

# Metainformações como critérios de decisão entre informações conflitantes em sistemas multiagentes

Victor S. Melo, Alison R. Panisson, Rafael H. Bordini

Faculdade de Informática (FACIN)  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)  
Porto Alegre, RS – Brasil

{victor.melo.001,alison.panisson}@acad.pucrs.br, r.bordini@pucrs.br

**Abstract.** *In this work, we use meta-information to help an agents reasoning when it has conflicting information. One such criteria is trust, a well-known concept used to allow an agent to set a trust value on a belief, according to the trust value of its sources. This way, an agent can have a kind of priority about conflicting information, according to its trust value. Then, we use another criteria, to allow the agent to consider not only the source of a belief, but the information about how recent it is. This way, the trust value of a belief will vary over time, allowing the agent to prior the older or most recent beliefs acquired, according to the needs of the application. Finally, we define some agent profiles in regards to how they aggregate the conflicting sources, and we present an example scenario where the proposed criteria are used by agents.*

**Resumo.** *Neste trabalho são utilizadas metainformações a fim de auxiliar um agente a tomar uma decisão quando este recebe informações conflitantes. Um destes critérios é a confiança, um conhecido conceito usado para que um agente possa determinar um valor de confiança em uma crença, baseado no quanto este confia nas fontes que a informou. Isto permite determinar uma certa prioridade entre crenças que não possam mutuamente existir no ambiente. Após é considerado outro critério, onde utiliza-se a informação do quão recente é a crença a fim de determinar seu valor de confiança. Assim, o valor de confiança em uma crença varia no tempo, permitindo ao agente priorizar crenças mais atuais ou mais antigas, dependendo da necessidade da aplicação. Por fim, são definidos alguns perfis de agentes que tratam de forma diferente estas metainformações, e é apresentado um cenário como exemplo, onde os critérios descritos são usados pelos agentes quando estes recebem informações conflitantes.*

## 1. Introdução

Em sistemas multiagentes, um agente toma decisões baseadas em suas crenças. Tais crenças podem ser associadas com suas fontes a fim de manter a origem da informação, que são por exemplo, outros agentes, percepções do ambiente, entre outras. Porém, dado o dinamismo do ambiente onde agentes normalmente estão situados, no decorrer de sua execução, um agente pode passar a ter informações contraditórias, que por consistência, precisam ser resolvidas. Tais crenças (informações) contraditórias são ditas estar em conflito. Isto ocorre, por exemplo, se o agente receber uma informação a partir de um agente, e após algum tempo, ele percebe a partir do ambiente uma informação que é contraditória

à primeira. Desta forma, quando um agente precisa tomar uma decisão baseado nessas crenças conflitantes, ele precisa decidir esse conflito. Uma forma de fazer isso, a qual é proposta aqui, é utilizando diferentes metainformações que permitem uma decisão baseada no quanto o agente confia nas informações e o quão atuais estas são.

Outro ponto tratado nesse artigo é argumentação em sistemas multiagentes. Argumentação é uma abordagem para tentar resolver conflito entre informações, tanto quando o conflito diz respeito à duas partes (dois agentes) com opiniões contraditórias, como também para resolver conflitos internos (conflitos entre crenças de um agente) por meio de raciocínio baseado em argumentação. Há diversos trabalhos que utilizam argumentação para esses propósitos mencionados em sistemas multiagentes [Panisson et al. 2014b, Wooldridge 2009, Parsons et al. 2012a]. Nesse trabalho em particular, os conceitos utilizados são baseados no trabalho de [Panisson et al. 2014b], que apresenta um mecanismo de raciocínio baseado em argumentação, o qual foi desenvolvido utilizando lógica *defeasible* e é implementado na mesma plataforma de desenvolvimento de sistemas multi-agentes de interesse aqui, ou seja, Jason [Bordini et al. 2007]. Com a abordagem apresentada em [Panisson et al. 2014b], agentes podem raciocinar sobre informações que são incertas por natureza, e lidar com informações contraditórias, caracterizando um raciocínio não monotônico onde novas informações tornam conclusões, até então aceitáveis, inaceitáveis. Porém, como discutido nesse artigo, alguns conflitos permanecem não solucionados em [Panisson et al. 2014b], e podem ser substancialmente melhorados com a consideração das metainformações descritas nesse trabalho, que são comumente disponíveis em plataformas de programação multiagente, como Jason.

Neste trabalho são abordadas duas maneiras de resolver conflitos até então não solucionados em abordagens como [Panisson et al. 2014b]. Para isso são utilizadas diferentes metainformações para auxiliar na resolução destes conflitos. A primeira metainformação é *confiança*, e há diversos trabalhos sobre o tema na literatura [Parsons et al. 2012a, Parsons et al. 2012b, Pereira et al. 2011, Tang et al. 2011]. Nesse trabalho são considerados conceitos e fundamentações de trabalhos consolidados na área de confiança, porém estendidos de maneira que se adequem melhor ao contexto de uma linguagem de programação orientada a agentes, ampliando a possibilidade de cálculo de confiança não só associado à fontes de informação, mas também à informação em si. Como segundo critério, são utilizadas informações temporais sobre o recebimento/percepção das informações. Esta é uma abordagem relativamente nova, porém interessante para sistemas situados em ambientes que mudam constantemente, visto que nestes casos as informações tornam-se ultrapassadas rapidamente.

