), com a expansão desses cenários surgirá a necessidade desses dispositivos negociarem acordos sobre o que será transmitido na rede, a quantidade de dados enviados e o consumo de recursos. Para atender a constante demanda de agentes negociadores é necessário a criação de modelos capazes de estabelecer acordos em ambientes com diversos atributos a serem negociados, em um espaço de tempo curto e com pouca interferência humana (ROSENFELD; KRAUS, 2012).

Marsa-Maestre et al. (2009b, 2009a), Ito, Klein e Hattori (2008)

propõem abordagens que focam em resolver problemas em que a quantidade de possíveis acordos é alta (JONGE; ZHANG, 2017). Porém, muitos desses modelos não levam em consideração que nem toda possibilidade de acordo representa um grau de importância para o agente negociador, o que reduz a chance do acordo ser aceito (ROSENFELD; KRAUS, 2012). Apesar da importância de se definir graus de urgência de atributos de negociação ter sido explorada em Rosenfeld e Kraus (2012), Rosenfeld et al. (2016, 2014), pouco se aborda como esses valores podem ser alterados durante a negociação. Já outros trabalhos assumem que é possível mapear o conjunto de estados do ambiente durante a negociação (CAO; FENG, 2008; RADU, 2015; FABREGUES; SIERRA, 2014). Entretanto, em certos ambientes as informações estão em constante mudança, dificultando o mapeamento dos estados. Outro problema que surge durante a definição de modelos de agentes negociadores é a dificuldade de integrá-los em diferentes cenários (TRESACK et al., 2014; PARSONS; SIERRA; JENNINGS, 1998).

Este trabalho aborda os seguintes problemas: a quantidade de atributos presentes em cenários envolvendo negociação e o tempo disponível para a tomada de decisão pode afetar a elaboração de uma estratégia de negociação que permita que o agente atinja seus objetivos (ROSENFELD; KRAUS, 2012); nem sempre um único mecanismo de raciocínio pode ser suficiente para representar diferentes tipos de informações e atributos desses cenários.

Muitas vezes os seres humanos utilizam um raciocínio limitado para resolver problemas que envolvem uma grande quantidade de atributos e pouco tempo disponível (ROSENFELD; KRAUS, 2012). Com base nisso, esse trabalho adiciona a um agente uma estratégia de negociação baseada na Teoria da Adaptação à Aspiração <sup>1</sup> (AAT), um modelo de raciocínio limitado proposto por Selten (1998). Na AAT cada objetivo possui um nível de aspiração que define o quão importante ou urgente esse objetivo é (SELTEN, 1998). Para modelar as atitudes mentais do agente foi escolhida a arquitetura BDI (*Belief-Desire-Intention*) proposta por Bratman (1987). Por meio das crenças, desejos e intenções é possível definir na estratégia de negociação quais objetivos são mais urgentes ou importantes para o agente.

Sistemas Multicontexto têm sido empregado para representar os diferentes tipos de informação presentes em um ambiente. Um sistema multicontexto é uma ferramenta usada para interligar fontes de conhecimento heterogêneas (BREWKA et al., 2011). SMC descrevem os diversos tipos de informações por meio de diferentes contextos. O fluxo

---

<sup>1</sup>Aspiration Adaptation Theory

de informações entre os contextos são modelados através de regras de pontes, onde na premissa da regra pode-se referenciar informações de outros contextos (BREWKA; EITER, 2007).

O agente negociador proposto neste trabalho é implementado utilizando o *framework* Sigon (GELAIM et al., 2019). O Sigon é uma ferramenta para o desenvolvimento de agentes baseado em sistemas multicontextos. Para integrar a Teoria da Adaptação à Aspiração em um agente BDI é necessário acoplar ao seu ciclo de raciocínio mecanismos para definir o grau de importância dos objetivos de negociação. É comum que a urgência de algo seja definido por fatores relacionados a preferências e experiências passadas (ROSENFELD; KRAUS, 2012). Levando essa hipótese em consideração, o grau de urgência de um atributo de negociação é estabelecido através de regras de ponte criadas pelo desenvolvedor do agente. Conforme mostrado em Selten (1998), também é comum que essas urgências alterem-se, de forma que exista um acréscimo ou decréscimo nesses graus. Para lidar com essas mudanças, propõe-se um algoritmo que tem como objetivo reescalar automaticamente o grau de urgência durante a negociação.

Para analisar o agente negociador um estudo de caso é apresentado. Este estudo de caso é composto de três cenários de negociação retirados de Trescak et al. (2014), Parsons, Sierra e Jennings (1998), Rosenfeld e Kraus (2012). Os cenários foram implementados no Sigon. Das três implementações, dois cenários apresentam os agentes propostos em Trescak et al. (2014), Parsons, Sierra e Jennings (1998) e o agente negociador desta pesquisa. No terceiro cenário é mostrado o funcionamento do agente negociador proposto. Através da discussão da implementação dos cenários nota-se que o agente negociador apresentado nesse trabalho pode atuar em diferentes papéis em um cenário de negociação, ora como participante, ora como mediador. Essa mudança ocorre sem que sejam necessárias alterações no ciclo de raciocínio do agente negociador.

## 1.1 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos desta pesquisa.

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo de agente negociador BDI baseado em Sistema Multicontexto que emprega aspectos da Teoria da Adaptação à Aspiração em sua estratégia de negociação.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Analisar os principais modelos de agentes negociadores baseados na arquitetura BDI e SMC encontrados na literatura;
2. Definir e integrar o contexto de negociação ao ciclo de raciocínio de um agente baseado em um sistema multicontexto;
3. Definir um modelo de estratégias de negociação tomando como base a Teoria da Adaptação à Aspiração;
4. Analisar a influência da Teoria da Adaptação à Aspiração durante a definição de acordos entre agentes em ambientes dinâmicos;
5. Avaliar o modelo proposto.

## 1.2 METODOLOGIA

O procedimento metodológico usado nesta pesquisa é o *design science research* (PEFFERS et al., 2007). Nesse procedimento de resolução de problemas as duas principais atividades são construir e avaliar de forma iterativa. Duas iterações do método *design science research* foram utilizadas. As seis atividades da primeira iteração foram definidas da seguinte forma:

1. Identificar o problema e a motivação. Em diversos problemas de negociação a quantidade de atributos e tipos de informações podem impossibilitar a definição de estratégias com resultados ótimos (ROSENFELD et al., 2016). Entretanto, algumas informações e atributos podem ser descartados durante a negociação. Sendo assim, as perguntas de pesquisa são formuladas da seguinte forma:
  - Como definir uma estratégia de negociação que leve em consideração um espaço de possibilidades de acordos elevado?

2. Definir os objetivos da solução proposta. Definir um modelo de contexto de negociação para um agente BDI baseado em um sistema multicontexto.
3. Projetar e desenvolver. Nesta etapa o contexto de negociação deve modelar o protocolo do cenário de negociação, ou seja, quais as ações de negociação que o agente pode realizar durante a negociação. A estratégia de negociação também é elaborada no contexto de negociação. Ao definir a estratégia de negociação no novo contexto espera-se facilitar futuras alterações na estratégia, possibilitando a implantação do agente em diferentes cenários e deixando os outros contexto e regras de ponte sem alterações.
4. Demonstrar. Esta atividade tem como principal objetivo mostrar o ciclo de raciocínio do agente durante a negociação. O cenário utilizado foi extraído do trabalho (ROSENFELD; KRAUS, 2012). Esse cenário envolve a definição dos termos de contrato entre o possível empregado e seu empregador. O principal motivo da escolha encontra-se no fato de que o problema de negociação apresenta diversas possibilidade de acordos, já que o objeto que está sendo negociado possui diversos atributos. (ROSENFELD; KRAUS, 2012) mostra que o cenário têm 1.296 possibilidades de acordos que devem ser definidos em um tempo limitado. O ciclo de raciocínio do agente encontra-se na seção 5.3.
5. Avaliar. Neste ciclo a avaliação consistiu em analisar o impacto ao adicionar um novo contexto de negociação, de forma a definir como a integração desse contexto afeta o ciclo de raciocínio do agente.
6. Comunicar. Nesta etapa foi publicado um artigo no evento *Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems 2018 (CISIS)*. No artigo foi abordado a adição de um novo contexto de negociação para o modelo de agente definido em (CASALI; GODO; SIERRA, 2011).

Como na primeira iteração o modelo proposto de agente foi apenas teórica, uma segunda iteração foi realizada. Levando em consideração que o problema e a motivação continuam os mesmos, as cinco atividades do método *design science research* foram refinadas da seguinte forma:

1. Definir os objetivos da solução proposta. Propor um modelo de um agente BDI baseado em um Sistema Multicontexto, onde o

agente seja capaz de negociar acordos através do uso de uma estratégia de negociação inspirada na Teoria da Adaptação à Aspiração.

2. **Projetar e desenvolver.** Nesta atividade foi realizada a integração do novo contexto ao ciclo de raciocínio do agente. O principal objetivo dessa integração é flexibilizar a adição ou alteração das estratégias utilizadas durante a negociação. A ferramenta Sigon foi utilizada para desenvolver o agente negociador proposto.
3. **Demonstrar.** Foram implementados na ferramenta Sigon os cenários de negociação definidos em Trescak et al. (2014), Parsons, Sierra e Jennings (1998), Rosenfeld e Kraus (2012). Trescak et al. (2014) e Parsons, Sierra e Jennings (1998) definem cenários onde os agentes precisam resolver seus conflitos por meio da negociação para realizar reparos domésticos. Rosenfeld e Kraus (2012) abordam cenários mais próximos do mundo real, onde um agente precisa negociar um contrato de trabalho com diversos atributos e valores em um tempo limitado.
4. **Avaliação.** Com base nos cenários implementados na etapa de demonstração, uma análise qualitativa foi feita. Através dessa análise definiu-se o impacto da utilização da estratégia de negociação baseada em AAT proposta neste trabalho. Também explorou-se a flexibilidade do agente na incorporação em diferentes cenários de negociação.
5. **Comunicar.** O modelo de agente negociador desenvolvido na ferramenta Sigon e os cenários usados na etapa anterior são apresentados a comunidade por meio da escrita desta dissertação.

## 1.3 CONTRIBUIÇÕES

As contribuições desta pesquisa podem ser divididas em científica e tecnológica.

### 1.3.1 Contribuições científicas

Este trabalho apresenta duas importantes contribuições científicas. Levando em consideração que em cenários de negociação nem todo atributo representa um alto nível de importância (ROSENFELD; KRAUS,

2011), uma estratégia de negociação baseada na Teoria da Adaptação à Aspiração é integrada ao agente BDI baseado em SMC. Essa estratégia permite que o agente utilize informações relativas aos seus objetivos e crenças para definir quais atributos de negociação são mais urgentes. Para integrar essa estratégia ao ciclo de raciocínio do agente um contexto de negociação é proposto. Esse contexto modela as diferentes estratégias e o protocolo de negociação de um cenário. Essa decisão possibilita que os outros contextos e regras de ponte já existentes do agente não sofram alteração em sua estrutura, de forma a viabilizar facilidade em adaptar o agente negociador para diferentes cenários.

### **1.3.2 Contribuições tecnológicas**

A contribuição tecnológica desta pesquisa encontra-se na implementação do agente negociador em diferentes cenários de resolução de conflito. Essa implementação foi realizada na ferramenta Sigon. O Sigon permite que um agente seja modelado como um SMC, viabilizando a modularidade e flexibilidade obtidas ao empregar essa abordagem. Ao implementar o agente negociador é possível levantar as principais limitações do agente negociador e da estratégia usada que não são notadas em uma modelagem teórica.

## **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. No capítulo 2 apresenta-se os principais conceitos usados nesta pesquisa. Os trabalhos relacionados com o modelo de agente negociador proposto neste trabalho são mostrados no capítulo 3. No capítulo 4 apresenta-se o agente BDI negociador e o modelo de estratégia de negociação baseado na Teoria da Adaptação à Aspiração. Um estudo de caso através dos cenários levantados no capítulo de trabalhos relacionados são mostrados no capítulo 5. As conclusões e os trabalhos futuros são apresentados no capítulo 6.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos relacionados ao agente negociador proposto nesse trabalho. Sendo assim, as próximas seções apresentam os principais tópicos relacionados a agentes, sistemas multicontextos, negociação e raciocínio limitado, mais precisamente AAT.

### 2.1 AGENTE

A definição do que é um agente é algo que está em constante discussão por estudiosos da área, porém é possível estabelecer diversas características essenciais no desenvolvimento de agentes. De acordo com Wooldridge, Jennings et al. (1995), Wooldridge (2009), propriedades relativas a autonomia, habilidades sociais, reatividade e proatividade são consideradas os pilares no estudo de agentes. Em cenários de negociação é esperado que o agente tenha habilidades sociais e proatividade para convencer os outros envolvidos a aceitar suas propostas, por exemplo. A autonomia está ligada ao fato de que muitas vezes os agentes devem representar outras pessoas durante o fechamento de acordos.

### 2.2 AGENTES BDI BASEADO EM SMC

A arquitetura *Belief-Desire-Intention* (BDI) foi proposta por Bratman (1987) como um modelo filosófico baseado na teoria do raciocínio prático (GEORGEFF et al., 1998). O raciocínio prático funciona através dos processos de deliberação e do raciocínio meio-fim. Na deliberação decide-se quais objetivos serão alcançados. Já no raciocínio meio-fim define-se como alcançar esses objetivos (WOOLDRIDGE, 2009).

Casali, Godo e Sierra (2005) apresentam um agente baseado em um SMC formado por três componentes básicos: unidades ou contextos, lógica e regras de ponte. Sendo assim, um agente é definido como um grupo de unidades interconectadas:  $\langle \{C_i\}_{i \in I}, \Delta_{rp} \rangle$ , onde cada contexto  $C_i \in \{C_i\}_{i \in I}$  é a tupla  $C_i = \langle L_i, A_i, \Delta_i \rangle$ , no qual  $L_i$ ,  $A_i$  e  $\Delta_i$  são linguagens, axiomas e regras de inferência, respectivamente.  $\Delta_{rp}$  são as regras de ponte e podem ser vistas como regras de inferência com

premissas e conclusões em diferentes contextos, por exemplo:

$$\frac{C_1 : \psi, C_2 : \phi}{C_3 : \vartheta}$$

se  $\psi$  for deduzível no contexto  $C_1$  e a fórmula  $\phi$  for deduzível no contexto  $C_2$ , então a fórmula  $\vartheta$  é adicionada ao contexto  $C_3$  (CASALI; GODO; SIERRA, 2005).

Parsons, Sierra e Jennings (1998) descrevem como um agente BDI pode ser desenvolvido como um SMC. Quatro contextos são usados para representar as crenças, desejos, intenções e a comunicação com o ambiente. Na Figura 1 apresenta-se um agente BDI baseado em SMC, os vértices representam os contextos de crença, desejo, intenção e comunicação, as arestas representam as regras de ponte e modelam o fluxo de informação entre os contextos.

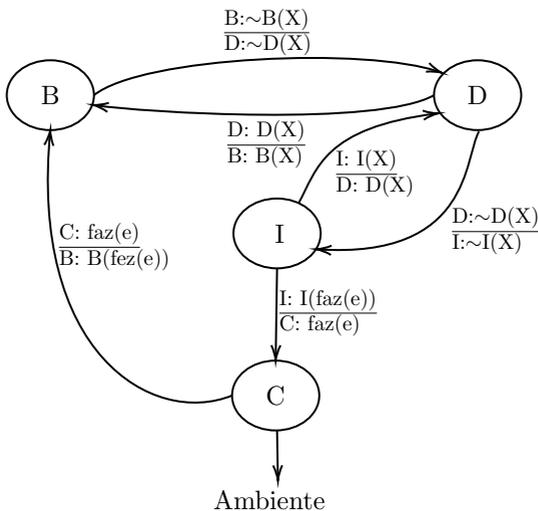


Figura 1 – Modelo do agente BDI baseado em um SMC. Adaptado de Parsons, Sierra e Jennings (1998)

## 2.3 SIGON: UM FRAMEWORK PARA DESENVOLVIMENTO DE AGENTES

O *framework* Sigon é utilizado nesta pesquisa para modelar os componentes do agente negociador. O Sigon permite o desenvolvimento dos componentes e a sua integração ao raciocínio do agente de forma flexível e modular. Para que isso seja possível, Gelaim et al. (2019) definem uma linguagem de programação que tem como objetivo possibilitar o desenvolvimento de agentes como SMC.

Um agente desenvolvido na ferramenta Sigon tem seus componentes representados por contextos, e o fluxo de informação entre esses contextos é feito por meio da definição de regras de ponte. Um agente pode ser formado por diversos contextos, entretanto a linguagem exige que o contexto de comunicação seja definido. O contexto de comunicação é composto por atuadores e sensores, onde esses mecanismos funcionam como uma interface entre o agente e o ambiente no qual ele está inserido (GELAIM et al., 2019).

A ordem em que os contextos são definidos na linguagem não interferem na execução do agente, entretanto a ordem da definição das regras de ponte impactam no ciclo de raciocínio do agente. Para exemplificar a modelagem de um agente no *framework* Sigon, o código 2.1 apresenta os contextos e regras de ponte do agente BDI mostrado na Figura 1.

---

```

1 communication:
2 faz(e).
3
4 beliefs :
5 B(fez(e)).
6 B(faz(e)).
7
8 desires :
9 D(faz(e)).
10
11 intentions :
12 I(faz(e)).
13
14 ! desires not D(X) :- beliefs not B(X).
15 ! beliefs B(X) :- desires D(X).
16
17 ! desires D(X) :- intentions I(X).
18 ! intentions I(X) :- desires not D(X).
19
```

20 ! **communication** faz(e) :- **intentions** I(faz(e)).

21 ! **beliefs** fez(e) :- **communication** faz(e).

## Código 2.1 – Um agente BDI modelado no Sigon

### 2.4 NEGOCIAÇÃO

Segundo Jennings et al. (2001), a negociação pode ser considerada a interação mais importante entre agentes, já que é um mecanismo para gerenciar interdependência em tempo de execução entre agentes. A negociação pode ser usada para a resolução de conflitos nos mais variados domínios (KRAUS, 2001). Suas interações consistem basicamente em realizar propostas, apresentar opções para um problema, conceder recursos e por fim chegar em um acordo sobre o que deve ser feito (WOOLDRIDGE, 2009).

De acordo com Faratin, Sierra e Jennings (1998), a negociação pode ser vista como a procura distribuída por um acordo em um espaço. Conforme mostra a Figura 2, cada agente possui uma área de aceitação. É importante lembrar que assim como humanos, agentes também podem tornar-se mais rigorosos ou flexíveis, ou seja, sua área de aceitação sobre algo pode diminuir ou expandir. Agentes também definem pontos para potenciais acordos e esses pontos movem-se dentro do espaço de aceitação de cada agente e assim como as mudanças dos espaços, esses pontos seguem a mesma regra durante a negociação. O fim da etapa de negociação ocorre quando um número mínimo de acordos é definido ou quando o protocolo dita o fim desse processo (JENNINGS et al., 2001).

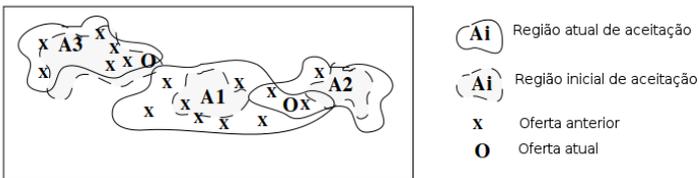


Figura 2 – Espaço de aceitação de acordos dos agentes. Adaptado de Jennings et al. (2001)

Kraus (1997) define as propriedades que devem ser postas em análise ao escolher qual técnica de negociação deve ser aplicada:

- O nível de cooperação entre agentes: grupo de agentes que trabalham de forma cooperativa para alcançar um mesmo objetivo ou agentes que possuem vontades próprias e tentam maximizar seus próprios ganhos. Existem casos intermediários em que agentes não benevolentes trabalham de forma cooperativa para atingir um objetivo global;
- Regulamento e protocolo: ambientes onde todos os agentes seguem um mesmo regulamento e protocolo ou situações onde nenhum deles foi pré-definido;
- Quantidade de agentes: disponibilidade de quantidade elevada de agentes ou poucos agentes que utilizam mecanismos de coordenação e cooperação e tentam maximizar o uso de recursos disponíveis;
- Tipo de agentes: sistemas compostos apenas por agentes que interagem entre si ou ambientes onde existem interação com humanos e outras máquinas;
- Comunicação e custo de computação: disponibilidade de recursos e o quanto é gasto em termos computacionais para realizar comunicação.

Durante o desenvolvimento de protocolos e agentes negociadores deve ser levado em consideração questões relacionadas à privacidade do agente e do usuário que ele representa (MEGASARI et al., 2015; LEE, 2003; HOSSAIN; SHAKSHUKI, 2013). Essa preocupação ocorre pelo fato de que em alguns ambientes é comum a presença de diversas implementações de agentes e com distintos objetivos.

## 2.5 TEORIA DA ADAPTAÇÃO À ASPIRAÇÃO

Originalmente proposta por Selten (1998), a Teoria da Adaptação à Aspiração é um modelo econômico que tem como objetivo capturar a tomada de decisão humana sem que funções de utilidades sejam definidas (ROSENFELD; KRAUS, 2011). Segundo Rosenfeld e Kraus (2012), essa teoria pode ser aplicada em problemas cuja a solução ótima seja complexa demais ou demande muito tempo e recursos (SELTEN, 1998; ROSENFELD; KRAUS, 2012).

Baseando-se no que foi apresentado em Selten (1998), Rosenfeld e Kraus (2012) definem AAT da seguinte forma:

**Definição 1** *Sendo  $G$  um problema complexo e que para resolvê-lo  $m$  variáveis de objetivos são necessárias.  $m$  está organizada em ordem de urgência, ou seja, um conjunto de variáveis de objetivos  $G_1, G_2, \dots, G_m$ .*

O nível de aspiração de uma variável de objetivo é estabelecido por meio das preferências procedural local (ROSENFELD; KRAUS, 2011). Esse mecanismo procedural descreve quais variáveis de objetivos são mais urgentes e a possibilidade em reescalar o nível de aspiração dessas variáveis. Em AAT, o foco é satisfazer o valor de aspiração de uma variável de objetivo, mesmo que esse valor não represente uma solução ótima para atingir um objetivo (ROSENFELD; KRAUS, 2012).

Em relação aos valores de urgência ou aspiração, um decréscimo ou acréscimo é feito de apenas de forma discreta, ou seja, um valor de aspiração só pode ser ajustado para um valor vizinho. Uma escala de aspiração  $L$  sempre está associada com uma variável de objetivo  $G$  (SELTEN, 1998; ROSENFELD; KRAUS, 2012).

Selten (1998) define que para satisfazer o nível de aspiração das variáveis de objetivos um plano deve ser criado. Neste trabalho um plano é composto da seguinte forma:

**Definição 2** *Um plano  $x$ , onde  $x = (x_1, \dots, x_s)$  é a combinação dos valores de cada variável de objetivo.  $x_i$  é um possível valor para a variável de objetivo  $G_i$ .*

Levando em consideração que um plano pode sofrer alterações, Selten (1998) define que uma ação  $A$  é uma regra para a troca de um plano. Formalmente, é uma função que designa uma troca de um plano  $x = (x_1, \dots, x_s)$  para um plano  $x'$ , onde  $x' = A(x)$ .

Para exemplificar o funcionamento da Teoria da Adaptação à Aspiração, Selten (1998) apresenta um cenário no qual uma empresa deseja maximizar seus lucros. Assumindo que a maximização de lucros é um problema complexo, três variáveis de objetivos são consideradas: despesas com publicidade, capital disponível e preço de um produto. Através da preferência procedural local estipula-se o nível de aspiração de cada uma dessas variáveis, de forma que defina-se quais variáveis serão mais urgentes.

Os possíveis valores definidos para as despesas com publicidade, capital disponível e o preço de um produto representam planos para atingir as variáveis de objetivos. Também deve-se definir alterações nesses valores, que podem ser modelados como: aumento de 10% nas despesas com publicidade e redução de 5% no preço do produto.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentados os principais trabalhos que serviram de referência para o agente negociador proposto nesta pesquisa. Esses trabalhos foram obtidos por meio do levantamento do estado da arte em:

1. integração do processo de negociação ao ciclo de raciocínio do agente;
2. o uso de sistemas multicontexto para modelar agentes negociadores.

O levantamento foi realizado através da revisão sistemática da literatura (RSL). Na seção 3.1 apresenta-se o protocolo seguido durante a RSL.

#### 3.1 METODOLOGIA DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Uma revisão sistemática da literatura consiste em identificar, avaliar e interpretar todo o conteúdo disponível de uma pergunta de pesquisa, área de conhecimento ou um tópico de interesse (KITCHENHAM, 2004). Segundo Budgen e Brereton (2006), no início de uma RSL define-se a pergunta de pesquisa e o processo usado durante a revisão. Desta forma, a subseção 3.1.1 apresenta as perguntas de pesquisas que foram definidas para a revisão sistemática da literatura. As subseções 3.1.2, 3.1.3 e 3.1.4 abordam os critérios de exclusão e inclusão de trabalhos, a *string* de busca, a base de dados usada e a forma como a busca foi feita, respectivamente.

##### 3.1.1 Perguntas de pesquisa

Tendo como principal objetivo analisar os principais modelos de agentes negociadores baseados na arquitetura BDI, as seguintes perguntas de pesquisa foram definidas:

- Como integrar estratégias de negociação em agentes BDI?
- Como adicionar estratégias de negociação em agentes baseados em sistemas multicontexto?

Através do resultado das perguntas de pesquisa modelou-se a etapa de integração na adição de um contexto de negociação ao ciclo de raciocínio de um agente BDI modelado como um SMC.

### 3.1.2 Critérios de exclusão e inclusão

Apesar de existirem diversos trabalhos com o foco em negociação para resolução de conflitos, as abordagens mostradas focam em protocolos de negociação em sistemas multiagente. Como essa pesquisa está voltada na integração de estratégias de negociação ao raciocínio interno do agente, os trabalhos com foco em sistemas multiagente foram excluídos.

Com base nas perguntas definidas para a revisão da literatura, os trabalhos que possuem suas abordagens voltadas para integração de estratégia de negociação ao ciclo de raciocínio do agente e que modelam agentes negociadores usando sistemas multicontexto foram incluídos na revisão sistemática da literatura.

### 3.1.3 Definição de *strings* de busca e da base de dados

A definição das palavras-chave ocorreu de forma que fosse possível obter os trabalhos que estivessem contidos dentro das perguntas de pesquisa, ou seja, agentes negociadores inspirados na arquitetura BDI. As palavras-chave usadas como *strings* de busca foram: “BDI”, “negotiation” e “agent”.

A base de dados utilizada para obter os trabalhos relacionados foi a *SCOPUS*. Conforme mostra a Figura 3, as principais publicadoras de trabalhos científicos são indexadas pela *SCOPUS*.

### 3.1.4 Executando a busca

Na subseção 3.1.3 definiu-se a *string* de busca com base nos critérios de inclusão e exclusão mostrados na subseção 3.1.2. Desta forma, com a *string* de busca formatada para o padrão do *SCOPUS* tem-se a seguinte consulta: TITLE-ABS-KEY ( "BDI" AND "negotiation" AND "agent" ) AND ( EXCLUDE ( DOCTYPE , "cr" ) ).

Por meio da consulta formatada é possível mostrar que a busca irá retornar apenas os artigos que contenham os termos “BDI”, “negotiation” e “agent” no título, resumo ou nas palavras-chave. Outra

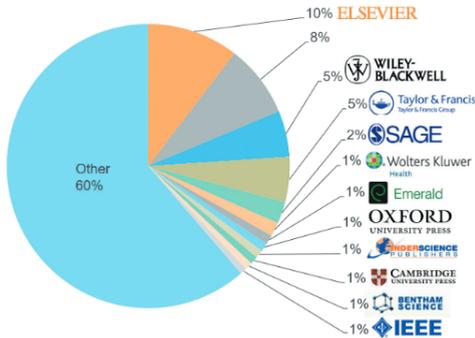


Figura 3 – Bases indexadas pela *SCOPUS*. Acessado em 01/02/2019. <https://www.elsevier.com/solutions/scopus/how-scopus-works/content>

questão importante é que os trabalhos listados como revisões de conferências não serão listados nos resultados, ou seja, apenas trabalhos publicados em eventos e em revistas são levados em consideração.

A busca foi realizada em 26/02/2018 e retornou 57 resultados, dos quais 8 trabalhos foram escolhidos como relacionados com essa pesquisa. O critério de exclusão e inclusão foi feito por meio da leitura do título e do resumo de cada trabalho. Na data 30/01/2019 a *string* de busca foi novamente submetida ao *SCOPUS* e apenas dois novos trabalhos retornaram como resultado, dos quais um deles é resultado dessa pesquisa e o outro foi excluído conforme os critérios definidos previamente.

Na seção 3.2 uma breve descrição de cada trabalho é realizada. A seção 3.3 contém uma análise e uma breve comparação entre os trabalhos relacionados e o agente negociador que está sendo proposto nessa pesquisa.

## 3.2 RESULTADO DA RSL

### 3.2.1 Agents that Reason and Negotiated By Arguing

Parsons, Sierra e Jennings (1998) propõem um agente negociador inspirado na arquitetura BDI e baseado em sistemas multicontexto.

Através de regras de ponte e inferências lógicas os autores apresentam um sistema automático de argumentação que é usado durante a resolução de conflito entre os agentes. O protocolo de troca de mensagens entre os agentes consiste em: realizar propostas, criticá-la, aceitá-la ou desistir da negociação. A Figura 4 apresenta o funcionamento geral do protocolo utilizado, onde o agente  $a$  está negociando  $x$  com o agente  $b$ .

Parsons, Sierra e Jennings (1998) também definem um cenário de negociação, onde dois agentes devem realizar reparos domésticos. Cada agente possui conhecimentos, objetivos e recursos distintos, e devem negociar a concessão de recursos para que consigam finalizar os reparos designados a eles.

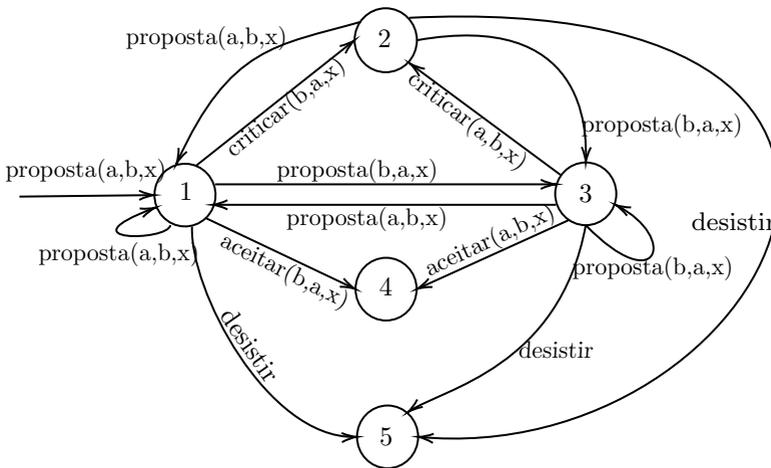


Figura 4 – Funcionamento do processo de negociação entre dois agentes. Adaptado de Parsons, Sierra e Jennings (1998)

### 3.2.2 Reasoning Principles for Negotiating Agent

Cao e Feng (2008) apresentam um modelo de agente inspirado na arquitetura BDI e em funções de utilidades. O principal objetivo do trabalho é integrar o processo de negociação ao mecanismo de raciocínio

do agente. Isso é obtido através de um mapeamento dos possíveis estados de negociação a funções de utilidade do agente. Um dos pontos-chaves da pesquisa encontra-se no fato de que os autores levam em consideração a integração dos estados mentais do agente com os valores de utilidade de negociação.

Cao e Feng (2008) definem o modelo baseando-se em um conjunto de possíveis estados de negociação (ORŁOWSKA, 1990). Um possível estado de negociação representa uma observação do estado de uma negociação que está em curso. Uma prova formal do modelo é apresentada pelos autores como forma de validação. As principais contribuições dos autores encontram-se na integração do processo de negociação com o agente e seu desenvolvimento.

### 3.2.3 An Agent Architecture for Simultaneous Bilateral Negotiations

Fabregues e Sierra (2010) propõem um agente baseado-se na arquitetura *graded-BDI* (CASALI; GODO; SIERRA, 2005) e no modelo de negociação *LOGIC* (*Legitimacy, Options, Goals, Independence, and Commitments*) (SIERRA; DEBENHAM, 2007). O modelo g-BDI é usado para descrever o estado mental do agente em ambientes onde existe a presença de incerteza. Já o modelo de negociação *LOGIC* permite estruturar as informações de negociação através de suas cinco dimensões. Os autores constroem o modelo apoiando-se no fato de que muitas vezes os agentes negociam sobre uma quantidade elevada de possíveis planos com recursos e tempo limitado.

A principal contribuição do trabalho encontra-se na exploração de espaços de busca de acordos com tamanho elevado, resultando em um processo de negociação mais compacto e fácil de integrar o mecanismos de raciocínio BDI com a etapa de planejamento. Porém, os autores não apresentam um experimento e nenhum cenário de ilustração da abordagem proposta.

### 3.2.4 Modeling of Emotional-Social Negotiator Agents

Ramezani, Ghasem-Aghae e Kazemifard (2011) apresentam um modelo de agentes que utiliza emoções durante a negociação. Para a etapa de geração de emoções, os autores escolheram por utilizar o modelo GEMa (*Generic Emotional Agent*). Segundo Ramezani, Ghasem-

Aghaee e Kazemifard (2011), essa escolha possibilita uma fácil integração com a arquitetura BDI. Apesar do modelo GEmA apresentar 16 tipos de emoções, em um primeiro protótipo apenas 4 emoções foram usadas, sendo elas: satisfação, desapontamento, alívio e medo confirmado. Os autores usam as emoções relativas a satisfação para modelar o estado interno do agente. Algumas emoções são recebidas através de interações sociais e o agente as usa durante o processo de tomada de decisão.

Os autores apresentam um cenário de negociação de um atributo hipotético, onde cada agente possui uma hierarquia de objetivos e prioridades pré-definidas. Foram usados três tipos de agentes para a comparação da abordagem, sendo eles: ZI (JASCANU; JASCANU; NICOLAU, 2007), ABMP (JONKER; ROBU; TREUR, 2007) e *Bayesian* (HINDRIKS; TYKHONOV, 2008). O agente ZI utiliza uma estratégia baseada em uma busca aleatória no espaço de negociação, desconsiderando a modelagem de preferências. Já o agente ABMP usa uma estratégia de concessão que seleciona a próxima ação baseado-se nas preferências do agente. O agente *Bayesian* emprega uma estratégia baseada no teorema de Bayes, tornando possível a aprendizagem das preferências dos outros agentes envolvidos. Os autores concluem que a abordagem proposta obtém acordos mais justos e com um número menor de iterações.

### 3.2.5 Dispute resolution using argumentation-based mediation

Trescak et al. (2014) propõem um abordagem para mediação automática na etapa de negociação entre agentes. Mediação é o processo no qual ambos os envolvidos concordam em resolver suas disputas através da negociação de uma solução proposta por um mediador (TRESCAK et al., 2014). O modelo apresentado parte de uma abordagem baseada em lógica e o adéqua para o uso de argumentação como estratégia de negociação.

O trabalho é uma extensão de (PARSONS; SIERRA; JENNINGS, 1998), onde o agente é modelado como um sistema multicontexto baseado na arquitetura BDI. Propriedades específicas de negociação e domínio são modeladas nos contextos de crenças, desejos e intenções. Já as estratégias de negociação são modeladas a partir de regras de ponte e são dependentes dos domínios, ou seja, para cada domínio serão definidas diferentes regras de ponte e alterações nos contextos já existentes. Um cenário adaptado do trabalho de (PARSONS; SIERRA;

JENNINGS, 1998) é utilizado para demonstrar o funcionamento geral da modelagem proposta.

### 3.2.6 Hana: a human-aware negotiation architecture

Fabregues e Sierra (2014) propõem uma arquitetura para agentes que bilateralmente negociam planos das ações em cenários realísticos e recebe o nome de *HANA (Human-Aware Negotiation Architecture)*. Os cenários podem envolver humanos com e informações imprecisas. Os autores abordam a imprecisão de informações através da arquitetura BDI, onde as crenças, desejos e intenções são graduadas. Outro ponto relevante é que o agente considera a elevada quantidade de possíveis planos, o tempo limitado para negociação e assume um ambiente inteiramente observável.

O agente proposto utiliza um conjunto de funções para avaliar os estados de negociação, uma das principais funções é a definição de valores de aspiração para as opções de planos que surgem durante a negociação. Para avaliar o agente Hana, os autores inserem o modelo proposto em um *framework* chamado *Dipgame* (FABREGUES; SIERRA, 2011). O *framework Dipgame* implementa o jogo *Diplomacy*, onde o uso de negociação é essencial para o funcionamento do jogo.

### 3.2.7 Multi-issue Automated Negotiation with Different Strategies for a Car Dealer Business Scenario

Radu (2015) apresenta um agente negociador que leva em consideração as preferências durante a elaboração de acordos. O autor defende que as preferências do agente e os possíveis estados da negociação devem ser consideradas nas estratégias de negociação dos agentes. Tendo em vista tal problema, é proposto um modelo de estratégias de barganha baseado nos perfis dos agentes, tornando possível descrever as preferências do agente.