Para um melhor entendimento do trabalho, é interessante a apresentação de alguns conceitos básicos. Existem muitas linguagens de programação orientadas à agentes, conforme discutido em [Bordini et al. 2009], onde cada uma possui características próprias. Neste trabalho foi escolhido Jason [Bordini et al. 2007]. Jason possui características interessantes para a abordagem aqui apresentada, e outras características podem ser encontradas em [Bordini et al. 2007]. As principais características consideradas são: (i) **Negação forte**: permite ao agente representar crenças que ele acredita serem verdadeiras, falsas ou que o valor verdade é desconhecido. Por exemplo, um agente acreditar que um bloco é azul, representado com `azul(bloco)`, ou que o bloco não é azul,

com  $\neg_{\text{azul}}(\text{bloco})$ <sup>1</sup>. Além disto, Jason permite ao agente manter ambas crenças com anotações diferentes, indicando quem as informou, em que momento foram recebidas, etc. através de anotações em crenças; (ii) **Anotações em crenças**: Jason gera automaticamente anotações para todas as crenças na base de crenças do agente sobre como a crença foi obtida. Anotações de crenças possuem o formato *azul(bloco)[source(john)]*, indicando que a crença foi informada por *john*. O programador pode acrescentar anotações próprias, inserindo metainformações como o tempo em que a crença foi obtida. O agente pode tomar decisões baseadas nestas anotações; e (iii) **Comunicação baseada em atos de fala**: Jason utiliza performativos baseados em atos de fala em sua comunicação. Estes performativos em Jason podem ser estendidos, e seus efeitos sobre o estado mental do agente podem ser customizados (por exemplo, [Panisson et al. 2014a]). Através destas customizações, é possível adicionar as anotações mencionadas acima.

As principais contribuições deste trabalho são: (i) é discutido o uso de metainformações para quando o agente precisar tomar decisões baseadas em crenças conflitantes, a fim de decidir tais conflitos; (ii) as metainformações são apresentadas considerando sua aplicação em plataformas práticas de desenvolvimento de sistemas multiagentes, tornando este trabalho atrativo em termos práticos; e (iii) são introduzidos alguns perfis de agentes que consideram confiança de maneira diferente. Tais perfis são interessantes para alguns domínios, e para outros, perfis diferentes podem ser definidos.

As seções a seguir são divididas da seguinte forma: Na seção 2 é apresentada a abordagem utilizada para definição de confiança entre agentes e fontes; Já na seção 3 é apresentada confiança aplicada em informações, calculada a partir da confiança em suas fontes, além de apresentar dois possíveis perfis de agente para realizar tal cálculo; Na seção 5 é introduzida uma abordagem para consideração de tempo em sistemas multiagentes; Na seção 6 é apresentada uma maneira de utilizar o tempo da informação como fator determinante no cálculo da confiança desta informação; Na seção 7 é mostrado em alto nível como estas metainformações podem ser utilizadas no contexto de argumentação; Na seção 8 são descritos alguns trabalhos relacionados e a diferença da abordagem aqui apresentada em relação a estes; E finalmente, a seção 9 sintetiza os conceitos apresentados neste trabalho e discute o que se busca em trabalhos futuros.

## 2. Confiança em Sistemas Multiagentes

Confiança é um mecanismo para sistemas onde agentes lidam com informações incertas [Parsons et al. 2012a, Parsons et al. 2011, Tang et al. 2011]. Assim, considerando confiança, ao receber crenças conflitantes  $\varphi$  e  $\bar{\varphi}$ , um agente  $Ag_i$  pode decidir crer em  $\varphi$  ou  $\bar{\varphi}$  baseando-se em quanto ele confia nas fontes que informaram  $\varphi$  e  $\bar{\varphi}$ . Há diversas abordagens para confiança na literatura, como [Parsons et al. 2012a, Parsons et al. 2012b, Pinyol and Sabater-Mir 2013, Tang et al. 2011, Castelfranchi et al. 2003], mas aqui as definições são baseadas nos conceitos presentes em [Parsons et al. 2011, Tang et al. 2011].

Confiança será apresentada primeiramente como uma relação entre agentes e então como uma relação entre um agente e suas diversas fontes de informações.

<sup>1</sup>O símbolo ' $\neg$ ' representa negação forte.

## 2.1. Confiança entre Agentes

Seguindo a definição de [Tang et al. 2011], uma *relação de confiança* pode ser definida como  $\tau \subseteq Ags \times Ags$ , onde, por exemplo,  $\tau(Ag_i, Ag_j)$  indica que  $Ag_i$  possui algum valor de confiança em  $Ag_j$ . Esta relação não é simétrica, ou seja,  $\tau(Ag_i, Ag_j) \not\equiv \tau(Ag_j, Ag_i)$ .