Para avaliar a sua abordagem, o autor emprega o modelo proposto em um cenário envolvendo negociação com múltiplos atributos em um cenário de venda e compra de carros, onde o preço, tipo, fabricante, potência máxima, tipo de combustível e outros atributos do carro são levados em consideração durante a negociação. Os resultados das avaliações mostram um ganho na definição de acordos quando os agentes utilizam diferentes estratégias de negociação.

### 3.2.8 Practical reasoning in an argumentation-based decision BDI agent: A case study for participatory management of protected areas

Em Velmovitsky et al. (2017) apresenta a implementação de um agente BDI que utiliza um sistema de argumentação para gerenciar áreas protegidas. O gerenciamento de área protegida feito pelo agente envolve a negociação entre diversos tipos de acionistas, onde os papéis deles variam desde um perfil com maior consciência social e ambiental até algum indivíduo totalmente conservador.

Para implementar esse agente os autores utilizam um *framework* chamado Jason, uma implementação da linguagem para programação de agente *AgentSpeak* que está baseada na arquitetura BDI (BORDINI; HÜBNER; WOOLDRIDGE, 2007). Desta forma, os autores apresentam exemplos de como o sistema de argumentação é usado como suporte na tomada de decisão do gerente desse conjunto de áreas protegidas. O sistema de argumentação acoplado ao agente atua através de uma estratégia de negociação baseada nas possíveis explicações para uma decisão. Como principal contribuição tem-se um protótipo de agente no qual um sistema de argumentação capaz de utilizar diferentes bases de conhecimento e também explorar a relação entre argumentação envolvidos em uma negociação.

## 3.3 ANÁLISE DOS TRABALHOS RELACIONADOS

O trabalho de Trescak et al. (2014) e Parsons, Sierra e Jennings (1998) também integram a negociação ao ciclo de raciocínio do agente por meio de SMC, muito similar ao modelo apresentado nesse trabalho. Entretanto, os autores modelam as informações de negociação e estratégias de argumentação por meio de regras de pontes específicas do domínio e nos contextos já existentes, sendo eles os contextos de crenças, desejos e intenções. Apesar de ser apenas uma decisão de projeto, essa abordagem dificulta a integração do modelo de agentes em outros ambientes, já que ao implantar o agente em outro cenário, a linguagem dos contextos usados poderiam ser alteradas. Diferente do que foi proposto em (TRESCAK et al., 2014) e (PARSONS; SIERRA; JENNINGS, 1998), o modelo proposto neste trabalho consiste em adicionar apenas um novo contexto de negociação ao agente. Essa decisão permite a fácil integração do agente em diferentes cenários de negociação, já que é necessário apenas adicionar novas regras de ponte que integrem

o contexto de negociação aos outros contextos.

Mesmo levando em consideração a integração da arquitetura BDI com o processo de negociação, o uso de SMC e cenários com quantidade elevada de informações, os trabalhos Cao e Feng (2008), Radu (2015), Fabregues e Sierra (2014), Ramezani, Ghasem-Aghaee e Kazemifard (2011), Fabregues e Sierra (2010) assumem que é possível mapear o conjunto de todos os estados do ambiente. O trabalho Velmovitsky et al. (2017) utiliza valores de utilidade para definir ações e argumentos durante a tomada de decisão. Entretanto, em alguns cenários isso se torna impraticável devido a constante alteração das informações e do tempo limitado. Para lidar com essa característica, esse trabalho incorpora aspectos de raciocínio limitado, mais especificamente a teoria da adaptação à aspiração, na estratégia de negociação do agente.

Com base na análise feita dos trabalhos levantados nessa seção, o Quadro 1 apresenta os trabalhos escolhidos e as principais características levadas em consideração na proposta do agente negociador desta pesquisa.

Artigos	Íntegram negociação ao agente BDI	Modelam agente baseando-se em SMC	Adaptação à diferentes cenários	Avaliação
(PARSONS; SIERRA; JENNINGS, 1998)	X	X		
(CAO; FENG, 2008)	X			X
(FABREGUES; SIERRA, 2010)	X		X	
(RAMEZANI; GHASEM-AGHAEI; KAZEMIFARD, 2011)	X			X
(TRESČAK et al., 2014)	X	X		
(FABREGUES; SIERRA, 2014)	X		X	
(RADU, 2015)			X	X
(VELMOVITSKY et al., 2017)	X		X	
<b>Proposta</b>	X	X	X	X

Quadro 1 – Relação dos trabalhos relacionados e do modelo proposto



## 4 MODELO PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado o agente negociador proposto nesta pesquisa. O agente negociador é criado a partir do agente BDI baseado em SMC mostrado em Gelaim et al. (2019), que por sua vez foi inspirado no trabalho de Casali, Godo e Sierra (2011). Na seção 4.1 são mostradas as definições dos contextos de crenças, desejos, intenções, comunicação, planejamento e regras de ponte usadas na modelagem do agente BDI mostrado em Gelaim et al. (2019). Já na seção 4.2 a adição do contexto de negociação é explorada, bem como as regras de ponte necessárias para a integração desse novo contexto ao ciclo de raciocínio do agente.

### 4.1 CONTEXTOS DE CRENÇAS, DESEJOS, INTENÇÕES, PLANEJAMENTO E COMUNICAÇÃO

O conhecimento que o agente possui sobre o ambiente é representado pelas suas crenças. Apesar de não ser utilizado neste trabalho, uma crença pode ter diferentes graus de certeza. Proposições que o agente deseja atingir ou algum estado de mundo que deva ser evitado são definidos no contexto de desejos. Os objetivos do agente são modelados no contexto de intenção. Os contextos de crenças, desejos e intenções são modelados no Sigon como contextos lógicos. Casali, Godo e Sierra (2011) definem um contexto lógico como:

**Definição 3** *C é um contexto lógico definido como:*

$$C = \langle L, Ax, \delta \rangle$$

onde  $L$  é a linguagem do contexto,  $Ax$  um conjunto de axiomas e  $\delta$  o conjunto de regras de inferência do contexto. No Sigon os contextos lógicos podem ser construídos utilizando lógica proposicional, de primeira-ordem, dinâmica e probabilística (GELAIM et al., 2019).

**Definição 4** *Um agente baseado em um SMC desenvolvido no Sigon é definido como:*

$$AG = \langle CC \bigcup_{i=0}^n C_i, \Delta rp \rangle$$

onde  $CC$  é o contexto de comunicação e  $C_i$  com  $0 \leq i \leq n$  são os contextos criados pelo desenvolvedor. Uma regra de ponte  $rp_j \in \Delta rp$  conecta dois ou mais contextos (GELAIM et al., 2019).

Segundo Gelaim et al. (2019), como os agentes estão em constante interação com o ambiente, a comunicação é crucial para a criação

de uma interface entre o agente e o ambiente. O contexto de comunicação é um contexto funcional formado por sensores e atuadores. Um sensor  $S_i$  é um par ordenado:

$$S_i = (\omega, \chi), \quad (4.1)$$

onde  $\omega$  é o identificador do sensor e  $\chi$  é a função que mapeia uma observação para uma percepção. Um atuador  $A_j$  é um par ordenado:

$$A_j = (\rho, \alpha), \quad (4.2)$$

onde  $\rho$  é o identificador do atuador e  $\alpha$  é a ação a ser executada.

**Definição 5** *O contexto de comunicação CC é definido como:*

$$CC = \langle \bigcup_{i=1}^n S_i, \bigcup_{j=1}^m A_j, \rangle$$

onde  $S_i$  com  $1 \leq i \leq n$  são os sensores do agente e  $A_j$  com  $1 \leq j \leq m$  os seus atuadores.

As ações e planos de um agente são modeladas no Sigon no contexto de Planejamento. O contexto de Planejamento é definido como um contexto funcional. O contexto de planejamento segue a abordagem definida por Casali, Godo e Sierra (2005) para a modelagem de planos e ações. Sendo assim, uma ação é definida como:

$$action(\alpha, Pre, Post, c_a) \quad (4.3)$$

onde  $\alpha$  é o nome da ação,  $Pre$  é o conjunto de pré-condições para executar  $\alpha$ ,  $Post$  é o conjunto de pós-condições e  $c_a$  o custo da ação  $\alpha$ . Os planos do agente são formados da seguinte forma:

$$plan(\varphi, \beta, Pre, Post, c_a) \quad (4.4)$$

onde  $\varphi$  é o estado de mundo que o agente pretende atingir,  $\beta$  é a ação ou o conjunto de ações que o agente precisa executar para atingir  $\varphi$ ,  $Pre$  é o conjunto de pré-condições para que seja possível executar o plano,  $Post$  o conjunto de pós-condições e  $c_a$  o custo do plano. Define-se  $P$  como o conjunto de todos os planos e  $A_c$  como o conjunto de todas as ações.

**Definição 6** *O contexto de Planejamento PC é definido no Sigon conforme abaixo:*

$$PC = \langle \bigcup_{i=1}^n Ac_i, \bigcup_{j=1}^m P_j, \rangle$$

onde  $Ac_i$  é uma ação com  $1 \leq i \leq n$ , e  $P_j$  um plano com  $1 \leq j \leq m$ .

**Definição 7 (Agente proposto)** *O agente BDI modelado no Sigon é definido como:*

$$AG = (\{BC, DC, IC, NC, PC, CC\}, \Delta_{rp}), \quad (4.5)$$

onde  $CC$  e  $PC$  são os contextos de comunicação e planejamento mostrados nas definições 5 e 6, respectivamente. Os contextos  $BC$ ,  $DC$  e  $IC$  são os contextos lógicos e representam as crenças, desejos e intenções do agente. Em  $NC$  modela-se o contexto de negociação, que será abordado na seção 4.2.  $\Delta_{rp}$  são as regras de ponte utilizadas para a troca de informações entre os contexto. As definições das regras de ponte são apresentadas em 4.6, 4.7 e 4.8.

$$\frac{CC : \text{sense}(\varphi) \wedge PC : \text{plan}(\varphi, \alpha, Pre, Post, c_a) \wedge DC : \varphi}{BC : \varphi} \quad (4.6)$$

$$\frac{DC : \varphi \wedge BC : \neg\varphi \wedge IC : \neg\varphi}{IC : \varphi} \quad (4.7)$$

$$\frac{PC : \text{plan}(\varphi, \alpha, Pre, Post, c_a) \wedge IC : \varphi \wedge BC : Pre}{CC : \alpha} \quad (4.8)$$

A primeira regra de ponte adicionará a percepção  $\varphi$  ao contexto de crenças ( $BC$ ) quando a percepção estiver relacionada com algum plano do agente. A segunda regra adiciona a intenção  $\varphi$  quando ela for um desejo do agente, não for uma crença e também não for uma intenção já existente. A terceira regra de ponte mostra que um plano só é executado se todas as suas pré-condições forem satisfeitas (GELAIM et al., 2019).

A seção 4.2 apresenta uma das principais contribuições deste trabalho, onde é mostrado a criação de um contexto de negociação e como é feita a integração desse contexto ao ciclo de raciocínio do agente.

## 4.2 CONTEXTO DE NEGOCIAÇÃO

Segundo Baarslag et al. (2017), existem três grandes áreas que devem ser levadas em consideração durante o desenvolvimento de agentes negociadores: (i) conhecimento do domínio e extração de preferências; (ii) perspectiva a longo prazo; (iii) confiança do usuário. O foco deste trabalho encontra-se na construção de um agente negociador capaz de representar o domínio de negociação em que o agente está inserido e suas preferências. Para abordar essas características de forma modular e flexível um contexto de negociação é adicionado ao agente BDI como um SMC. Essa decisão é justificada da seguinte forma:

- Quando o agente for implantado em diferentes domínios ele poderá adaptar suas estratégias de negociação para obter melhores acordos. Em um SMC, diferentes estratégias de negociação podem ser facilmente acopladas ao agente, de forma que essa mudança não afete outros contextos ou necessite uma mudança na linguagem dos contextos e nas regras de ponte do agente já existentes.
- Diferentes cenários de negociação podem ter diferentes protocolos, normas e regras. Leilões podem ser usados como exemplo, onde se tem o leilão inglês, holandês, Vickrey e etc (JENNINGS et al., 2001). Apesar de diferentes na maneira como o ganhador é definido, muitos desses leilões são formados por apostas feitas a cada rodada. Ao adicionar um contexto de negociação, existe um ganho em relação a modularidade na implementação do agente, já que é possível adicionar informações sobre o domínio de negociação ao novo contexto.
- Ao possibilitar a facilidade de adição de novas estratégias no contexto de negociação tem-se um ganho na representação da região de aceitação de um agente, aumentando a possibilidade dos agentes chegarem a um acordo (JENNINGS et al., 2001). Um seletor de estratégia de negociação pode ser feito com uma regra de ponte ou inferência no contexto de negociação.

Este trabalho define o contexto de negociação como o contexto que contém um conjunto de estratégias que são usadas durante a negociação. Esse conjunto pode variar no seu tipo de estratégia, ou seja, de funções de utilidade até habilidades de argumentação mais elaboradas. Uma estratégia pode ser definida como o conjunto de ações que

serão tomadas pelo agente, sendo assim ela impacta no contexto de planejamento. A regra de ponte entre o contexto de negociação e de planejamento tem a função de adicionar as ações que podem ser tomadas durante a negociação, tal como uma ação que representa uma aposta ou uma contraproposta, por exemplo. Essas ações são chamadas neste trabalho de ações de negociação.

Seguindo o modelo de agente BDI de Gelaim et al. (2019) e as regras de ponte mostradas em 4.7 e 4.8, desejos e intenções afetam diretamente na execução de planos. Levando esses aspectos em consideração, uma regra de ponte para adicionar os desejos de negociação e estados de negociação desejados pelo agente é criada. Com essas duas regras de ponte torna-se possível manter o planejamento do agente, tornando a adição do contexto de negociação modular.

Na seção 4.3 apresenta-se a proposta de uma estratégia de negociação baseada na Teoria da Adaptação à Aspiração (AAT), um tipo de raciocínio limitado. O principal objetivo da AAT não é obter uma solução ótima (SELTEN, 1998), mas sim uma solução baseando-se no grau de importância de um conjunto de objetivos.

### 4.3 CRIAÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE NEGOCIAÇÃO BASEADA EM AAT

Como mencionado anteriormente, grande parte dos problemas de negociação envolvem vários tipos de informações que estão constantemente mudando. Na definição de um contrato de trabalho essa mudança é explícita, já que o valor de um salário, carga horária, promoções possuem diversas possibilidades em uma faixa de valores previamente definida.

Como funções de utilidades são altamente sensíveis a sutis mudanças, os desenvolvedores de agentes negociadores devem considerar esses aspectos durante a representação de preferências (BAARSLAG et al., 2017). Quando humanos são expostos a esse tipo de cenário, é muito incomum que funções de utilidades complexas sejam definidas para a obtenção de uma solução (ROSENFELD; KRAUS, 2012). Em situações como essas, humanos tendem a limitar seu raciocínio e tomar as suas decisões com base em fatores relacionados a preferências (ROSENFELD et al., 2014).

Tomando como base a Teoria da Adaptação à Aspiração apresentada na seção 2.5 e nos pontos levantados até o momento, propõe-se a modelagem das principais características da AAT como estratégia de

negociação em um agente baseado em um SMC. Para modelar essa estratégia de negociação é necessário definir: as variáveis de objetivos, o nível de aspiração das variáveis e as ações tomadas. Desta forma, uma variável de objetivo  $g_i$  em AAT é definida como:

$$g_i = (a_i, v_{a_j}) \quad (4.9)$$

onde  $a_j$  representa um atributo de negociação e  $v_{a_j}$  um possível valor de  $a_j$ . A carga horária desejada pode ser modelada como uma variável de objetivo, por exemplo. Dependendo da carga horária disponível, um agente pode definir uma preferência onde um trabalho ocupe apenas 20 horas semanais e não 40 horas semanais.

Os níveis de aspiração são definidos por meio das crenças, desejos e intenções do agente. Assumindo que o agente tenha uma crença que modele a distância da casa do empregado até a empresa e que essa distância seja pequena, então aceitar um carro para deslocar-se até a empresa não representa tanta urgência para o agente. Desta forma, o nível de aspiração de possuir o carro deve ser possuir um valor próximo de 0.

Com base no conjunto de variáveis de objetivos e seus níveis de aspiração a estratégia de negociação define as ações que serão realizadas conforme abaixo. Uma ação  $x_i$  é definida como:

$$x_i = \{v_{a_0}, \dots, v_{a_i}, \dots, v_{a_n}\} \quad (4.10)$$

onde  $v_{a_j}$  é o valor do atributo de negociação  $a_j$ . Uma ação pode apresentar diversas propostas em relação ao valor de um atributo, por exemplo. Um plano  $X$  é formado como:

$$X = \{x_0, \dots, x_i, \dots, x_n\} \quad (4.11)$$

onde um plano  $X$  é composto por uma sequência de ações. As ações que serão realizadas nos planos do agente nada mais são que propostas ou respostas relativas a aceitação do valor de um atributo de negociação. A ação de propor o valor de um salário constitui o que é chamado de plano em AAT (SELTEN, 1998).

Levando em consideração os objetivos como atributos de negociação e seus valores, o nível de aspiração de cada atributo, possíveis alterações desses níveis e as ações necessárias para atingir os objetivos, a seção 4.3.1 apresenta como essas propriedades podem ser inseridas ao

ciclo de raciocínio do agente.

### 4.3.1 Integrando a estratégia de negociação ao ciclo de raciocínio do agente

A importância de uma variável de objetivo da negociação  $\varphi$  é representada por um valor  $\gamma$  (SELTEN, 1998). Baseando-se na tomada de decisão dos seres humanos, as preferências muitas vezes afetam a definição do valor  $\gamma$  do grau de urgência do objetivo de negociação  $\varphi$  (ROSENFELD; KRAUS, 2012). Desta forma, o contexto de negociação  $NC$  possui o seguinte predicado para modelar a urgência de um objetivo:

$$NC : urgencia(\varphi, \gamma). \quad (4.12)$$

Uma crença  $\alpha_i$ , um desejo  $\theta_j$ , e uma intenção  $\beta_k$  do agente podem afetar o grau de urgência  $\gamma$  de um objetivo de negociação  $\varphi$ . O valor para  $\gamma$  é definido pelo desenvolvedor do agente, conforme apresentado na subseção 4.3.3. A regra de ponte mostrada em 4.13 é usada para representar esse aspecto.

$$\frac{BC : \alpha \wedge DC : \theta \wedge IC : \beta}{NC : urgencia(\varphi, \gamma)}, \quad (4.13)$$

Casali, Godo e Sierra (2011) definem que desejos tem influência direta na criação de planos. Sendo assim, é necessário a adição de desejos de negociação que levem em consideração a urgência dos objetivos de negociação. O  $\varphi$  é definido de acordo com o que é mostrado na subseção 4.3.4.

$$\frac{NC : urgencia(\varphi, \gamma)}{DC : \varphi} \quad (4.14)$$

As ações de negociação são adicionadas ao contexto de planejamento através de regras de ponte. Uma ação de negociação  $\alpha$  representa uma proposta do valor de um item, por exemplo. Se o agente tem um desejo de negociação de obter  $\varphi$  e não o possui, então essa ação pode ser definida conforme a regra de ponte abaixo:

$$\frac{DC : \varphi \wedge NC : urgencia(\varphi, \gamma)}{PC : acao(\alpha, \neg\varphi, \varphi)} \quad (4.15)$$

A Figura 5 mostra o ciclo da estratégia de negociação baseada em AAT e adaptada para o agente negociador proposto neste trabalho.

Na subseção 4.3.2 é mostrado como a estratégia de negociação baseada em AAT pode ser empregada em um cenário em que duas casas estão sendo leiloadas.

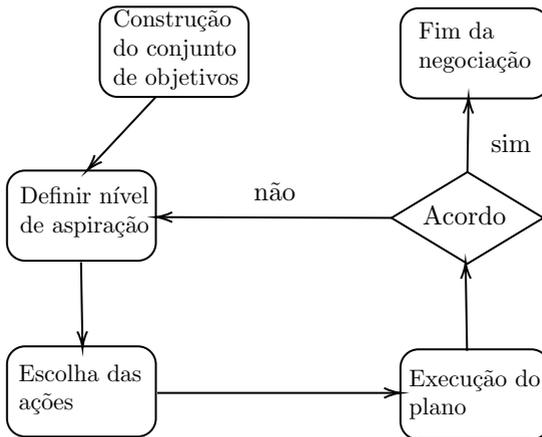


Figura 5 – Ciclo da execução da estratégia de negociação baseada em AAT. Adaptado de Selten (1998)

### 4.3.2 Cenário exemplo: Usando AAT como estratégia de negociação na compra de uma casa em um leilão

Para exemplificar as justificativas para a criação de um contexto de negociação e o uso de AAT como estratégia de negociação um cenário em que duas casas estão sendo leiloadas é modelado a seguir. O agente Bob está representando Alice durante o leilão. Desta forma, o agente Bob precisa modelar as preferências de Alice durante a compra de uma casa.

O agente Bob tem as seguintes crenças: Alice mora longe do seu local de trabalho, tem R\$ 150.000,00 disponível para realizar um lance em alguma das casas disponíveis e também tem informação sobre a distância entre cada uma das casas disponíveis e o local de trabalho de Alice. As crenças do agente Bob são mostradas no código 4.1.

- 
- 1 beliefs :
  - 2 distancia\_trabalho > 20 km.
  - 3 dinheiro(R\$ 150.000,00).

```

4     casa_distancia (casaA, 15km).
5     casa_distancia (casaB, 3km).

```

---

Código 4.1 – Contexto de crenças do agente Bob

O agente Bob modela no código 4.2 um desejo no qual Alice quer morar próximo do seu local de trabalho.

---

```

1  desires :
2  distancia_trabalho < 5 km.

```

---

Código 4.2 – Contexto de desejos do agente Bob

O contexto de negociação mostrado no código 4.3 apresenta o valor inicial das casas disponíveis para venda. Esse valor pode ser adicionado ao contexto de negociação por meio de uma regra de ponte, na qual a premissa referencia o contexto de comunicação. Para facilitar o andamento do exemplo assume-se que essa troca de informação já ocorreu.

---

```

1  negotiation :
2  valor_inicial (casaA, 125.000,00).
3  valor_inicial (casaB, 135.000,00).

```

---

Código 4.3 – Contexto de negociação do agente Bob

Conforme mostrado na Figura 5 e apresentado na subseção 4.3.1 é necessário estabelecer o conjunto das variáveis de objetivos. Para fins de simplificação, modela-se apenas alguns atributos de negociação relativos às características levadas em consideração durante a compra de uma casa. As variáveis de objetivos modeladas no contexto de negociação são mostradas no código 4.4

---

```

1  negotiation :
2  urgencia(distancia_trabalho < 5km,  $\gamma$ ).
3  urgencia(seguranca,  $\gamma$ ).
4  urgencia(mobiliado,  $\gamma$ ).

```

---

Código 4.4 – Variáveis de objetivos presentes no contexto de negociação do agente Bob

As crenças e desejos do agente Bob são usados para definir o nível de aspiração, ou urgência, das variáveis de objetivos. Sendo assim, torna-se necessário a implementação de regras de ponte para estabelecer o valor de  $\gamma$ . Conforme mostrado na subseção 4.3.3, esse valor

é inicialmente definido pelo desenvolvedor. O código 4.5 apresenta o contexto de negociação após a execução das regras de ponte.

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{distancia\_trabalho} > 20\text{km} \\ \beta &= \text{distancia\_trabalho} \leq 5\text{km} \\ \gamma &= \text{casa\_distancia}(X, Y \leq 5\text{km})\end{aligned}$$

$$\frac{BC : (\alpha) \wedge DC : (\beta) \wedge BC : (\gamma)}{NC : (\text{urgencia}(\text{distancia\_trabalho} \leq 5\text{km}, 10))}$$

- 
- 1 negotiation:
  - 2    valor\_inicial (casaA, 125.000,00).
  - 3    valor\_inicial (casaB, 135.000,00).
  - 4    urgencia(distancia\_trabalho < 5km, 10).
  - 5    urgencia(seguranca, 0).
  - 6    urgencia(mobiliado, 0).
- 

#### Código 4.5 – Contexto de negociação do agente Bob

O valor do nível de urgência de uma variável de objetivo é usado para definir o desejo de negociação. O contexto de desejos do agente Bob após a execução da regra de ponte abaixo é apresentado no código 4.6

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{urgencia}(\text{distancia\_trabalho} < Y, 10) \\ \beta &= \text{casa\_distancia}(X, Y)\end{aligned}$$

$$\frac{NC : \alpha \wedge BC : \beta}{DC : \text{comprar}(X)}$$

- 
- 1 desires:
  - 2    distancia\_trabalho < 5 km.
  - 3    comprar(casaB).
- 

#### Código 4.6 – Contexto de desejos do agente Bob

As ações que podem ser tomadas durante o leilão devem ser adicionadas ao contexto de planejamento através de regras de ponte. Essa decisão é justificada pela facilidade de modelar ações de negociação usando as fórmulas presentes no contexto de negociação, de forma a

não alterar o planejamento do agente.

$$\frac{NC : \text{valor\_inicial}(X, Y) \wedge BC : \text{dinheiro}(Z \geq Y)}{PC : \text{acao}(\text{lance}(X, Z), \text{dinheiro}(Z), \text{lance}(X, Z))}$$

Com as ações e desejos de negociação modelados a partir do contexto de negociação é possível a criação de planos.

$$\text{plano}(\text{comprar}(\text{casaB}), \text{lance}(\text{casaB}, \text{R\$ } 150.000, 00), (\text{dinheiro}(\text{R\$ } 150.000, 00), \text{lance}(\text{casaB}, \text{R\$ } 150.000, 00)))$$

Neste exemplo assume-se que a ação selecionada será aquela do único plano apresentado até o momento, mesmo que o ciclo de raciocínio apresentado em (GELAIM et al., 2019) envolva mais etapas. Isso ocorre pelo fato de que o principal objetivo neste exemplo é apresentar o contexto de negociação e sua interação com outros contextos. Sendo assim, a ação que será passada ao contexto de comunicação será a realização de um lance na casa identificada como casaB.

$$\alpha = \text{lance}(\text{casaB}, \text{R\$}150.000, 00)$$

Nas subseções 4.3.3 e 4.3.4 são apresentados de forma detalhada como os níveis de aspiração de um conjunto de objetivo são definidos e alterados de forma automática durante a negociação.

### 4.3.3 Definindo valores para o nível de aspiração de uma variável de objetivo

De acordo com Selten (1998), humanos estipulam conjuntos de objetivos e seus níveis de importância em situações cotidianas. Conforme apresentado na subseção 4.3.1, o nível de aspiração ou urgência de uma variável de objetivo pode ser estipulada pelo desenvolvedor diretamente no contexto de negociação ou através de regras de ponte.

A quantidade de níveis de aspiração de  $g_i$  tem um papel relevante durante a negociação (SELTEN, 1998). Desta forma, quanto maior for a quantidade de níveis, maior será a possibilidade de alterações. Esse espaço de possibilidades em um nível de aspiração pode prolongar a negociação. Apesar dessa quantidade de valores de níveis de aspiração representar uma etapa importante e complexa, neste trabalho lida-se apenas com níveis de urgência que variam entre 1 à 10.

A relação entre uma variável de objetivo e o seu nível de as-

piração é representada neste trabalho da seguinte forma:  $g_i$  é a variável de objetivo que representa um atributo de negociação  $a_i$  e seu valor  $v_i$ , ou seja,  $g_i = (a_i, v_i)$ . Um valor  $k$  para o nível de aspiração de  $g_i$  encontra-se no intervalo  $1 \leq k \leq 10$ .

A estratégia de negociação baseada em AAT utiliza uma lista de prioridades ordenada. Essa lista é criada a partir das variáveis de objetivos e dos níveis de aspiração que são modelados no contexto de negociação.

**Definição 8**  $G$  é o conjunto de variáveis de objetivos e  $V_{g_i}$  o conjunto das possibilidades de níveis de aspiração de  $g_i$ , onde  $g_i \in G$ .

Através das variáveis de objetivo e dos níveis de aspiração, é possível utilizá-los para estabelecer as ações de negociação. Abaixo apresenta-se como essa abordagem é realizada:

**Definição 9**  $L$  é uma lista ordenada que possui os pares ordenados das variáveis de objetivos de negociação e seus valores de aspiração definido como:

$$L = \{(g_1, v_{g_1}), (g_2, v_{g_2}), \dots, (g_n, v_{g_n})\},$$

onde  $v_{g_k} \in V_{g_k}$ , ou seja,  $v_{g_k}$  é um valor de aspiração da variável de objetivo  $g_1$ .

Para exemplificar o funcionamento, apresenta-se um exemplo contendo a formação da lista  $L$ . Para isso, tem-se um agente que está representando uma pessoa em uma negociação do contrato de uma vaga de trabalho. Assumindo que o que está sendo estabelecido é a carga horária semanal. A lista  $L$  é formada conforme abaixo:

$$L = \{(horas\_semanais(40), 2), (horas\_semanais(30), 8), \\ (horas\_semanais(20), 10)\}$$

Por meio da lista  $L$  o agente pode propor uma carga horária de apenas 20 horas semanais, já que essa variável de objetivo possui o maior nível de urgência. Caso esse valor não seja aceito, a estratégia de negociação deve reescalar esses níveis automaticamente. Esse mecanismo torna-se necessário, já que em vários cenários as informações mudam e impactam nas crenças, desejos e intenções do agente. A subseção 4.3.4 apresenta como esse mecanismo é abordado nesta pesquisa.

#### 4.3.4 Atualização automática dos níveis de aspiração durante a negociação

Assim como as informações, as prioridades de um objetivo também estão em constante mudança. As crenças, desejos, intenções e regras de ponte iniciais do agente não são suficientes para representar a mudança de prioridade que podem ocorrer durante a negociação. Essa limitação ocorre pelo fato de que seria necessário saber de antemão todos os estados de negociação. Sendo assim, este trabalho propõe a criação de um mecanismo para representar as mudanças de prioridades por meio da alteração automática dos níveis de aspiração das variáveis de objetivos.

O mecanismo de alteração automática dos níveis de aspiração está baseado na manipulação da lista ordenada apresentada na seção 4.3.3. Por meio da lista ordenada  $L$  com as variáveis de objetivos e níveis de aspiração cria-se duas novas listas ordenadas. Assumindo que a lista  $L$  seja formada conforme abaixo:

$$L = \{(g_1, v_{g_1}), \dots, (g_i, v_{g_i}), \dots, (g_n, v_{g_n})\} \quad (4.16)$$

Na definição 10 é apresentada a formação da  $L_1$ . Já na definição 11 é mostrada a lista  $L_2$ .

**Definição 10** *A lista  $L_1$  contém os seguintes elementos:*

$$L_1 = \{(g_1, v_{g_1}), (g_2, v_{g_2}), \dots, (g_i, v_{g_i})\}$$

onde  $v_{g_i} < (v_{g_n}/2)$ , ou seja, contém as variáveis de objetivos e níveis de aspiração cujo valor seja menor que a metade do maior nível de aspiração. Essa abordagem permite definir as variáveis de objetivos que possuem menor prioridade.

**Definição 11** *A lista  $L_2$  contém os seguintes elementos:*

$$L_2 = \{(g_j, v_{g_j}), (g_k, v_{g_k}), \dots, (g_n, v_{g_n})\}$$

onde  $v_{g_n}/2 \leq v_{g_j} \leq v_{g_n}$ , ou seja,  $L_2$  contém as variáveis de objetivos e os níveis de aspiração, onde o valor do nível de aspiração seja maior ou igual a metade do maior nível de aspiração. Dessa forma é possível obter os atributos com maior prioridade ou mais urgentes.

Dada uma variável de objetivo de negociação  $g_i$  que possui as seguintes possibilidades para os níveis de aspiração:  $v_0, v_1, v_i, \dots, v_n$ , onde os valores estão ordenados em forma ascendente, ou seja,  $v_{i-1} < v_i < v_{i+1}$ . Com base no que foi apresentado na subseção 4.3.3, onde o desenvolvedor define por meio de regras de ponte o nível de aspiração,

assume-se que o valor do nível de  $g_i$  seja  $v_i$ . Quando o agente propuser  $g_i$ , o nível de aspiração  $v_i$  da variável de objetivo  $g_i$  só será atingido se o outro agente aceitar a proposta, por exemplo. Caso não ocorra um acordo sobre o atributo de negociação representado por  $g_i$ , uma nova proposta deve ser realizada. Sendo assim, tem-se as seguintes possibilidades:

1.  $g_i$  não atingiu o nível de aspiração modelado pelo agente, ou seja,  $v_r < v_i$ , onde  $v_r$  é o nível de aspiração da variável de objetivo  $g_i$ , ou seja,  $v_r \in V_{g_i}$ . Desta forma duas novas possibilidades surgem: (i) o nível de aspiração de  $v_i$ , onde  $v_i < (v_n/2)$  mostra que  $g_i$  não possui tanta prioridade. Tal propriedade faz com que o agente aceite a contraproposta em relação ao atributo  $a_i$ . Isso permite que o agente possa definir outros atributos mais prioritários nas próximas iterações; (ii) tem-se que  $v_i \geq v_n$ , então o agente pode reescalar outra variável de objetivo  $g_k$  com nível de aspiração maior ou igual a  $v_i$ , ou seja,  $v_k \geq v_i$ , caso seja possível, de acordo com os atributos da lista  $L_2$ .
2. Se  $v_r \geq v_i$  e  $v_i \geq (v_n/2)$ , o agente aceita a proposta. Já que sempre será preferível um aumento no nível de aspiração de uma variável de objetivo que representa um considerável nível de importância.

Nessa capítulo foi proposto um contexto de negociação e como pode ser realizada a sua integração ao ciclo de raciocínio do agente BDI baseado em SMC. O contexto de negociação tem como o principal objetivo modelar a estratégia de negociação e o protocolo que deve ser seguido durante a interação com o ambiente e com terceiros, ou seja, as possíveis ações que o agente pode tomar durante o processo de negociação. A principal vantagem de seguir essa abordagem encontra-se no fato de que os outros contextos e regras de ponte do agente não são afetados ao inserir o agente em um outro ambiente, possibilitando que as linguagens dos contextos e as regras de ponte permaneçam as mesmas.

Também foi apresentado uma modelagem inicial de um contexto de negociação que utiliza características da Teoria da Adaptação à Aspiração (AAT) como estratégia de negociação. Através dessa estratégia é possível estabelecer um conjunto de atributos que representam um certo grau de importância ou urgência para o agente, permitindo que ele atue em cenários de negociação que simulem problemas do mundo real (ROSENFELD; KRAUS, 2012).

## 5 ESTUDO DE CASO

Para avaliar qualitativamente o agente negociador proposto neste trabalho foram escolhidos três cenários de negociação retirados de Trescak et al. (2014), Parsons, Sierra e Jennings (1998) e Rosenfeld e Kraus (2012). Em Trescak et al. (2014) e Parsons, Sierra e Jennings (1998) os agentes BDI são baseados em sistemas multicontexto e usam argumentação como estratégia de negociação para a resolução de conflitos. Já no terceiro cenário, retirado de Rosenfeld e Kraus (2012), tem-se um cenário que apresenta características que remetem a problemas do mundo real, ou seja, um conjunto de atributos é negociado multi-lateralmente em um tempo limitado.

Em cada cenário é explorado um aspecto diferente do agente negociador e da estratégia de negociação usada na resolução de conflitos. Ao comparar diferentes cenários de negociação espera-se que seja possível levantar as vantagens e limitações do agente negociador proposto nesta pesquisa.

### 5.1 CENÁRIO 1 - REPAROS DOMÉSTICOS COM MEDIADOR

Nesta seção mostra-se duas versões de um agente negociador implementados no *framework* Sigon, onde o principal objetivo é apresentar distintas abordagens para a resolução de um problema de negociação. Ambas mostram um agente mediador, Charlie, que irá oferecer conselhos aos agentes Alice e Bob para que eles possam atingir seus objetivos. Alice tem o objetivo de pendurar um quadro. Já Bob precisa pendurar um espelho. Os dois agentes acreditam que para pendurar o quadro e o espelho é preciso um prego e um martelo. Neste cenário assume-se que os agentes Alice e Bob irão aceitar os conselhos. Na subseção 5.1.1 mostra-se como é modelado o agente mediador que utiliza argumentação durante a negociação. Já o agente mediador que possui uma estratégia de negociação baseada em AAT é apresentado na subseção 5.1.2.

### 5.1.1 Mediador usando estratégia de negociação baseada em argumentação

A primeira abordagem é baseada no trabalho de Trescak et al. (2014), onde propõe-se um agente mediador que utiliza argumentação para fornecer conselhos de como os agentes podem atingir seus objetivos de criação. Os autores defendem que muitas vezes um mediador possui mais recursos e informações relevantes para a resolução de conflitos. Sendo assim, o estado inicial das crenças do agente mediador são apresentados no código 5.1.

---

```

1 beliefs :
2   tem(charlie, chaveDeFenda).
3   tem(X, parafuso) & tem(X, chaveDeFenda) & tem(X, espelho)
   :- pode(X, pendurarEspelho).
4   tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
   pode(X, pendurarQuadro).

```

---

Código 5.1 – Crenças iniciais do agente mediador Charlie

Os agentes Alice e Bob interagem com o mediador Charlie e informam seus objetivos de criação. As crenças e intenções de Alice e Bob estão mostradas nos códigos 5.2 e 5.3.