Uma *rede de confiança* é um grafo representando as relações de confiança existentes em um conjunto de agentes. Esta pode ser definida como  $\Gamma = \langle Ags, \tau \rangle$ , onde  $Ags$  é o conjunto de nodos, representando os agentes, e  $\tau$  é o conjunto de arestas, representando as relações de confiança entre os agentes. Um exemplo é visto na Figura 1.

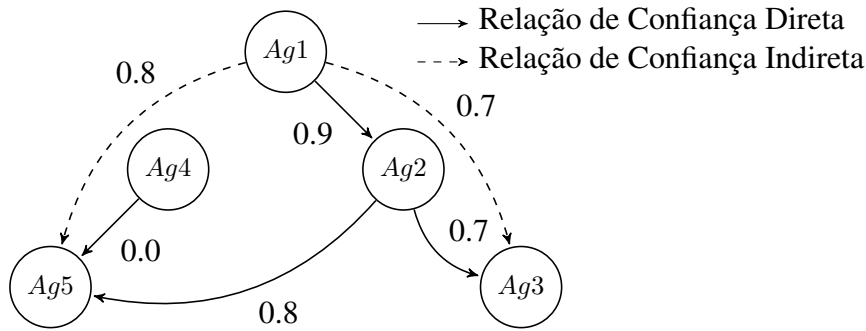


Figura 1. Exemplo de rede de confiança

Seguindo [Parsons et al. 2011, Tang et al. 2011], pode-se definir uma função  $tr : Ags \times Ags \rightarrow \mathbb{R}$ , a qual retorna um valor  $n \in [0, 1]$ , representando o quanto um agente confia em outro. Porém, diferente de [Parsons et al. 2011, Tang et al. 2011], aqui é definida a relação entre  $tr$  e  $\tau$  como:

$$\begin{aligned} tr(Ag_i, Ag_j) \geq 0 &\Leftrightarrow (Ag_i, Ag_j) \in \tau \\ tr(Ag_i, Ag_j) = \perp &\Leftrightarrow (Ag_i, Ag_j) \notin \tau \end{aligned}$$

Esta adaptação permite diferenciar casos em que um agente  $Ag_i$  não possui valor de confiança em outro agente  $Ag_j$ , representado como  $tr(Ag_i, Ag_j) = \perp$ , de casos em que  $Ag_i$  não confia no agente  $Ag_j$ , atribuindo  $tr(Ag_i, Ag_j) = 0$ . Ambos casos podem ser vistos na Figura 1, onde  $tr(Ag4, Ag5) = 0$  e  $tr(Ag1, Ag4) \notin \tau$ .

Seguindo [Tang et al. 2011], confiança pode ser considerada uma relação transitiva. A partir disso, pode-se ter dois tipos de confiança: direta e indireta. Um agente  $Ag_i$  confia diretamente em  $Ag_j$  quando existir  $tr(Ag_i, Ag_j)$ . Um agente  $Ag_i$  confia indiretamente em  $Ag_j$  quando houver um *caminho* na rede de confiança de  $Ag_i$  a  $Ag_j$ , ou seja, quando houver uma sequência de nodos  $\langle Ag_0, Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_{n-1}, Ag_n \rangle$ , para  $n \geq 1$ , tal que exista  $\tau(Ag_0, Ag_1), \tau(Ag_1, Ag_2), \dots, \tau(Ag_{n-1}, Ag_n)$  com  $Ag_0 = Ag_i$  e  $Ag_n = Ag_j$ .

Para que seja possível medir o valor de confiança de um caminho particular entre  $Ag_i$  e  $Ag_j$ , é preciso utilizar um operador que considere todas as confianças diretas presentes neste caminho. Seguindo a ideia proposta em [Parsons et al. 2011], um operador genérico  $\otimes^{tr}$  pode ser definido como  $tr(Ag_i, Ag_j) = tr(Ag_0, Ag_1) \otimes^{tr} \dots \otimes^{tr} tr(Ag_{n-1}, Ag_n)$ . Assim,  $\otimes^{tr}$  irá atribuir o valor de confiança que  $Ag_i$  têm em  $Ag_j$  de acordo com o caminho  $Ag_0, \dots, Ag_n$  de  $Ag_i$  para  $Ag_j$ . Se houver  $m$  caminhos diferentes entre  $Ag_i$  e  $Ag_j$ , ou seja, vários caminhos, começando com um primeiro cami-

nho possível com valor de confiança  $tr(Ag_i, Ag_j)^1$ , até um  $m$ -ésimo caminho de valor  $tr(Ag_i, Ag_j)^m$ , seguindo [Parsons et al. 2011] pode-se definir um operador genérico  $\oplus^{tr}$  como  $tr(Ag_i, Ag_j) = tr(Ag_i, Ag_j)^1 \oplus^{tr} \dots \oplus^{tr} tr(Ag_i, Ag_j)^m$ . Por simplicidade, neste artigo estes operadores genéricos são instanciados da seguinte forma: (i) o operador  $\otimes^{tr}$  é definido como o menor valor de confiança dentro do caminho, ou seja,  $tr(Ag_i, Ag_j) = \min\{tr(Ag_0, Ag_1), \dots, tr(Ag_{n-1}, Ag_n)\}$ , e (ii) o operador  $\oplus^{tr}$  é definido como  $tr(Ag_i, Ag_j) = \max\{tr(Ag_i, Ag_j)^1, \dots, tr(Ag_i, Ag_j)^m\}$ , onde  $m$  é o número de diferentes possíveis caminhos de  $Ag_i$  para  $Ag_j$ .

Em termos práticos, o *framework* de confiança faz o agente explicitamente consciente do quanto outros agentes neste sistema multiagentes são confiáveis, e esta informação é disponível para o agente por meio de predicados como `trust(ag1, 0.8)`, significando que o valor de confiança que este atribui para o agente `ag1` é `0.8`. Assim os valores de confiança podem ser facilmente recuperados para o cálculo de confiança em crenças apresentado na próxima seção.

### 3. Confiança em Crenças

Nesta seção, será introduzida uma forma de calcular confiança aplicando-a à crenças baseada nas fontes destas. Aqui, fontes podem ser outros agentes, percepções do ambiente, artefatos e “notas mentais” (crenças criadas pelo próprio agente). Para valores de confiança de informações recebidas de outros agentes, assume-se que valores de confiança em outros agentes são explicitamente declarados na base de crença dos agentes (mas calculados dinamicamente) baseado na abordagem presente na seção anterior. Enquanto valores de confiança de informações percebidas do ambiente dependerão do domínio da aplicação, onde, por exemplo, múltiplos sensores podem ter diferentes graus de confiança. Para exemplificar as ideias introduzidas nesse artigo, serão utilizados os valores da Tabela 1:

**Tabela 1. Valores de confiança em fontes individuais de informação**

Fonte	Valor de Confiança
ag1	0.3
ag2	0.4
ag3	0.5
ag4	0.8
self	1.0
percept <sub>1</sub>	0.9
percept <sub>2</sub>	0.6

Portanto, a ideia de confiança é expandida para ser uma relação entre um agente e as possíveis fontes de informação. Assim a função  $tr(Ag_i, Ag_j)$  é generalizada para  $tr(Ag_i, s_j)$ , onde  $s_j$  representa uma das fontes de informações para o agente  $Ag_i$ . Desta forma, um agente  $Ag_i$  tem um nível de confiança associado à diferentes tipos de fontes, percepções e notas mentais. Como uma crença  $\varphi$  de um agente  $Ag_i$  pode ser obtida a partir de diferentes fontes, para conhecer quanto o agente  $Ag_i$  confia naquela particular informação  $\varphi$ , basta considerar os valores de  $tr$  associados com cada fonte de  $\varphi$  para o agente  $Ag_i$ . Para isso, é introduzida a função  $trb_i : \varphi \rightarrow \mathbb{R}$ , onde  $trb_i(\varphi)$  retorna o valor de confiança que  $Ag_i$  tem na crença  $\varphi$ , baseado na confiança que  $Ag_i$  tem sobre as fontes

de  $\varphi$ . A operação que calcula  $trb_i(\varphi)$  varia de acordo com o perfil do agente, correspondendo as diferentes atitudes em relação às fontes de informação. Aqui são introduzidos dois perfis de agentes para calcular  $trb$ . Ambos podem ser interessantes em diferentes domínios<sup>2</sup>.

**Definição 1 (Agente crédulo)** *Um agente crédulo considera somente a fonte mais confiável da informação, não se importando com a quantidade de fontes da informação.*

A fórmula usada pelo agente crédulo para considerar a fonte mais confiável é  $trb_i(\varphi) = \max\{tr(Ag_i, s_1), \dots, tr(Ag_i, s_n)\}$ , onde  $\{s_1, \dots, s_n\}$  é o conjunto de fontes que informaram  $\varphi$  para  $Ag_i$ .

**Definição 2 (Agente cético)** *Um agente cético considera a quantidade de fontes da informação e o valor de confiança de cada uma delas, objetivando ter uma forma de priorizar informações com um maior número de fontes diferentes.*

Um agente cético considera a quantidade de fontes de uma informação  $\varphi$ . Portanto, é utilizada uma fórmula que soma o valor de confiança de cada fonte de  $\varphi$  recebida por  $Ag_i$ , permitindo ao agente priorizar informações com maior quantidade de fontes diferentes. A fórmula é definida a seguir:

$$trb_i(\varphi) = \frac{\sum_{s \in S_\varphi^+} tr(Ag_i, s)}{|S_\varphi^+| + |S_\varphi^-|}$$

onde  $S_\varphi^+ = \{s_1, \dots, s_n\}$  é o conjunto de  $n$  diferentes fontes para  $\varphi$  e  $S_\varphi^-$  é o conjunto de fontes para  $\bar{\varphi}$ .