---

```

1 beliefs :
2   tem(alice, quadro).
3   tem(alice, parafuso).
4   tem(alice, martelo).
5   tem(bob, prego).
6   tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
   pode(X, pendurarQuadro).
7
8 intentions :
9   pode(alice, pendurarQuadro).

```

---

Código 5.2 – Crenças e intenções de Alice

---

```

1 beliefs :
2   tem(bob, espelho).
3   tem(bob, prego).
4   tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
   pode(X, pendurarEspelho).
5
6 intentions :

```

7 pode(bob, pendurarEspelho).

---

### Código 5.3 – Crenças e intenções de Bob

Trescak et al. (2014) mostram que os agentes envolvidos enviam mensagens ao agente mediador, de forma que seja possível utilizar argumentação para criar opções. Os agentes Alice e Bob enviam informações referentes aos recursos e conhecimentos que eles possuem para atingir seus objetivos. O agente mediador utiliza uma função *GetKnowledge(Alice)* e *GetKnowledge(Bob)*, apesar dos autores não mostrarem a sua definição, para obter o conhecimento originados pelos outros agentes. Para acelerar o processo de negociação, assume-se que os agentes enviam os conhecimentos necessários para geração de conselhos. Sendo assim, as novas crenças do agente Charlie são mostradas no código 5.4.

---

```

1 beliefs :
2   tem(charlie, chaveDeFenda).
3   tem(alice, quadro).
4   tem(alice, parafuso).
5   tem(alice, martelo).
6   tem(bob, prego).
7   tem(bob, espelho).
8   tem(X, parafuso) & tem(X, chaveDeFenda) & tem(X, espelho)
   :- pode(X, pendurarEspelho).
9   tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
   pode(X, pendurarQuadro).
10
11 intentions :
12   pode(alice, pendurarQuadro).
13   pode(bob, pendurarEspelho).
```

---

### Código 5.4 – Crenças e intenções do agente mediador

Para facilitar a modelagem do agente, abaixo encontra-se as duas propriedades de argumentação usadas pelo mediador durante o processo de negociação, onde ambas foram adaptadas para o *framework* Sigon:

- Propriedade: Quando um agente (X) concede um recurso (Z) para o agente (Y), então (Y) se torna o proprietário desse recurso.

---

```

1 beliefs :
2   tem(Y,Z) :- tem(X,Z) & conceder(X,Y,Z).
```

---

Código 5.5 – Inferência usada para modelar a propriedade de um recurso

- Redução: Se existe uma maneira de atingir uma intenção porém as pré-condições não foram atingidas, o agente adota uma segunda intenção de atingir as pré-condições da intenção.

---

```

1 ! intentions tem(X, chaveDeFenda) :- intentions pode(X,
    pendurarEspelho) & beliefs not tem(X, chaveDeFenda).
2 ! intentions tem(X, parafuso) :- intentions pode(X,
    pendurarEspelho) & beliefs not tem(X, parafuso).
3 ! intentions tem(X, prego) :- intentions pode(X, pendurarQuadro)
    & beliefs not tem(X, prego).
4 ! intentions tem(X, martelo) :- intentions pode(X,
    pendurarQuadro) & beliefs not tem(X, martelo).

```

---

Código 5.6 – Regras de ponte utilizadas para modelar a redução

É válido lembrar que o agente mediador proposto em Trescak et al. (2014) utilizam variáveis livres (X,Y), chamada de teorias gerais, e teoria de casos. As teorias de caso são aquelas em que existem variáveis ligadas (alice, bob), por exemplo. Como o principal motivo do autor ter usado teorias gerais é o reuso, neste trabalho optou por usar as variáveis ligadas em momentos específicos, como por exemplo nas regras de ponte da redução. O principal motivo é a facilidade em modelar o agente e o entendimento do agente mediador.

Seguindo a sequência de interações definidas em Trescak et al. (2014), nas próximas etapas da modelagem do agente mediador Charlie mostra-se o ciclo de execução em duas partes. Na primeira apresenta-se a definição da proposta enviada para Bob e as propriedades de argumentação e regras de pontes utilizadas. Já na segunda aborda-se a definição da mensagem enviada para Alice.

Partindo do estado das teorias, as propriedades e as regras de ponte apresentadas nos códigos 5.4, 5.5 e 5.6. As regras de ponte relativas a redução são listadas no código 5.7.

---

```

1 ! intentions tem(X, chaveDeFenda) :- intentions pode(X,
    pendurarEspelho) & beliefs not tem(X, chaveDeFenda).
2
3 ! intentions tem(X, parafuso) :- intentions pode(X,
    pendurarEspelho) & beliefs not tem(X, parafuso).

```

---

Código 5.7 – Regras de pontes do agente mediador usadas para geração de uma proposta

As regras de ponte exibidas no código 5.7 garantem que o agente mediador modele as intenções dos recursos que Bob necessita para pendurar o espelho, conforme mostrado no código 5.8. É importante ressaltar que nesse momento Bob não tem o conhecimento de que seja possível pendurar um espelho utilizando um parafuso e uma chave de fenda. Após a execução das regras de ponte o agente Charlie possui as intenções mostradas no código 5.8.

---

```

1 intentions :
2   pode(alice, pendurarQuadro).
3   pode(bob, pendurarEspelho).
4   tem(bob, parafuso).
5   tem(bob, chaveDeFenda).
```

---

Código 5.8 – Intenções do agente mediador

Levando em consideração o novo estado mental do agente mediador apresentado no código 5.9, a regra de ponte na linha 1 tem como objetivo a adição de uma intenção que modele um conselho para que um agente ceda um recurso a outro.

---

```

1 ! intentions conceder(X,Y,Z) :- intentions tem(Y, Z) & beliefs
   tem(X, Z).
2
3 intentions :
4   pode(alice, pendurarQuadro).
5   pode(bob, pendurarEspelho).
6   tem(bob, parafuso).
7   tem(bob, chaveDeFenda).
8   conceder(alice, bob, parafuso).
9   conceder(charlie, bob, chaveDeFenda).
```

---

Código 5.9 – Regra de ponte e nova intenção do agente mediador para concessão de recursos

Nesta etapa da implementação a parte do planejamento foi a mesma apresentada no trabalho de Trescak et al. (2014). Desta forma, ignorou-se etapas relevantes do ciclo de raciocínio do agente e da formação de planos. Essa decisão ocorre pelo fato de que o principal objetivo dos cenários é avaliar as estratégias de negociação usadas pelos agentes.

A regra de ponte apresentada no código 5.9 permite que o agente mediador aconselhe o agente Bob para que ele realize uma tentativa de obter diferentes recursos. O conselho criado pelo agente Charlie é enviado por meio da regra de ponte da linha 1, conforme mostrado no código 5.10.

---

```
1 ! communication enviarConselho(informar,Y,conceder,X,Y,Z) :-
    intentions conceder(X,Y,Z).
```

---

Código 5.10 – Regra de ponte para envio de conselhos do agente

Sendo assim, o agente mediador envia dois conselhos ao agente Bob. O primeiro conselho consiste em o agente Bob solicitar que a agente Alice conceda o parafuso. O segundo também consiste em um pedido de concessão, onde o agente Charlie concede a chave de fenda ao agente Bob.

A segunda etapa da modelagem do agente mediador Charlie consiste em definir o conselho que será enviado para a agente Alice. Partindo do estado das teorias do agente mediador apresentados anteriormente no código 5.4, as regras de ponte das linhas 1 e 2 mostradas no código 5.11 são usadas para a adição de novas intenções.

---

```
1 ! intentions tem(X, prego) :- intentions pode(X,
    pendurarQuadro) & beliefs not tem(X, prego).
2
3 ! intentions tem(X, martelo) :- intentions pode(X, martelo) &
    beliefs not tem(X, martelo).
4
5 intentions :
6   pode(alice, pendurarQuadro).
7   pode(bob, pendurarEspelho).
8   tem(alice, prego).
```

---

Código 5.11 – Regras de ponte para adição de intenções e contexto de intenções do agente Charlie

Como o agente mediador já aconselhou ao agente Bob, assume-se que ele conseguiu atingir seus objetivos. Sendo assim, a regra de ponte concessão do mediador na linha 1 no código 5.12 adiciona a intenção de concessão.

---

```
1 ! intentions conceder(X,Y,Z) :- intentions tem(Y, Z) & beliefs
    tem(X, Z).
```

---

2

```

3 intentions :
4     pode(alice, pendurarQuadro).
5     pode(bob, pendurarEspelho).
6     tem(alice, prego).
7     conceder(bob, alice, prego).

```

---

Código 5.12 – Regra de ponte e nova intenção do agente mediador para concessão de recursos

Assim como na etapa anterior, a regra de ponte mostrada em 5.10 que adiciona a ação no contexto de comunicação é executada e o agente mediador aconselha a agente Alice a requisitar uma concessão ao agente Bob.

Como Bob não necessita mais do prego para atingir seu objetivo, então ele aceita o pedido de Alice. Como Alice também não irá utilizar o parafuso, também aceita o pedido de Bob. Já o mediador Charlie não tem nenhuma intenção em usar a chave de fenda. Como as requisições dos agentes Alice e Bob são atendidas, o conflito é resolvido através do recurso cedido pelo mediador e seus conhecimentos fornecido aos agentes.

### 5.1.2 Mediador usando estratégia de negociação baseada em AAT

Apresenta-se agora a segunda implementação do agente mediador para resolução de conflitos no cenário de reparos domésticos. Seguindo a abordagem mostrada anteriormente, a modelagem do agente mediador Charlie também será feita em duas partes. Na primeira parte será mostrado como o agente Charlie realiza a proposta para o agente Bob. Já na segunda parte será apresentado a proposta à agente Alice.

Diferente do agente proposto em Trescak et al. (2014) onde utiliza-se argumentação para criar conselho aos agentes envolvidos no conflito, nessa segunda abordagem mostra-se como seria possível empregar um agente mediador que usa a teoria da adaptação à aspiração como estratégia de negociação. É válido ressaltar que o foco desse cenário é comparar os dois tipos de estratégia de negociação em agentes como SMC, desta forma não se torna necessário o contexto de negociação. Essa decisão vai de acordo com o cumprimento do objetivo específico 3 dessa pesquisa, no qual o foco é analisar o impacto do uso de uma estratégia de negociação, baseada em AAT, para a resolução de conflitos.

Nessa etapa, assume-se o estado das teorias do agente apresentado em 5.4, ou seja, o agente mediador já obteve as informações necessárias para criar conselhos. A principal diferença da outra modelagem é que adicionou-se predicados que indiquem a necessidade ou não de um determinado recurso, conforme mostrado na linha 10. As crenças e intenções do agente mediador são apresentadas no código 5.13.

---

```

1  beliefs :
2    tem(charlie, chaveDeFenda).
3    tem(alice, quadro).
4    tem(alice, parafuso).
5    tem(alice, martelo).
6    tem(bob, prego).
7    tem(bob, espelho).
8    tem(X, parafuso) & tem(X, chaveDeFenda) & tem(X, espelho)
   :- pode(X, pendurarEspelho).
9    tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
   pode(X, pendurarQuadro).
10   not precisa(charlie, parafuso).
11
12  intentions :
13    pode(alice, pendurarQuadro).
14    pode(bob, pendurarEspelho).

```

---

Código 5.13 – Crenças e intenções do agente mediador

O conselho criado pelo agente Charlie para o agente Bob segue o mesmo padrão do que foi apresentado na modelagem anterior. Como o agente Bob não tem conhecimento de que pode atingir o objetivo de pendurar o espelho com um parafuso e chave de fenda, e sim com um martelo e prego, ele tenta obter o martelo da agente Alice. Porém, Alice utilizará o martelo para pendurar o seu quadro. Gerando um impasse nas negociações entre os agentes.

Assim como o agente Charlie, a agente Alice possui um recurso que não pretende utilizar. Nesse caso o agente mediador deve levar em consideração quais recursos cada agente possui. As regras de ponte apresentadas em 5.14 tem como objetivo modelar a necessidade ou não de um recurso. Por exemplo, se o agente  $X$  tem a intenção de pendurar um espelho, então ele não precisará de um prego e um martelo. Essas informações são essenciais para definir as urgências posteriormente.

---

```

1 ! beliefs not precisa(X, parafuso) :- intentions pode(X,
   pendurarQuadro).
2 ! beliefs not precisa(X, chaveDeFenda) :- intentions pode(X,

```

```

    pendurarQuadro).
3 ! beliefs precisa(X, parafuso) :- intentions pode(X,
    pendurarEspelho).
4 ! beliefs precisa(X, chaveDeFenda) :- intentions pode(X,
    pendurarEspelho).
5
6 beliefs :
7   not precisa( alice , parafuso).
8   not precisa( charlie , chaveDeFenda).
9   precisa( bob, parafuso).
10  precisa( bob, chaveDeFenda).

```

---

Código 5.14 – Regras de pontes utilizadas para definir uso de recursos conforme a intenção e novas crenças do agente Charlie

Como foi mostrado na subsecção 4.3.3, os níveis de aspiração das variáveis de objetivos são definidas pelo desenvolvedor do agente negociador. Sendo assim, as regras de pontes iniciais que modelam os níveis de aspiração do parafuso e da chave de fenda são mostradas no código 5.15.

```

1 ! _negotiation urgencia(X, Y, 0) :- beliefs tem(X, Y) & beliefs
    not precisa(X,Y).
2 ! _negotiation urgencia(X, Y, 10) :- intentions pode(X,
    pendurarQuadro) & beliefs precisa(X, Y).

```

---

Código 5.15 – Regras de pontes do agente Charlie usadas para definir o nível de aspiração

É importante ressaltar que as crenças nas linha 7, 9 e 10 em 5.14 são inferidas por meio das regras de ponte mostradas no código 5.14. Já a crença na linha 8 faz parte das crenças iniciais do agente Charlie. Conforme mostrado no código 5.16, é possível definir as intenções que gerarão os conselhos para Alice e Bob.

```

1 _negotiation :
2   urgencia( alice , parafuso, 0).
3   urgencia( charlie , chaveDeFenda, 0).
4   urgencia( bob, parafuso, 10).
5   urgencia( bob, chaveDeFenda, 10).
6
7 ! intentions conceder(X,Y,Z) :- _negotiation urgencia(X,Z,0) &
    _negotiation urgencia(Y,Z,10).

```

---

Código 5.16 – Contexto de negociação do agente Charlie e regras de ponte para adição de intenções

A mensagem que contém o conselho de que o agente Bob deve pedir para que os agentes Charlie e Alice concedam recursos a ele é feita por meio da regra de ponte mostrada no código 5.17.

---

```

1 intentions :
2   concenter(charlie , bob, chaveDeFenda).
3   concenter(alice , bob, parafuso).
4
5 ! communication enviarConselho(informar,Y,concenter,X,Y,Z) :-
   intentions concenter(X,Y,Z).
```

---

Código 5.17 – Contexto de intenções e definição da regra de ponte para enviar um conselho

As regras de ponte mostradas nos códigos 5.15 e 5.16 também são usadas na definição do conselho para a agente Alice. Sendo assim, no código 5.18 apresenta-se as regras de ponte empregadas pelo agente mediador Charlie.

---

```

1
2 ! _negotiation urgencia(X, Y, 0) :- beliefs tem(X, Y) & beliefs
   not precisa(X,Y).
3
4 ! _negotiation urgencia(X, Y, 10) :- intentions pode(X,
   pendurarQuadro) & beliefs precisa(X, Y).
5
6 negotiation :
7   urgencia(alice , prego, 10).
8   urgencia(bob, prego, 0).
9
10 ! intentions concenter(X,Y,Z) :- _negotiation urgencia(X,Z,0) &
   _negotiation urgencia(Y,Z,1).
```

---

Código 5.18 – regras de ponte para definir urgência e concessão de recursos

Desta forma, a mensagem enviada para Alice é para que ela solicite ao agente Bob a concessão do prego.

## 5.2 CENÁRIO 2 - REPAROS DOMÉSTICOS SEM MEDIADOR

Seguindo a abordagem apresentada na seção 5.1 e o crescimento da complexidade dos cenários, nessa seção utiliza-se o cenário apresentado em Parsons, Sierra e Jennings (1998) para explorar diferentes da mudança do nível de urgência das variáveis de objetivos. Esse cenário também envolve agentes disputando recursos para a realização de reparos domésticos. Diferente do cenário anterior, nessa abordagem não é considerada a presença do agente mediador.

O cenário trazido por Parsons, Sierra e Jennings (1998) envolve os agentes Alice e Bob, onde os objetivos de criação da Alice é pendurar um quadro e o de Bob um espelho. Entretanto, Alice e Bob não possuem os recursos necessário para atingirem seus objetivos. Como ambos acreditam que só podem atingir seus objetivos utilizando prego e martelo, nenhum irá ceder um recurso que acredita ser essencial. Diferente do cenário apresentado na seção 5.1, no cenário atual Alice possui mais recursos e conhecimentos que Bob. Porém Alice não tem nenhuma crença que modele a intenção de Bob pendurar o espelho. Sendo assim, é necessário que ambos resolvam esses conflitos para atingirem seus objetivos de criação.

### 5.2.1 Negociação usando estratégia de negociação baseada em argumentação

No código 5.19 apresenta-se as crenças e intenções iniciais da agente Alice. Nota-se que Alice possui mais recursos que Bob e que também tem informações que possam ajudar Bob a atingir seu objetivo de criação. As crenças e intenções de Bob são mostradas no código 5.20.

---

```

1 beliefs :
2   tem(alice, quadro).
3   tem(alice, parafuso).
4   tem(alice, martelo).
5   tem(alice, chaveDeFenda).
6   tem(bob, prego).
7   tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
   pode(X, pendurarQuadro).
8   tem(X, parafuso) & tem(X, chaveDeFenda) & tem(X, espelho)
   :- pode(X, pendurarEspelho).
9
10 intentions :
```

```
11  pode(alice, pendurarQuadro).
```

---

Código 5.19 – Crenças e intenções de Alice

---

```
1  beliefs :
2    tem(bob, espelho).
3    tem(bob, prego).
4    tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
      pode(X, pendurarEspelho).
5
6  intentions :
7    pode(bob, pendurarEspelho).
```

---

Código 5.20 – Crenças e intenções de Bob

Seguindo a abordagem utilizada pelos autores em (PARSONS; SIERRA; JENNINGS, 1998), Alice constrói argumentos para solicitar que Bob conceda os recursos necessários para que seja possível pendurar o quadro. As técnicas de argumentação usadas por Alice são as seguintes:

- Propriedade de recursos: Quando um agente X concede um recurso Z para o agente Y, então Y se torna o proprietário desse recurso.