Por exemplo, considerando um agente  $Ag_i$  com os valores de confiança apresentados na Tabela 1, quando  $Ag_i$  recebe uma informação  $\varphi$  de um conjunto de fontes  $S_\varphi^+ = \{Ag1, Ag2, Ag3\}$  e recebe  $\bar{\varphi}$  de  $S_\varphi^- = \{Ag4\}$ , se  $Ag_i$  for crédulo, considerará somente o maior valor de confiança em  $S_\varphi^+$  e  $S_\varphi^-$ , então ele vai assumir  $trb_i(\varphi) = 0.5$  e  $trb_i(\bar{\varphi}) = 0.8$ . Já se  $Ag_i$  for cético, considerará todas as fontes, assumindo  $trb_i(\varphi) = \frac{0.3+0.4+0.5}{4} = 0.3$  e  $trb_i(\bar{\varphi}) = \frac{0.8}{4} = 0.2$ .

Haverá casos onde, para uma informação  $\varphi$  recebida por um agente  $Ag_i$ ,  $trb_i(\varphi)$  será igual a  $trb_i(\bar{\varphi})$ . Para um agente *crédulo*, isto ocorre quanto o valor máximo de confiança  $tr(Ag_i, s_v)$ , para a fonte  $s_v \in S_\varphi^+$  é igual o valor máximo de confiança  $tr(Ag_i, s_w)$  para a fonte  $s_w \in S_\varphi^-$ . Diferentemente, para agentes céticos, isso ocorre quando  $\sum_{s \in S_\varphi^+} tr(Ag_i, s)$  é igual a  $\sum_{s \in S_\varphi^-} tr(Ag_i, s)$ . Para tais casos, pode-se considerar outras metainformações, como o tempo em que a crença foi adquirida, conforme será mostrado nas seções 5 e 6.

#### 4. Expandindo a Avaliação de Confiança

O operador  $\oplus^{tr}$ , visto na seção 2, pode ser redefinido para que um agente  $Ag_i$  cético considere a quantidade  $n$  de caminhos de  $Ag_i$  a  $Ag_j$  para calcular  $tr(Ag_i, Ag_j)$ . Por exemplo, considere que com o operador de máximo  $max$ , é obtido  $tr(Ag_i, Ag_j) = 0.6$ , enquanto  $np(Ag_i, Ag_j) = 1$ , sendo  $np$  uma função que retorna o número de caminhos

<sup>2</sup>Uma breve avaliação do comportamento dos perfis poderá ser encontrada em [Panisson et al. 2016].

para  $Ag_j$ . Assim tem-se que  $tr(Ag_i, Ag_j) = tr(Ag_i, Ag_j)^1$ . Agora considere outro agente  $Ag_k$ , com  $tr(Ag_i, Ag_k) = 0.6$  definido por  $max$  também. Porém  $np(Ag_i, Ag_k) = 4$ . Assim, tem-se que  $tr(Ag_i, Ag_k) = tr(Ag_i, Ag_k)^1 \oplus^{tr} \dots \oplus^{tr} tr(Ag_i, Ag_k)^4$ . Portanto, é possível para  $Ag_i$  considerar  $Ag_k$  mais confiável que  $Ag_j$ , priorizando a maior quantidade de caminhos entre  $Ag_i$  e cada um deles.

Em trabalhos futuros será buscado combinar a plataforma aqui presente com sistemas de confiança existentes, como [Koster et al. 2013]. Assim, serão utilizadas formas realísticas de atualizar os níveis de confiança das fontes das informações enquanto os agentes interagem entre si e com o ambiente, baseando-se no trabalho extensivo já realizado na área de confiança e sistemas multiagentes [Pinyol and Sabater-Mir 2013].

## 5. Tempo da Informação como Critério de Decisão

Conforme descrito na seção anterior, há casos em que a confiança não será suficiente para o agente decidir entre informações conflitantes. Nestes casos, pode-se utilizar outras metainformações, tais como *tempo*. Além disso, podem haver cenários onde utilizar o tempo em que uma informação foi adquirida como critério de decisão é ainda mais importante do que seu valor de confiança.

Inicialmente, é importante definir como um agente pode manter a informação sobre tempo associada às informações em sua base de crenças. Em Jason [Bordini et al. 2007] uma crença pode ser anotada com cada fonte que a informou, bem como pode-se usar esse método de anotação para manter o tempo em que a informação foi adquirida por cada uma dessas fontes.