---

```
1  beliefs :
2    tem(Y,Z) :- tem(X,Z) & conceder(X,Y,Z).
```

---

Código 5.21 – Inferência usada por Alice para modelar a propriedade de um recurso

- Redução: se existe apenas uma maneira de atingir uma intenção, então o agente adota a intenção de atingir as pré-condições (PARSONS; SIERRA; JENNINGS, 1998). No código 5.22 é mostrada a regra de ponte utilizada para modelar a redução.

---

```
1  ! intentions tem(X, prego) :- intentions pode(X,
      pendurarQuadro) & beliefs not tem(X, prego).
```

---

Código 5.22 – Regra de ponte utilizada por Alice para modelar a redução

No código 5.23 são listadas as intenções geradas a partir das técnicas de argumentação apresentadas nos códigos 5.21 e 5.22.

---

```

1 intentions :
2   pode(alice, pendurarQuadro).
3   tem(alice, prego).

```

---

Código 5.23 – Intenções de Alice

Como Alice sabe que Bob possui um prego e com a nova intenção de ter um prego, Alice cria um pedido de concessão do prego para o agente Bob. No código 5.24 é mostrada a regra de ponte usada para a criação de um pedido de concessão de um recurso e as intenções presentes no contexto de intenções.

---

```

1 ! intentions conceder(X,Y,Z) :- intentions tem(Y, Z) & beliefs
   tem(X, Z).
2 intentions :
3   pode(alice, pendurarQuadro).
4   tem(alice, prego).
5   conceder(bob, alice, prego).

```

---

Código 5.24 – Regra de ponte para concessão de recursos e o contexto de intenções de Alice

Levando em consideração o estado mental da agente Alice e as regras de ponte mostradas anteriormente, Alice envia a seguinte mensagem a Bob: **pedidoConcessao(bob, alice, prego)**. É válido ressaltar que é anexada a mensagem os argumentos utilizados por Alice para gerar o pedido. Desta forma os argumentos utilizados na nossa abordagem foram as intenções **pode(alice, pendurarQuadro)** e **tem(alice, prego)**.

Ao receber a proposta feita por Alice, o agente Bob irá negar o pedido, já que ele acredita que para pendurar o espelho é necessário ter o prego. Parsons, Sierra e Jennings (1998) definem que quando um agente  $i$  informa algo para outro agente  $X$ , o agente  $X$  transforma essa informação em crença. O estado mental do agente Bob após o recebimento da proposta de Alice é apresentado no código 5.25.

---

```

1 beliefs :
2   tem(bob, espelho).
3   tem(bob, prego).
4   tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
   pode(X, pendurarEspelho).
5   pedidoConcessao(bob, alice, prego).
6
7 intentions :

```

---

8     pode(bob, pendurarEspelho).

---

Código 5.25 – Crenças e intenções de Bob após a receber a proposta

Para concluir que não será possível ceder o recurso o agente Bob utiliza a redução e a unicidade. A regra de ponte mostrada em 5.26 implementa a redução. No código 5.27 é apresentada a regra de ponte para representar a unicidade. A unicidade é usada para modelar a concessão de um recurso.

---

1 ! **intentions** tem(X, prego) :- **intentions** pode(X,  
pendurarQuadro) & **beliefs not** tem(X, prego).

---

Código 5.26 – Regra de ponte da redução utilizada por Bob

---

1 ! **intentions not** conceder(bob,X,prego) :- **intentions** tem(bob,Y)  
& **beliefs** pedidoConcessao(bob, X, Y).

---

Código 5.27 – Regra de ponte da unicidade utilizada por Bob

As intenções geradas após o uso da redução e da unicidade são mostrados no código 5.28. Seguindo a abordagem definida pelos autores, o agente Bob retorna a mensagem de Alice negando seu pedido de concessão. A mensagem criada no contexto de comunicação após a execução é a seguinte: **not conceder(bob, alice, prego)**.

---

1 **intentions** :  
2     pode(bob, pendurarEspelho).  
3     tem(bob, prego).  
4     tem(bob, martelo).  
5     **not** conceder(bob, alice, prego).

---

Código 5.28 – Intenções do agente Bob

Após receber a mensagem do agente Bob, Alice tenta construir um novo argumento na tentativa de persuadir o agente Bob. No código 5.29 é listado o novo estado mental de Alice após adicionar a resposta de Bob a sua proposta no contexto de crenças.

---

1 **beliefs** :  
2     tem(alice, quadro).  
3     tem(alice, parafuso).  
4     tem(alice, martelo).  
5     tem(alice, chaveDeFenda).

```

6   tem(bob, prego).
7   tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
      pode(X, pendurarQuadro).
8   tem(X, parafuso) & tem(X, chaveDeFenda) & tem(X, espelho)
      :- pode(X, pendurarEspelho).
9   not conceder(bob, alice, prego).
10
11  intentions :
12     pode(alice, pendurarQuadro).
13     tem(alice, prego).
14     conceder(bob, alice, prego).

```

---

#### Código 5.29 – Crenças e intenções da agente Alice

Seguindo a abordagem proposta em Parsons, Sierra e Jennings (1998), nesse momento Alice utiliza a técnica de parcimônia<sup>1</sup>. Essa técnica afirma que quando um agente acredita que não tem a intenção de atingir um objetivo, ele também não irá ter a intenção de atingir suas pré-condições. No código 5.30 é modelado essa característica por meio de duas regras de ponte e o novo estado do contexto de intenções.

---

```

1  ! intentions not tem(X, parafuso) :- intentions not pode(X,
      pendurarEspelho).
2  ! intentions not tem(X, chaveDeFenda) :- intentions not pode(X,
      pendurarEspelho).
3
4  intentions :
5     pode(alice, pendurarQuadro).
6     tem(alice, prego).
7     conceder(bob, alice, prego).
8     not pode(alice, pendurarEspelho).
9     not tem(alice, parafuso).
10    not tem(alice, chaveDeFenda).

```

---

#### Código 5.30 – Regras de ponte para modelar a parcimônia e contexto de intenções do agente

Na próxima etapa da construção do novo argumento a Alice utiliza outra técnica que representa a benevolência na concessão de recursos que não serão usados. Diferente do que foi proposto em Parsons, Sierra e Jennings (1998), nessa implementação decidiu-se por separar em duas regras de pontes e não apenas uma inferência no contexto de crenças. O principal motivo para essa mudança encontra-se na facili-

---

<sup>1</sup>parcimônia: Ato ou costume de economizar, de poupar.

dade do entendimento dos argumentos usados pelo agente. No código 5.31 as regras de ponte que modelam a benevolência são apresentadas. O novo estado mental do agente após a execução das regras de ponte relativas a benevolência é exibido no código 5.32.

- 
- 1 ! **beliefs** pedidoConcessao(Y,X,Z) :- **beliefs not** tem(Y,Z) &  
**intentions not** tem(X,Z).
  - 2 ! **intentions** conceder(X,Y,Z) :- **beliefs** pedidoConcessao(Y,X,Z).
- 

Código 5.31 – Regras de ponte para modelar a benevolência

- 
- 1 **beliefs** :
  - 2     tem(alice, quadro).
  - 3     tem(alice, parafuso).
  - 4     tem(alice, martelo).
  - 5     tem(alice, chaveDeFenda).
  - 6     tem(bob, prego).
  - 7     tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-  
        pode(X, pendurarQuadro).
  - 8     tem(X, parafuso) & tem(X, chaveDeFenda) & tem(X, espelho)  
        :- pode(X, pendurarEspelho).
  - 9     **not** conceder(bob, alice, prego).
  - 10    pedidoConcessao(bob, alice, parafuso).
  - 11    pedidoConcessao(bob, alice, chaveDeFenda).
  - 12
  - 13 **intentions** :
  - 14    pode(alice, pendurarQuadro).
  - 15    **not** pode(alice, pendurarEspelho).
  - 16    **not** tem(alice, parafuso).
  - 17    **not** tem(alice, chaveDeFenda).
  - 18    conceder(alice, bob, parafuso).
  - 19    conceder(alice, bob, chaveDeFenda).
- 

Código 5.32 – Crenças e intenções da agente Alice

Apesar da agente Alice ter as intenções de conceder o parafuso e a chave de fenda para que seja possível pendurar o espelho, o agente Bob não tem nenhuma crença que corrobore com as intenções de concessão de recursos de Alice. Desta forma, uma mensagem contendo os argumentos também são enviadas durante a negociação. Para modelar o argumento e a contraproposta feita por Alice as seguintes regras de ponte exibidas no código 5.33 são empregadas.

- 
- 1 ! **intentions not** tem(X,prego) :- **beliefs** tem(X,prego) & **beliefs**
-

pedidoConcessao(X, alice , parafuso).

2

3 ! **intentions not** tem(X, martelo) :- **beliefs** tem(X,martelo) &  
**beliefs** pedidoConcessao(X, alice , chaveDeFenda).

---

Código 5.33 – Regras de ponte para a troca de crenças entre agentes

A nova intenção de que Bob não precisa do prego será enviada como contraproposta ao agente Bob. Os argumentos usados para a definição da contraproposta também são enviados, conforme mostrado em Parsons, Sierra e Jennings (1998). Sendo assim, a mensagem com o argumento enviado será a seguinte: **pode(bob, pendurarEspelho) :- pedidoConcessao(bob, alice, parafuso) & pedidoConcessao(bob, alice, chaveDeFenda)**.

Ao receber a contraproposta de Alice, o agente Bob adiciona ao contexto de crença que é possível pendurar o espelho com um parafuso e chave de fenda que serão concedidos por meio de concessões feitas por Alice. Parsons, Sierra e Jennings (1998) também definem uma implicação chamada de escolha única. Essa inferência afirma que se existe duas maneiras de atingir uma intenção, então o agente irá escolher apenas uma delas.

Como o agente Bob não irá utilizar a regra de ponte da redução, que o impedia de aceitar ao pedido de concessão do prego feito por Alice, os agentes conseguem chegar a um acordo. Agora que Bob tem mais conhecimentos de como pendurar o espelho, ele irá adicionar as intenções de obter o parafuso e chave de fenda de Alice. Conforme apresentado anteriormente, Alice já possui intenções de ceder os recursos que não irá utilizar. Desta forma, Alice cede o parafuso e chave de fenda e Bob cede o prego.

### 5.2.2 Negociação usando estratégia de negociação baseada em AAT

Assim como foi feito no cenário apresentado na seção 5.1, agora o conflito entre os agentes Alice e Bob é resolvido por meio da estratégia de negociação baseada em AAT mostrada em 4.3.1. Apesar da estratégia de negociação baseada em AAT ter sido usada no cenário 1, alguns aspectos do uso dessa estratégia surgem devido a ausência de um mediador e adição de novas informações.

O estado mental de Alice é o mesmo do que foi exibido no início

desse cenário, porém para facilitar o entendimento e acelerar a resolução da negociação assume-se que algumas regras de pontes já foram executadas. No código 5.34 são apresentadas as regras de pontes usadas definir o nível de urgência dos atributos de negociação: martelo, prego, parafuso e chave de fenda.

---

```

1
2 ! _negotiation urgencia(X, Y, 10) :- desires pode(X,
    pendurarQuadro) & beliefs not tem(X, Y) & beliefs
    pendurarQuadro(X,Y).
3
4 ! _negotiation urgencia(X, Y, 0) :- beliefs tem(X, Y) &
    intentions not tem(X,Y).
5 ! _negotiation urgencia(X, Y, 10) :- beliefs not tem(X, Y) &
    intentions tem(X,Y).
```

---

Código 5.34 – Regras de pontes usadas para definir o nível de aspiração dos atributos

Após a execução das regras de ponte listadas no código 5.34, o contexto de negociação da agente Alice encontra-se conforme exibido no código 5.35.

---

```

1 negotiation:
2   urgencia(alice , parafuso, 0).
3   urgencia(alice , chaveDeFenda, 0).
4   urgencia(alice , prego, 10).
5   urgencia(alice , martelo, 10).
```

---

Código 5.35 – Contexto de negociação da agente Alice

Com o nível de aspiração de cada recurso definido, é possível modelar uma proposta para solicitar o prego e conceder o parafuso e a chave de fenda. As regras de ponte listadas no código 5.36 modelam essas novas intenções da agente Alice.

---

```

1 ! intentions conceder(X, Y, Z) :- _negotiation urgencia(X, Z, 0)
    & beliefs pedidoConcessao(Y,X,Z).
2 ! intentions pedidoConcessao(X, Y, Z) :- _negotiation urgencia(X,
    Z, 1) & beliefs tem(Y, Z).
```

---

Código 5.36 – Regras de ponte para definir novas intenções

Como Alice não possui nenhuma crença que modele um pedido de concessão de recurso feito por algum agente, então a regra de ponte

da linha 1 do código 5.36 não será executada. Entretanto, a regra de ponte da linha 2 será acionada e o pedido de concessão de recurso será feito. As intenções atuais da agente são listadas no código 5.2.2.

---

```

1 intentions :
2   pode(alice, pendurarQuadro).
3   tem(alice, prego).
4   tem(alice, martelo).
5   not tem(alice, parafuso).
6   not tem(alice, chaveDeFenda).
7   pedidoConcessao(alice, bob, prego).
```

---

A nova ação adicionada no contexto de comunicação consiste em realizar o pedido a Bob da concessão do prego: **pedidoConcessao(bob, alice, prego)**. Ao receber a proposta de Alice, o agente Bob possui as crenças e intenções mostradas no código 5.37. Seguindo a abordagem mostrada anteriormente, assume-se que a intenção de ter o prego e o martelo já foram adicionadas por meio das regras de ponte ao contexto de intenção.

---

```

1 beliefs :
2   tem(bob, espelho).
3   tem(bob, prego).
4   pendurarEspelho(bob, prego).
5   pendurarEspelho(bob, martelo).
6   tem(X, prego) & tem(X, martelo) & tem(X, quadro) :-
   pode(X, pendurarEspelho).
7   pedidoConcessao(alice, bob, prego).
8
9 intentions :
10  pode(bob, pendurarEspelho).
11  tem(bob, prego).
12  tem(bob, martelo).
```

---

Código 5.37 – Crenças e intenções de Bob após a receber a proposta

As regras de ponte mostradas no código 5.34 também são usadas por Bob para definir o nível de urgência dos recursos. Esses valores são exibidos no código 5.38.

---

```

1 negotiation :
2   urgencia(bob, prego, 10).
3   urgencia(bob, martelo, 10).
```

---

Código 5.38 – Nível de aspiração ou urgência dos recursos possuídos por Bob

Como o valor da urgência do prego e do martelo são altas, então o agente não deve aceitar a proposta feita por Alice. Sendo assim, a regra de ponte para realizar tal tarefa é apresentada no código 5.39.

---

```

1 ! intentions not conceder(X,Y,Z) :- _negotiation urgencia(X, Z,
    10) & beliefs pedidoConcessao(Y,X,Z).
2 ! intentions conceder(X, Y, Z) :- _negotiation urgencia(X, Z, 0)
    & beliefs pedidoConcessao(Y,X,Z).

```

---

Código 5.39 – Regra de ponte para modelar a tomada de decisão relativa a um pedido de concessão

Como Bob não tem nenhum conhecimento sobre o parafuso e a chave de fenda, é comum não ter nenhum grau de urgência para esses itens. Após a execução da regra de ponte da linha 1 da listagem 5.39, o agente Bob possui a intenção de não aceitar o pedido de concessão feito por bob, conforme mostrado em 5.40.

---

```

1 intentions :
2   pode(bob, pendurarEspelho).
3   tem(bob, prego).
4   tem(bob, martelo).
5   not conceder(bob, alice, prego).

```

---

Código 5.40 – Intenções de Bob após a execução das regras de ponte

Com as intenções modeladas por meio dos níveis de aspiração, o agente pode responder a proposta. As mensagens adicionadas por meio de regras de ponte no contexto de comunicação foram as seguintes: **enviarResposta(bob, alice, not conceder(bob, alice, prego))** e **enviarRazao(bob, alice, pendurarEspelho(bob, prego))**.

Ao receber a mensagem e adicionar a nova crença no contexto de crenças, a agente Alice executa a regra de ponte responsável pela criação da contraproposta. A regra de ponte da linha 1 mostrada no código 5.41 é responsável por obter a resposta do agente Bob e o motivo da decisão tomada por ele. A segunda regra de ponte do código 5.41 obterá o motivo da resposta feita pelo agente.

---

- 
- 1 ! **beliefs** Y :- **communication** resposta(X, alice, Y) &  
**communication** enviarMensagem(alice, X, \_).
  - 2 ! **beliefs** Z :- **communication** razaoResposta(X, alice, Z).
- 

Código 5.41 – Regras de ponte para adição da resposta e motivo

É válido lembrar que vários aspectos de um protocolo de negociação não são levados em consideração nesse cenário, sendo eles a possibilidade de receber mensagem de outro agente ou alguma primitiva de comunicação. Sendo assim, o código 5.2.2 apresenta as novas crenças adicionadas após a execução das regras de ponte.

- 
- 1 **beliefs** :
  - 2     **tem**(alice, quadro).
  - 3     **tem**(alice, parafuso).
  - 4     **tem**(alice, martelo).
  - 5     **tem**(alice, chaveDeFenda).
  - 6     **tem**(bob, prego).
  - 7     **pendurarQuadro**(alice, prego).
  - 8     **pendurarQuadro**(alice, martelo).
  - 9     **pendurarEspelho**(X, parafuso).
  - 10    **pendurarEspelho**(X, chaveDeFenda).
  - 11    **tem**(X, prego) & **tem**(X, martelo) & **tem**(X, quadro) :-  
       **pode**(X, **pendurarQuadro**).
  - 12    **tem**(X, parafuso) & **tem**(X, chaveDeFenda) & **tem**(X, espelho)  
       :- **pode**(X, **pendurarEspelho**).
  - 13    **not** **conceder**(bob, alice, prego).
  - 14    **pendurarEspelho**(bob, prego).
- 

Neste ponto é possível notar uma das limitações do uso de AAT como estratégia de negociação. A abordagem mostrada em 4.3 não possui mecanismos para a troca de informação entre os agentes e nem como essas informações impactam no nível de aspiração. Ao adicionar novas regras de ponte é possível diminuir o impacto dessa limitação. A regra de ponte mostrada no código 5.42 é usada para criar um conselho nos casos em que o agente tenha alguma crença dos recursos necessários para pendurar um espelho. Essa regra de ponte é ativada quando o agente não tem sua proposta aceita.

- 
- 1 ! **negotiation** conselho(X,Y,pendurarEspelho(Y,W)) :- **beliefs**  
    **pendurarEspelho**(Y, Z) & **beliefs not** **conceder**(Y, alice, Z) &  
    **beliefs** **pendurarEspelho**(X,W).

---

Código 5.42 – Regra de ponte responsável pela adição de conselhos no contexto de negociação

No código 5.43 o estado do contexto de negociação após a execução das regras de ponte exibidas no código 5.42 é apresentado. As duas regras de ponte mostradas no código 5.44 dão continuidade a ação que será tomada pela agente Alice. Diferente da iteração passada, a agente Alice tentará persuadir o agente Bob com novas informações de como ele pode atingir o objetivo de pendurar o quadro e conseqüentemente aceitar a proposta de ceder o prego.