Em um ambiente dinâmico, a busca da informação mais recente está geralmente relacionada com a busca da informação mais correta. Inclusive, podem existir casos em que um agente  $Ag_j$  informe  $\varphi$  para  $Ag_i$ , e um tempo depois, o mesmo agente  $Ag_j$  informe  $\bar{\varphi}$ . Considerando que a única fonte de  $\varphi$  e  $\bar{\varphi}$  é  $Ag_j$ , usando tempo,  $Ag_i$  pode diretamente decidir por  $\bar{\varphi}$ , como esta é a informação mais recente e  $tr(Ag_i, Ag_j)$  é o mesmo. Assim, percebe-se a existência de uma linha de tempo das crenças obtidas. Considere a estrutura discreta de tempo da Tabela 2, representando os instantes de tempo em que crenças foram adquiridas por um agente  $Ag_i$ : Assim,  $Ag_i$  adquiriu duas crenças, sendo  $\bar{\varphi}$  a última delas.

**Tabela 2. Representação discreta de tempo**

<b>Tempo</b>	tempo 1	tempo 2	tempo 3	tempo 4
<b>Crença</b>	$\varphi$		$\bar{\varphi}$	
<b>Fonte</b>	$Ag_1$		$Ag_2$	

Considerando que o valor de confiança de  $Ag_1$  e  $Ag_2$  é o mesmo, nos tempo 1 e 2,  $Ag_i$  acredita em  $\varphi$ , enquanto nos tempos 3 e 4,  $Ag_i$  acredita em  $\bar{\varphi}$ .

A função que retorna o tempo mais recente em que uma crença  $\varphi$  foi recebida de uma fonte  $s_j$  é definida como  $time(\varphi, s_j)$ . Assim, considerando a Tabela 2, para a crença  $\varphi$  adquirida por  $Ag_i$  a partir de  $Ag_1$ , é usado  $time(\varphi, Ag_1) = 1$ . Como uma informação  $\varphi$  pode ser recebida de múltiplas fontes em tempos diferentes, com Jason, cada fonte que informar  $\varphi$  terá associado a si seu próprio tempo como anotação. Por exemplo,

$azul(caixa)[source(ag1), source(ag2), time(t1), time(t3)]$ . significa que o agente recebeu  $azul(caixa)$  do  $Ag_1$  no tempo  $t1$  e do  $Ag_2$  no tempo  $t3$ .

Considerando a Tabela 2, pode-se definir como *tempo de desatualização* o valor adquirido pela diferença entre o tempo atual e o tempo em que uma informação foi recebida por uma fonte. Esta diferença, para uma informação recebida por um agente  $Ag_i$ , é chamada de  $T_i$ , onde  $T_i(\varphi, s_j)$  é a diferença entre o tempo atual e o tempo em que  $\varphi$  foi informada por  $s_j$ . Considerando uma crença  $\varphi$  informada à  $Ag_i$  por  $s_j$  e uma variável *now* que representa o tempo atual, a fórmula é definida como  $T_i(\varphi, s_j) = now - time(\varphi, s_j)$ .

Vale ressaltar que esta abordagem de tempo é interessante para ambientes dinâmicos. Podem haver ambientes onde uma abordagem contrária deve ser buscada, ou seja, quanto mais antiga a informação, mais consolidada esta é, tornando-a mais confiável. Neste trabalho, porém, tempo é abordado considerando apenas ambientes onde informações mais atuais devem ser priorizadas, e um exemplo pode ser visto na seção 7.

## 6. Confiança e Tempo

Neste trabalho, a confiança associada à informação é o foco, com o tempo sendo usado para atribuir o valor de confiança adequadamente, priorizando pela informação mais recente. Desta forma, em ambientes dinâmicos, quanto mais antiga uma informação é, menos confiável ela deveria ser. Assim, *informação desatualizada* é definida como, considerando uma crença  $\varphi$  recebida por  $Ag_i$  a partir de  $s_j$ , quanto maior for o valor de  $T_i(\varphi, s_j)$ , menor deve ser o valor de confiança de  $\varphi$ . Note que naturalmente o valor de confiança de  $\varphi$  irá diminuir conforme passar o tempo, a menos que algumas fontes continuem informando  $\varphi$  de uma forma que compense esta perda de confiança em  $\varphi$ .

Considerando um agente  $Ag_i$ , pode-se definir uma função  $trs_i(\varphi, s_j)$  que retorna a confiança de  $\varphi$  considerando apenas a informação recebida por  $s_j$  no tempo  $time(\varphi, s_j)$ . Considerando  $S(\varphi) = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  o conjunto de fontes que informaram  $\varphi$ , então  $Ag_i$  pode possuir diferentes valores de *trs* para  $\varphi$  associados com cada fonte. Aqui é definido um operador genérico  $\odot^{trs}$  para relacionar confiança da fonte com o tempo que esta a informou como  $trs_i(\varphi, s_j) = tr_i(Ag_i, s_j) \odot^{trs} T_i(\varphi, s_j)$ . Ainda, considerando o mesmo conjunto de fontes  $S(\varphi)$ , a função *trt* pode também ser definida, possuindo apenas  $\varphi$  como parâmetro. Como Jason anota cada crença com todas as fontes que a informaram, não é necessário passar como parâmetro o conjunto de fontes de  $\varphi$ . É usado um operador genérico  $\ominus^{trt}$  que relaciona todas as *trs* atribuídas à cada fonte como  $trt_i(\varphi) = trs_i(\varphi, s_1) \ominus^{trt} \dots \ominus^{trt} trs_i(\varphi, s_n)$ . Em [Melo et al. 2016b], estes operadores genéricos são instanciados na definição de dois perfis que consideram o tempo, cada um de maneira diferente.