---

```

1 negotiation :
2   conselho( alice , bob, pendurarEspelho(bob, parafuso)).
3   conselho( alice , bob, pendurarEspelho(bob, chaveDeFenda)).
4   urgencia( alice , parafuso, 0).
5   urgencia( alice , chaveDeFenda, 0).
6   urgencia( alice , prego, 10).
7   urgencia( alice , martelo, 10).
```

---

Código 5.43 – Contexto de negociação da agente Alice

---

```

1 ! intentions conselho(X,Y,Z) :- negotiation conselho(X,Y,Z) &
   communication enviarProposta(X,Y,W).
2
3 ! communication enviarMensagem(X, Y,
   informarConselho(X,Y,Z)) :- intentions conselho(X,Y,Z).
```

---

Código 5.44 – Regras de ponte responsável pela adição de conselhos no contexto de comunicação

As intenções e ações adicionadas por meio das regras de ponte são exibidas no código 5.45. Desta forma, as mensagens enviadas para Bob são as seguintes:

- `informarConselho(alice,bob, pendurarEspelho(bob, parafuso));`
- `informarConselho(alice,bob, pendurarEspelho(bob, chaveDeFenda)).`

---

```

1 intentions :
2   pode( alice, pendurarQuadro).
3   tem( alice, prego).
4   tem( alice, martelo).
```

```

5   not tem(alice, parafuso).
6   not tem(alice, chaveDeFenda).
7   pedir( alice , bob, prego).
8
9   communication:
10  enviarProposta(conceder(bob, alice, prego)).
11  informarConselho(alice, bob, pendurarEspelho(bob, parafuso)).
12  informarConselho(alice, bob, pendurarEspelho(bob,
           chaveDeFenda)).

```

---

Código 5.45 – Contextos de intenções e comunicação da agente Alice

Ao receber o conselho da agente Alice, o agente Bob utiliza a regra de ponte mostrada no código 5.46. Essa regra de ponte é usada para adicionar o conselho ao contexto de crenças. As crenças do agente Bob são apresentadas no código 5.47.

```

1 ! beliefs Z :- communication enviarMensagem(X, Y,
           informarConselho(X,Y,Z)).

```

---

Código 5.46 – Regras de ponte responsável pela adição de conselhos no contexto de crenças

```

1 beliefs :
2   pendurarEspelho(bob, prego).
3   pendurarEspelho(bob, martelo).
4   tem(bob, prego).
5   tem(alice, parafuso).
6   tem(alice, chaveDeFenda).
7   pendurarEspelho(bob, parafuso).
8   pendurarEspelho(bob, chaveDeFenda).
9   conceder(bob, alice, prego).

```

---

Código 5.47 – Crenças e intenções de Bob após a receber a proposta

Conforme mostrado na seção 4.3, novas informações podem alterar o nível de urgência de um atributo de negociação. Desta forma, as novas crenças que modelam a possibilidade de pendurar o espelho usando a chave de fenda e o parafuso devem ser levadas em consideração. As regras de pontes mostradas na iteração anterior são executadas novamente, alterando o valor do nível de urgência dos recursos. Com o nível de urgência dos recursos definidos, o agente Bob possui

quatro recursos com o nível de urgência máximo. Como o agente Bob não obteve nenhum recurso e a negociação está em uma nova iteração, então para atingir seus objetivos de negociação é necessário a alteração automática dos níveis de aspiração, conforme mostrado na subseção 4.3.4. Os novos valores do nível de urgência são listados no código 5.48.

---

```

1 negotiation :
2   urgencia(bob, prego, 0).
3   urgencia(bob, martelo, 0).
4   urgencia(bob, parafuso, 10).
5   urgencia(bob, chaveDeFenda, 10).
```

---

Código 5.48 – Contexto de negociação do agente Bob

Tomando como base as regras de ponte executadas por Alice para criar o pedido de concessão, em 5.49 é apresentado as regras de ponte executadas por Bob. No código 5.50 são exibidas as novas intenções do agente.

---

```

1 ! intentions pedir(X, Y, Z) :- negotiation urgencia(X, Z, 10) &
   beliefs tem(Y, Z).
```

---

Código 5.49 – Contexto de negociação do agente Bob

---

```

1 intentions :
2   pode(bob, pendurarEspelho).
3   tem(bob, prego).
4   tem(bob, martelo).
5   not conceder(bob, alice, prego).
6   pedir(bob, alice, parafuso).
7   pedir(bob, alice, chaveDeFenda).
```

---

Código 5.50 – Contexto de intenções do agente Bob

Por meio das mesmas regras de ponte executadas por Alice nos códigos 5.36 e 5.41, o agente Bob envia as seguintes mensagens para Alice:

- enviarProposta(bob, alice, conceder(alice, bob, parafuso)).
- enviarProposta(bob, alice, conceder(alice, bob, chaveDeFenda)).

No código 5.51 é mostrado o nível de urgência de cada recurso para Alice. Conforme mostrado nas linhas 2 e 3, tanto o parafuso

quanto a chave de fenda possuem nível de aspiração zero. A agente Alice irá executar a regra de ponte da linha 6, que tem como objetivo aceitar um pedido de concessão de recursos em casos em que o nível de urgência do recurso é zero, conforme apresentado anteriormente no código 5.39.

---

```

1 negotiation :
2   urgencia( alice , parafuso, 0).
3   urgencia( alice , chaveDeFenda, 0).
4   urgencia( alice , prego, 10).
5   urgencia( alice , martelo, 10).
6
7 ! intentions conceder(X, Y, Z) :- negotiation urgencia(X, Z, 0)
   & beliefs pedidoConcessao(Y,X,Z).
```

---

Código 5.51 – Contexto de negociação e regra de ponte de concessão de recursos da agente Alice

Apesar de existir ainda alguns passos para a finalização da negociação, o resto da negociação torna-se trivial já que o agente Bob irá ter seu pedido de concessão atendido pela agente Alice, então o agente Bob conseguirá pendurar o espelho usando o parafuso e a chave de fenda. Como o agente Bob atinge seu objetivo, então ele não irá mais precisar do prego e poderá conceder esse recurso para que a Alice também pendure o quadro.

### 5.3 CENÁRIO 3 - DEFINIÇÃO DOS TERMOS DE CONTRATO

Para explorar o funcionamento do mecanismo de raciocínio do agente define-se um cenário de negociação com tempo de acordo limitado. A definição de uma estratégia ideal nem sempre pode ser elaborada, isso ocorre porque o cenário pode apresentar informações incompletas e os agentes não tem conhecimento dos resultados de suas ações de antemão, o que impossibilita mapear uma relação de custo e benefício (LIN et al., 2008; ROSENFELD; KRAUS, 2012). O cenário utilizado nesse trabalho foi proposto em Rosenfeld e Kraus (2012). A principal razão para utilizá-lo está na representação de situações que ocorrem no mundo real e por se tratar de um cenário onde mais de um atributo é negociado ao mesmo tempo.

O cenário 3 apresenta a negociação de um contrato de trabalho entre o empregador e o empregado. O principal objetivo desse contrato é a formalização dos termos de contratação da vaga de trabalho. Os

termos negociados são:

1. Salário mensal: (a) \$ 7.000, (b) \$ 12.000 ou (c) \$ 20.000.
2. Vaga de emprego: (a) garantia de qualidade, (b) programador, (c) gerente de equipe ou (d) gerente de projeto.
3. Disponibilidade de carro: (a) carro disponibilizado pela empresa, (b) carro não estará disponível ou (c) sem acordo sobre o uso do carro.
4. Benefícios de aposentadoria: as possibilidades de acordos sobre a porcentagem do salário que será depositado no fundo de pensão são: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20% ou (d) sem acordo.
5. Possibilidades de promoção: (a) promoção rápida (2 anos), (b) promoção lenta (4 anos) ou (c) sem acordo.
6. Horas trabalhadas por dia: (a) 8 horas, (b) 9 horas ou (c) 10 horas.

Apesar de apresentar uma quantidade baixa de opções para os termos, a quantidade total de possíveis acordos é de 1.296 ( $3 \times 4 \times 3 \times 4 \times 3 \times 3$ ). Rosenfeld e Kraus (2012) estipulam que cada turno da negociação é equivalente a dois minutos de uma negociação real e o tempo total de negociação é de 28 minutos. Caso o empregador e o empregado não definam um acordo, um contrato com os termos padrões é acordado e ele não poderá ser renegociado durante o primeiro ano.

Levando em consideração o que foi apresentado nas subseções 4.2 e 2.5, o agente proposto nessa pesquisa irá negociar os termos de contrato em nome do candidato a vaga de emprego, Bob. Assim como na vida real, alguns termos podem representar maior importância ou urgência ao candidato.

Inicialmente, assume-se que o agente Bob tem a intenção de negociar o contrato da vaga de emprego. O contexto de crenças modela algumas preferências e informações relativas a Bob, sendo elas: carga horária diária ocupada, experiências profissionais, preferência de salário, sua faixa etária e a distância de sua casa até o trabalho. O agente também representa os desejos de Bob, que consistem em ter 10 horas semanais ocupadas e morar a uma distância do trabalho de no máximo 5 km. As crenças, desejos e intenções do agente são modeladas no código 5.52.

---

```

1 beliefs :
2   horasDiariasOcupadas(2).
3   habilidade(programacao).
4   habilidade(gerenteDeEquipe).
5   faixaEtaria(jovem).
6   cargoExperienciaAnos(programacao, 4).
7   cargoExperienciaAnos(gerenteDeEquipe, 0).
8   distanciaVagaEmprego(3).
9   salario(12000) :- cargaHoraria(8).
10  tem(carro).
11
12 desires :
13   horasDiariasOcupadas(10).
14   distanciaTrabalho(5).
15
16 intentions :
17   negociarContrato.

```

---

#### Código 5.52 – Contexto de crenças e de desejos do agente

Abaixo é descrito como as variáveis de objetivos de negociação podem ser modeladas no contexto de negociação através das regras de ponte. No código 5.53 são apresentadas as crenças e desejos usados nas regras de ponte e que definem os níveis de aspiração. Na linha 9 é mostrada uma regra de ponte que será executada somente quando a inferência do salário for verdade no contexto de crenças do agente, ou seja, a partir do momento que a carga horária do trabalho for definida no contrato, a preferência do salário será verdade.

---

```

1 ! _negotiation urgencia(tem(carro), 1) :- desires
   distanciaTrabalho(5) & beliefs distanciaVagaEmprego(X ≤ 5).
2
3 ! _negotiation urgencia(cargaHoraria(8), 10) :- desires
   horasDiariasOcupadas(10) & beliefs horasDiariasOcupadas(2).
4
5 ! _negotiation urgencia(cargo(X), 10) :- beliefs habilidade(X) &
   beliefs cargoExperienciaAnos(X, Y > 2).
6
7 ! _negotiation urgencia(cargo(X), 9) :- beliefs habilidade(X) &
   beliefs cargoExperienciaAnos(X, Y ≤ 2).
8
9 ! _negotiation urgencia(salario(X), 10) :- beliefs salario(X ≥
   12000) & beliefs cargo(programador).

```

---

Código 5.53 – Regras de ponte para definir níveis de aspiração dos termos de contrato

Conforme apresentado nas seções 4.3, nem sempre um agente possui crenças, desejos e intenções que possam ser usados para definir o nível de urgência de uma variável de objetivo, desta forma o nível de urgência é iniciado com um valor 5, o que representa a falta de informação sobre a importância de um objetivo. Para simplificar o processo de negociação, apenas algumas variáveis de objetivos foram modeladas nesse cenário. Com base nas regras de ponte do código 5.53, o contexto de negociação é mostrado no código 5.54.

---

```

1 _negotiation :
2   urgencia(tem(carro), 1).
3   urgencia(cargaHoraria(8), 10).
4   urgencia(cargo(programador), 10).
5   urgencia(cargo(gerenteDeEquipe), 9).
```

---

Código 5.54 – Contexto de negociação do agente

Conforme listado no código 5.54 é possível evidenciar uma das limitações da estratégia de negociação baseada em AAT proposta nesse trabalho. Ao deixar para o desenvolvedor a responsabilidade de definir valores para a urgência de uma variável de objetivo, é possível que o contexto de negociação contenha dois valores de urgência para uma mesma variável de objetivo.

Como proposto nessa pesquisa, a urgência de uma variável de objetivo é usada para modelar os desejos de negociação do agente. Desta forma, a integração entre o contexto de negociação e de desejos é feita por meio das regras de ponte exibidas no código 5.55. Os desejos adicionados por meio das regras de ponte são mostrados no código 5.56.

---

```

1 ! desires propor(X) :- _negotiation urgencia(X,Y > 5).
2
3 ! desires propor(not X) :- _negotiation urgencia(X,Y ≤ 5).
```

---

Código 5.55 – Regras de ponte para adição de desejos com base nos níveis de urgência

Os desejos de negociação mostrados no código 5.56 são satisfeitos nas pós-condições de um plano. Seguindo a abordagem de planejamento proposta por Casali, Godo e Sierra (2005), cada plano deve tornar

verdade os desejos do agente.

---

```

1 desires :
2   horasDiariasOcupadas(10).
3   distanciaTrabalho(5).
4   propor(not tem(carro)).
5   propor(cargaHoraria(8)).
6   propor(cargo(programador)).
7   propor(cargo(gerenteDeEquipe)).

```

---

#### Código 5.56 – Contexto de desejos

Seguindo o que foi apresentado na seção 4.3.1, para integrar a estratégia de negociação baseada em AAT é necessário criar ações que serão usadas para compor um plano. As regras de ponte mostradas no código 5.57 modelam essa etapa. As ações adicionadas no contexto de planejamento são exibidas no código 5.58.

---

```

1 ! planner [propor(X), not X, propor(X)] :- negotiation
   urgencia(X, Y > 5).
2
3 ! planner [propor(not X), X, propor(not X)] :- negotiation
   urgencia(X, Y ≤ 5).

```

---

#### Código 5.57 – Regras de ponte para criação de ações

---

```

1 planner:
2   action(propor(cargaHoraria(8)), not horasDiariasOcupadas(8),
   cargaHoraria(8)).
3   action(propor(cargo(programador)), not cargo(programador),
   propor(cargo(programador))).
4   action(propor(cargo(gerenteEquipe)), not
   cargo(gerenteEquipe), propor(cargo(gerenteEquipe))).
5   action(propor(not tem(carro)), tem(carro), propor(not
   tem(carro))).

```

---

#### Código 5.58 – Ações adicionadas no contexto de planejamento

Com as ações definidas no contexto de planejamento e os desejos de negociação, um possível plano seria formado pelas ações: **propor carga horária de 8 horas, cargo de programador ou gerente de equipe e não emprestar o carro da empresa**. Tendo definido uma proposta com esses atributos algumas possibilidade de negociação surgem:

- Caso alguma variável de objetivo não tenha sido atingida, então utiliza-se a alteração automática de urgência apresentada na seção 4.3. Por exemplo, essa alteração pode ser feita na variável de objetivo que modela a preferência por cargo. Caso não seja acordado o cargo de programador, a próxima alteração de urgência irá tornar possível sugerir o cargo de gerente de equipe.
- Novas crenças, desejos ou intenções podem ativar regras de ponte não executadas anteriormente. Assumindo que em algum momento a inferência relativa ao salário no contexto de crenças seja satisfeita, então a regra de ponte que define a urgência do salário será executada.

Assumindo que um acordo para o contrato de trabalho não foi estabelecido, então a alteração dos níveis de urgência e a execução de diferentes regras de ponte garantem que diferentes variáveis de objetivos sejam levadas em consideração durante o processo.

#### 5.4 DISCUSSÃO SOBRE OS CENÁRIOS

Nesse capítulo foi apresentado o ciclo de raciocínio do agente durante a negociação em três cenários distintos. Em cada cenário foi explorado uma propriedade diferente da estratégia de negociação e do contexto de negociação. Desta forma, nessa seção apresenta-se uma análise qualitativa dos cenários abordados nas seções 5.1, 5.2 e 5.3.

Através dos cenários propostos por Trescak et al. (2014), Parsons, Sierra e Jennings (1998) e Rosenfeld e Kraus (2012) é possível analisar dois dos principais aspectos do agente negociador proposto nesse trabalho. O primeiro deles é relativo a adição de um contexto de negociação a um agente BDI baseado em SMC. O segundo aspecto encontra-se no uso de uma estratégia de negociação que possui aspectos da Teoria da Adaptação à Aspiração no seu funcionamento.

Conforme mostrado anteriormente, o estudo de caso foca em analisar qualitativamente o agente negociador proposto e comparar com as abordagens presentes na literatura que se assemelham ou foram base para a construção desse trabalho. Uma das razões para essa decisão está no fato de que os cenários apresentados nas seções 5.1 e 5.2 foram propostos com o objetivo de mostrar o funcionamento do agente proposto pelos autores. Já o cenário da seção 5.3 é um problema teórico criado para explorar propriedades de problemas do mundo real. Como nenhum trabalho até o momento apresentou alguma abordagem para

resolvê-lo, a elaboração de métricas quantitativas tornam-se difíceis e distante dos trabalhos explorados nessa pesquisa.

Uma das principais limitações observadas durante o desenvolvimento dos cenários de negociação foram os problemas inerentes à integração entre a teoria e a prática. Isso ocorre devido ao fato de que os agentes negociadores apresentados em Trescak et al. (2014) e Parsons, Sierra e Jennings (1998) são propostas teóricas. Desta forma, algumas adaptações aos modelos desses autores foram necessárias durante a implementação. Estas adaptações realizadas nas intenções de uma pré-condição de um plano, escolhas de planos e inferências lógicas podem gerar um viés durante uma análise quantitativa. Uma análise quantitativa poderia explorar métricas relativas ao tempo para criar e responder uma proposta e duração da negociação, por exemplo. Entretanto, ao adaptar esses modelos teóricos existe o risco de afetar os valores de cada métrica, já que uma implementação poderia afastar-se do que foi originalmente proposto.

Por meio dos cenários implementados no Sigon é possível mostrar que o agente negociador proposto nesse trabalho pode atuar de diferentes maneiras em uma negociação, sendo esse agente um negociador ou mediador em situações conflituosas. Essa mudança de papel em uma negociação pode ser atribuída a adição de um contexto de negociação, o que torna menos complexa a alteração da estratégia de negociação para adequação do agente em diferentes cenários. Uma estratégia de negociação pode ser criada a partir de regras de ponte ou inferências lógicas até a elaboração de algoritmos que usam informações presentes no contexto de negociação e são usadas como mecanismos de apoio a decisão.