Como apresentado, a confiança em uma crença depende da confiança em suas fontes. Porém, se um agente  $Ag_i$  receber uma crença  $\varphi$ , quando  $Ag_i$  realizar uma ação no ambiente baseando-se em  $\varphi$ ,  $Ag_i$  pode obter um *feedback* do ambiente sobre o resultado da ação. Assim, se este *feedback* for positivo, ou seja, o resultado da ação condiz com o que era esperado baseando-se em  $\varphi$ ,  $Ag_i$  incrementa os valores de confiança das fontes de  $\varphi$ . Caso contrário,  $Ag_i$  decrementa os valores de confiança das fontes de  $\varphi$ . Seguindo tal abordagem, é intuitivo que, se  $Ag_i$  receber  $\varphi$  de uma fonte  $s_j$  em algum momento, quanto mais o tempo passar, mais provável será que  $\varphi$  mude no ambiente. Assim,  $s_j$  pode ter informado  $\varphi$  de maneira correta, mas após determinado tempo, naturalmente o estado de



$\varphi$  variou no ambiente. A partir desta afirmação, uma abordagem interessante seria que, caso  $Ag_i$  acabe por decrementar a confiança das fontes de  $\varphi$ , quanto maior for  $T_i(\varphi, s_j)$ , menor será o decremento da confiança de  $s_j$ .

## 7. Argumentação usando Confiança e Tempo

As diferentes metainformações e critérios descritos nas seções anteriores, utilizados para resolver informações conflitantes podem, naturalmente ser usadas no processo de raciocínio do agente, para tomadas de decisão, etc. Mas, além disso, a abordagem apresentada tem sido utilizada para definir pesos para argumentos utilizados em diálogo e raciocínio baseados em argumentação. Como argumentos são construídos utilizando várias informações, pode-se considerar, não só o valor de confiança de cada uma dessas informações, mas também um valor geral para tais argumentos, considerando todas as informações utilizadas para construí-lo. Algumas contribuições nesse sentido são encontradas em [Melo et al. 2016a, Panisson et al. 2016].

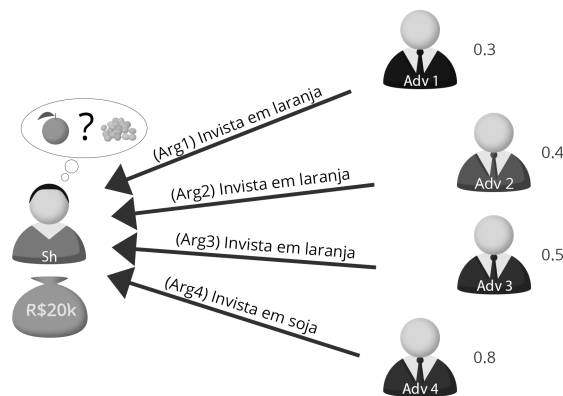


Figura 2. Cenário de Mercado de Ações.

Como cenário de exemplo, considere a Figura 2. Um acionista chamado *Sh* deseja investir no mercado de soja ou laranja, e para isto ele requisita sugestões de quatro corretoras, *Adv1*, *Adv2*, *Adv3* e *Adv4*, com seus respectivos valores de confiança, sobre qual Mercado investir. Os valores de confiança que *Sh* possui nos corretores foram aprendidos com interações passadas. Desta forma, *Sh* pode tomar a decisões baseado na fonte mais confiável. Além disto, como o Mercado de Ações é altamente dinâmico, também é importante armazenar o tempo em que as informações são recebidas, visto que estas tornam-se desatualizadas rapidamente. Na Figura 2, *Adv1*, *Adv2* e *Adv3* recomendam à *Sh* investir no Mercado de laranja, já *Adv4*, no de soja<sup>3</sup>. Com uma função  $tra(arg_i)$  que calcula a confiança de um argumento baseado na confiança de suas premissas, considerando que cada argumento da Figura 2 possui apenas uma crença qualquer  $\varphi$  como premissa, tem-se  $tra(arg_i) = trb(\varphi)$ . Assim, se *Sh* for crédulo, irá optar por soja, já que  $trb(invista\_em\_soja) = 0.8$ ,  $trb(invista\_em\_laranja) = 0.5$  e  $0.8 > 0.5$ . Porém, se *Sh* for cético, irá optar por laranja, já que  $trb(invista\_em\_soja) = 0.2$  e  $trb(invista\_em\_laranja) = 0.3$ .