Tomando como base o objetivo de analisar os principais modelos de agentes negociadores, ao comparar as propostas dos agentes usados nos cenários da seção 5.1 e 5.2 nota-se a necessidade destes agentes operarem sobre uma mesma implementação. Essa limitação ocorre devido ao uso de um sistema de argumentação, já as trocas mensagens entre os agentes contém argumentos que são formados por inferências lógicas e regras de ponte que usam as crenças, desejos e intenções do agente. Diferente do que foi proposto em Parsons, Sierra e Jennings (1998), Trescak et al. (2014), ao usar uma estratégia de negociação baseada em AAT espera-se que o agente negociador apenas crie ou responda a propostas por meio de mensagens contendo os atributos de negociação e os valores desejados pelo agente. Essa propriedade permite interações entre agentes de diferentes implementações, desde que um protocolo padrão seja estabelecido.

Por meio do cenário 1 é possível analisar a influência das estratégias de negociação durante a resolução de conflitos. Na abordagem proposta em Trescak et al. (2014), nota-se que o agente mediador precisa usar diversas propriedades e técnicas de argumentação para a elaboração de um conselho, sendo elas a propriedade de um recurso, a redução de um plano e a concessão de um recurso, conforme mostrado nos códigos 5.5, 5.6 e 5.9. Já ao utilizar a estratégia de negociação baseada em AAT, os passos para a criação de conselhos é reduzido. Isso ocorre pelo fato de que é apenas necessário duas etapas para a criação do conselho: definir nível de urgência por meio de regras de ponte e criação de conselho com base no nível de urgência dos recursos. Essa redução pode impactar na resolução do conflito, já que o tempo para criar ou responder uma proposta pode tornar-se menor.

No cenário 2 fica evidente uma das limitações da estratégia de negociação baseada em AAT proposta neste trabalho. Ao empregá-la é necessário que o agente tenha o conhecimento sobre todos os recursos e como usá-los. Essa limitação é contornada pelo agente por meio da criação de um conselho modelado através de regras de ponte. Entretanto, em uma abordagem na qual não fosse possível empregar outra técnica, o uso da estratégia de negociação baseada em AAT não iria garantir a resolução do conflito. Já no cenário 3 apresentado na seção 5.3, essa limitação não é notada, onde o agente sabe quais são os atributos que estão sendo negociado e todos os seus possíveis valores. Ao modelar todos os atributos de uma negociação também nota-se uma facilidade do agente utilizar as crenças, desejos e intenções para definir os níveis de urgência e alterá-los com o decorrer da negociação.

Outra característica presente durante a implementação dos cenários 1 e 2 é a sobrecarga de informações anexadas nas trocas de mensagens. Como os agentes negociadores propostos pelos autores necessitam aceitar ou refutar argumentos durante a resolução de conflito, é comum que as mensagens englobem mais do que um *feedback* ou contraproposta, por exemplo. Durante a troca de mensagens os protocolos de comunicação devem levar em consideração a possibilidade de problemas de privacidade (MEGASARI et al., 2015), (LEE, 2003). Ao enviar informações que contenham parte das crenças, desejos e intenções o agente pode liberar questões relevantes da privacidade do usuário representado pelo agente, por exemplo.

Com base no que foi exposto nessa discussão, o Quadro 2 apresenta as principais informações levantadas nesta seção. Nesse quadro são mostradas as estratégias usadas pelos agentes analisados, o foco prático ou teórico de cada abordagem, como a negociação foi integrada

ao agente BDI, a necessidade de utilizar a mesma estratégia e o papel do agente nos diferentes cenários.

Trabalhos	Estratégia	Abordagem	Integração da estratégia	Operação	Papéis na negociação
(PARSONS; SIERRA; JENNINGS, 1998)	argumentação	teórica	contextos e regras de ponte	mesma estratégia	participante
(TRESCAK et al., 2014)	argumentação	teórica	contextos e regras de ponte	mesma estratégia	mediador
<b>Agente negociador proposto</b>	estratégia baseada em AAT	teórica e prática	contexto de negociação e regras de ponte	diferentes estratégias	participante e mediador

Quadro 2 – Principais características analisadas no estudo de caso

Através do estudo de caso realizado nesse capítulo é possível mostrar o poder de expressividade ao empregar um agente negociador baseado em SMC. Em alguns cenários é necessário certa flexibilidade em relação ao papel do agente e as estratégias usadas por ele, hora atuando como um mediador ou como um participante tentando atingir seu objetivo de criação. Apesar desse aumento em expressividade no poder de atuação do agente, a adição de um contexto de negociação acrescenta uma responsabilidade a mais para o desenvolvedor de agentes negociadores, já que é necessário definir regras de ponte extras para implementar uma estratégia de negociação e muitas vezes elas estão atreladas a aspectos do domínio, conforme mostrado com o uso de argumentação e da definição dos níveis de aspiração dos atributos durante a estratégia de negociação baseada na Teoria da Adaptação à Aspiração.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 CONCLUSÕES

O uso de agentes negociadores para auxiliar humanos na resolução de tarefas do dia a dia é um problema desafiador presente nessa área de estudo. Muitas dessas tarefas envolvem conflitos com diferentes tipos de informações e a sua resolução pode demandar muito tempo e recursos computacionais (ROSENFELD; KRAUS, 2011; BAARSLAG et al., 2017). Para abordar esses problemas um agente negociador é proposto neste trabalho. O agente é baseado em sistemas multicontextos e modelado a partir da arquitetura *Belief-Desire-Intention* (BDI) definida por Bratman (1987). Por meio de um sistema multicontexto é possível representar diferentes tipos de informações e também definir o fluxo de troca de conhecimento por meio de regras de ponte.

Através da revisão sistemática da literatura analisou-se os principais modelos de agentes negociadores baseados na arquitetura BDI. O resultado da RSL mostrou como diversos trabalhos integram as estratégias de negociação ao ciclo de raciocínio de agentes BDI. Alguns desses trabalhos usam sistemas multicontexto para realizar tal tarefa. Outros trabalhos focam no uso de estratégias de negociação em cenários onde é possível definir todos os estados de negociação. Entretanto, os agentes modelados como SMC conseguem negociar apenas com agentes que usam argumentação como estratégia de negociação, diminuindo sua expressividade.

Para integrar a estratégia de negociação ao ciclo de raciocínio do agente BDI um contexto de negociação foi adicionado ao SMC. O contexto de negociação é responsável por conter a estratégia e protocolo de negociação usada pelo agente durante a resolução de conflito. Esse contexto permite que as estratégias de negociação sejam alteradas e adaptadas para diferentes cenários, sem que os contextos e regras de ponte já existentes sejam modificados.

Em certos cenários de negociação a quantidade de possibilidades de acordos é representada pelos atributos que estão sendo negociados. Uma estratégia de negociação deve levar em consideração que nem todo acordo é relevante para o agente. Desta forma, neste trabalho foi definido um modelo de estratégia de negociação inspirada na Teoria da Adaptação à Aspiração. Através dessa estratégia é possível estabelecer quais atributos de negociação representam alguma urgência para o agente.

A modelagem teórica do agente negociador e a aplicação teórica da estratégia de negociação em um cenário de leilão permitiu uma análise da influência da Teoria da Adaptação à Aspiração durante a definição de acordos. Essa análise mostrou a necessidade do desenvolvimento de um mecanismo de alteração automática dos níveis de aspiração das variáveis de objetivos, permitindo que o agente explore diferentes possibilidades de acordos durante a negociação.

Uma avaliação do modelo do agente negociador proposto nesta pesquisa foi apresentada neste trabalho. A avaliação consistiu na elaboração de um estudo de caso e avaliação qualitativa. Como estudo de caso foram implementados na ferramenta Sigon três cenários de negociação, onde o principal objetivo é a comparação com os trabalhos mais próximos e que de certa forma impactaram nessa pesquisa. Os dois primeiros cenários foram retirados dos trabalhos de Trescak et al. (2014) e Parsons, Sierra e Jennings (1998). Ambos apresentam agentes negociadores em um cenário envolvendo reparos domésticos, onde agentes negociam recursos por meio de argumentação. O terceiro cenário é retirado da pesquisada de Rosenfeld e Kraus (2012), e tem como principal objetivo explorar propriedades de problemas do mundo real.

Através da avaliação qualitativa mostrou-se que o agente negociador proposto nesta pesquisa pode atuar em cenários de negociação em diferentes papéis, ora como mediador, ora como um agente negociador que pretende maximizar seus ganhos. Essa flexibilidade é atingida devido a adição de um contexto de negociação, na qual novas estratégias de negociação podem ser desenvolvidas sem grande impacto no ciclo de raciocínio do agente. Apesar de adicionar mais responsabilidade ao desenvolvedor do agente negociador, o uso da estratégia de negociação baseada na Teoria da Adaptação à Aspiração pode aumentar o poder de expressividade das preferências e representação de domínio. Essa melhora é atingida através das regras de ponte e da definição dos níveis de aspiração dos atributos de negociação associadas ao contexto de negociação. A avaliação qualitativa também apontou que a estratégia de negociação baseada em AAT pode não servir em cenários nos quais o agente não tem total conhecimento e informação sobre um determinado atributo, tornando necessária a adição de uma estratégia de negociação auxiliar.

## 6.2 TRABALHOS FUTUROS

Muitos pontos não foram abordados nesta pesquisa em relação a estratégia de negociação usada pelo agente. Conforme mostrado durante o trabalho, algumas responsabilidades foram atribuídas ao desenvolvedor do agente, sendo a principal delas a definição dos níveis de urgência por meio das regras de ponte. Um estudo mais aprofundado de como essa etapa poderia ser automatizada é necessário para que o agente possa ser implantando em cenários mais realísticos. Outro ponto a ser analisado é a quantidade de níveis de aspiração de um atributo e como esse valor afeta a negociação entre agentes.

Como o agente negociador foi construído em uma ferramenta que está em desenvolvimento, algumas propriedades e inferências lógicas dos agentes usados no estudo de caso foram implementadas com uma outra abordagem. Essa mudança gera um impedimento de comparações quantitativas com o agente proposto nesse trabalho, já que os valores das métricas podem não representar fielmente os agentes propostos em Parsons, Sierra e Jennings (1998), Trescak et al. (2014).

Essa limitação impede uma extração de métricas sem que surja a possibilidade de algum viés. Desta forma, o amadurecimento da ferramenta Sigon e do agente negociador proposto nessa pesquisa irão criar a necessidade de análises quantitativas.

Por fim, uma característica que pode ser explorada no modelo do agente negociador é a adição e uso de diversos tipos de estratégias de negociação. Um modelo visando a integração de um seletor de estratégias mais robusto pode aprimorar o poder de expressividade do agente.



## REFERÊNCIAS

- BAARSLAG, T. et al. When will negotiation agents be able to represent us? the challenges and opportunities for autonomous negotiators. 2017.
- BORDINI, R. H.; HübNER, J. F.; WOOLDRIDGE, M. **Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak Using Jason (Wiley Series in Agent Technology)**. USA: John Wiley; Sons, Inc., 2007. ISBN 0470029005.
- BRATMAN, M. Intention, plans, and practical reason. 1987.
- BREWKA, G.; EITER, T. Equilibria in heterogeneous nonmonotonic multi-context systems. In: **AAAI**. [S.l.: s.n.], 2007. v. 7, p. 385–390.
- BREWKA, G. et al. Managed multi-context systems. In: **IJCAI Proceedings-International Joint Conference on Artificial Intelligence**. [S.l.: s.n.], 2011. v. 22, n. 1, p. 786.
- BUDGEN, D.; BRERETON, P. Performing systematic literature reviews in software engineering. In: **ACM. Proceedings of the 28th international conference on Software engineering**. [S.l.], 2006. p. 1051–1052.
- CAO, M.; FENG, Y. Reasoning principles for negotiating agent. **Journal of Software**, Citeseer, v. 3, n. 9, p. 12–19, 2008.
- CASALI, A.; GODO, L.; SIERRA, C. Graded BDI models for agent architectures. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 3487 LNAI, p. 126–143, 2005. ISSN 03029743.
- CASALI, A.; GODO, L.; SIERRA, C. A graded BDI agent model to represent and reason about preferences. **Artificial Intelligence**, v. 175, n. 7-8, p. 1468–1478, 2011. ISSN 00043702.
- CASTELFRANCHI, C. Modelling social action for ai agents. **Artificial Intelligence**, Elsevier, v. 103, n. 1-2, p. 157–182, 1998.
- FABREGUES, A.; SIERRA, C. An agent architecture for simultaneous bilateral negotiations. In: **CCIA**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 29–38.

FABREGUES, A.; SIERRA, C. Dipgame: a challenging negotiation testbed. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Elsevier, v. 24, n. 7, p. 1137–1146, 2011.

FABREGUES, A.; SIERRA, C. Hana: a human-aware negotiation architecture. **Decision Support Systems**, Elsevier, v. 60, p. 18–28, 2014.

FARATIN, P.; SIERRA, C.; JENNINGS, N. R. Negotiation decision functions for autonomous agents. **Robotics and Autonomous Systems**, Elsevier, v. 24, n. 3-4, p. 159–182, 1998.

GELAIM, T. Â. et al. Sigon: A multi-context system framework for intelligent agents. **Expert Systems with Applications**, v. 119, p. 51 – 60, 2019. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417418307000>>.

GEORGEFF, M. et al. The belief-desire-intention model of agency. In: SPRINGER. **International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages**. [S.l.], 1998. p. 1–10.

HINDRIKS, K.; TYKHONOV, D. Opponent modelling in automated multi-issue negotiation using bayesian learning. In: INTERNATIONAL FOUNDATION FOR AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS. **Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems-Volume 1**. [S.l.], 2008. p. 331–338.

HOSSAIN, S. M.; SHAKSHUKI, E. A negotiation protocol for meeting scheduling agent. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 21, p. 164–173, 2013.

ITO, T.; KLEIN, M.; HATTORI, H. A multi-issue negotiation protocol among agents with nonlinear utility functions. **Multiagent and Grid Systems**, IOS Press, v. 4, n. 1, p. 67–83, 2008.

JASCANU, N.; JASCANU, V.; NICOLAU, F. A new approach to e-commerce multi-agent systems. "Dunarea de Jos" University of Galati, 2007.

JENNINGS, N. R. et al. Automated negotiation: prospects, methods and challenges. **Group Decision and Negotiation**, Springer, v. 10, n. 2, p. 199–215, 2001.

JONGE, D. d.; ZHANG, D. Automated negotiations for general game playing. In: LARSON, K. et al. (Ed.). **Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems, AAMAS 2017, São Paulo, Brazil, May 8-12, 2017.** [S.l.]: ACM, 2017. p. 371–379.

JONKER, C. M.; ROBU, V.; TREUR, J. An agent architecture for multi-attribute negotiation using incomplete preference information. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, Springer, v. 15, n. 2, p. 221–252, 2007.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.

KRAUS, S. Negotiation and cooperation in multi-agent environments. **Artificial intelligence**, Elsevier, v. 94, n. 1, p. 79–97, 1997.

KRAUS, S. Automated negotiation and decision making in multiagent environments. In: SPRINGER. **ECCAI Advanced Course on Artificial Intelligence.** [S.l.], 2001. p. 150–172.

LEE, H. Your time and my time: A temporal approach to groupware calendar systems. **Inf. Manage.**, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 40, n. 3, p. 159–164, jan. 2003. ISSN 0378-7206. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7206\(01\)00140-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7206(01)00140-9)>.

LIN, R. et al. Negotiating with bounded rational agents in environments with incomplete information using an automated agent. **Artificial Intelligence**, Elsevier, v. 172, n. 6-7, p. 823–851, 2008.

MARSA-MAESTRE, I. et al. Balancing utility and deal probability for auction-based negotiations in highly nonlinear utility spaces. In: **IJCAI.** [S.l.: s.n.], 2009. v. 9, p. 214–219.

MARSA-MAESTRE, I. et al. Effective bidding and deal identification for negotiations in highly nonlinear scenarios. In: INTERNATIONAL FOUNDATION FOR AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS. **Proceedings of The 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 2.** [S.l.], 2009. p. 1057–1064.

MEGASARI, R. et al. Towards host-to-host meeting scheduling negotiation. **International Journal of Advances in Intelligent Informatics**, v. 1, n. 1, p. 23–29, 2015.

ORLOWSKA, E. Kripke semantics for knowledge representation logics. **Studia Logica**, Springer, v. 49, n. 2, p. 255–272, 1990.

PARSONS, S.; SIERRA, C.; JENNINGS, N. Agents that reason and negotiate by arguing. **Journal of Logic and Computation**, v. 8, n. 3, p. 261–292, 1998. ISSN 0955792X.

PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, Taylor & Francis, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.

RADU, S. Multi-issue automated negotiation with different strategies for a car dealer business scenario. In: IEEE. **Control Systems and Computer Science (CSCS), 2015 20th International Conference on**. [S.l.], 2015. p. 351–356.

RAMEZANI, F.; GHASEM-AGHAEI, N.; KAZEMIFARD, M. Modeling of emotional-social negotiator agents. In: IEEE. **Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2011 11th International Conference on**. [S.l.], 2011. p. 42–46.

ROSENFELD, A.; KRAUS, S. Using aspiration adaptation theory to improve learning. In: INTERNATIONAL FOUNDATION FOR AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS. **The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 1**. [S.l.], 2011. p. 423–430.

ROSENFELD, A.; KRAUS, S. Modeling agents based on aspiration adaptation theory. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, Springer, v. 24, n. 2, p. 221–254, 2012.

ROSENFELD, A. et al. Negotchat: a chat-based negotiation agent. In: INTERNATIONAL FOUNDATION FOR AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS. **Proceedings of the 2014 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems**. [S.l.], 2014. p. 525–532.

ROSENFELD, A. et al. Negotchat-a: a chat-based negotiation agent with bounded rationality. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, Springer, v. 30, n. 1, p. 60–81, 2016.

SELTEN, R. Aspiration adaptation theory. **Journal of mathematical psychology**, Elsevier, v. 42, n. 2-3, p. 191–214, 1998.

SIERRA, C.; DEBENHAM, J. The logic negotiation model. In: **ACM. Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems**. [S.l.], 2007. p. 243.

TANG, A. Y.; BASHEER, G. S. A conflict resolution strategy selection method (confrssm) in multi-agent systems. 2017.

TRESCAK, T. et al. Dispute resolution using argumentation-based mediation. **arXiv preprint arXiv:1409.4164**, 2014.

VELMOVITSKY, P. et al. Practical reasoning in an argumentation-based decision bdi agent: A case study for participatory management of protected areas. In: . [S.l.: s.n.], 2017. p. 527–530.

WOOLDRIDGE, M. **An introduction to multiagent systems**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. et al. Intelligent agents: Theory and practice. **Knowledge engineering review**, Cambridge Univ Press, v. 10, n. 2, p. 115–152, 1995.

ZHU, W.; JIANG, Z.-P. Event-based leader-following consensus of multi-agent systems with input time delay. **IEEE Transactions on Automatic Control**, IEEE, v. 60, n. 5, p. 1362–1367, 2015.