<sup>3</sup>O exemplo completo poderá ser encontrado em [Panisson et al. 2016].

**Tabela 3. Tempo em que os argumentos foram recebidos**

<b>Tempo</b>	tempo 1	tempo 2	tempo 3	tempo 4
<b>Argumento</b>	arg4	arg2	arg3	arg1
<b>Fonte</b>	Adv4	Adv2	Adv3	Adv1

Também é interessante manter a informação do tempo em que os argumentos foram recebidos. Assim considere a Tabela 3 para os argumentos apresentados na Figura 2, mostrando o momento em que cada argumento foi recebido. Dependendo da importância do tempo para o domínio, um agente, mesmo que crédulo, poderia acabar não decidindo por investir em soja, pois o tempo de desatualização de *arg4* é maior, e esta diferença talvez seja significativa na hora de calcular  $trt(invista\_em\_soja)$  e  $trt(invista\_em\_laranja)$ . Assim, o quanto o tempo afeta no cálculo de  $trt$  é definido pela instanciação do operador  $\odot^{trs}$  descrito na seção 6.

## 8. Trabalhos Relacionados

Em [Tang et al. 2011] é combinado argumentação e confiança, considerando confiança na informação que é usada em inferências de argumentação. Tal trabalho é baseado no trabalho apresentado em [Parsons et al. 2011], o qual propõe um modelo formal para combinar confiança e argumentação, buscando a relação entre ambas. O presente trabalho se diferencia de [Parsons et al. 2011, Tang et al. 2011] em alguns pontos. Aqui é introduzida uma abordagem para computar confiança em crenças de maneira diferente à de ambos, visto que estes assumem que a confiança em uma informação está diretamente disponível. Diferentemente, no presente trabalho é considerado o que o valor de confiança da informação é calculado a partir da confiança nas diferentes fontes desta (o que é normalmente o caso para agentes em Jason), propondo uma maneira de combinar a confiança das fontes em um único valor de confiança para a informação. Aqui também são definidos perfis de agentes, buscando facilitar o desenvolvimento de agentes que requerem diferentes perspectivas *sociais* no cálculo de confiança de uma informação, podendo considerar as múltiplas fontes desta; tal abordagem também não é considerada em [Parsons et al. 2011, Tang et al. 2011]. Outra diferença é que o presente trabalho foi desenvolvido para que os conceitos sejam utilizados um mecanismo de raciocínio baseado em argumentação, integrado com uma conhecida linguagem orientada à agente, o que pode ser considerado um ponto forte deste trabalho.

Em [Parsons et al. 2012a] são identificados dez padrões de argumentação, chamados *schemes*, através dos quais um agente pode adquirir confiança em outro. Através de *questões críticas*, é mostrada uma forma de capturar o quão fraco é um padrão de raciocínio e assim saber se um argumento é bom ou falacioso. A diferença do presente trabalho em relação ao desenvolvido em [Parsons et al. 2012a] é que, no presente trabalho não há interesse em agentes utilizando argumentação para definir a confiança que possuem entre si. O interesse está no uso e combinação de tais valores de confiança entre agentes, previamente calculados, nas informações recebidas por um agente, e principalmente na integração desta abordagem em um mecanismo de raciocínio baseado em argumentação, a fim de resolver conflitos onde tal mecanismo por si só não poderia resolver.

Em [Biga and Calasi 2013] é apresentada uma extensão de Jason, chamada G-

Jason, que permite a criação de agentes mais flexíveis para raciocinar sobre informações incertas, representando graus e classes de crenças usando anotações em Jason. Os autores definem  $\text{degOfCert}(X)$ , onde  $X$  é um valor entre 0 e 1, como um valor associado à certeza de uma crença e  $\text{planRelevance}(\text{LabelDegree})$  como um valor associado à planos, onde o valor  $\text{LabelDegree}$  é baseado em características do plano. A abordagem no presente trabalho se diferencia de [Biga and Calasi 2013] no fato de que aqui é utilizada a noção de confiança em agentes e sensores a fim de inferir um nível de certeza (ou confiança) nas crenças, o que permite o cálculo da certeza de argumentos que utilizam tais crenças como premissas.

Em [Pereira et al. 2011] é apresentada uma abordagem para agentes manterem informações momentaneamente incorretas no ambiente. Isto é interessante pois no futuro tais informações podem se tornar corretas novamente. Assim, em [Pereira et al. 2011], é proposto um *framework* para mudança da mente do agente que não apague completamente informações anteriores. Os autores utilizam teoria da possibilidade para representar incertezas sobre a informação, usando funções de marcação fuzzy que setam um grau de confiança  $n$  para fontes e argumentos, onde  $n \in [0, 1]$ . A abordagem do presente trabalho se diferencia de [Pereira et al. 2011] em alguns aspectos. Primeiro, em [Pereira et al. 2011] são definidos dois perfis de agente: *otimistas* e *pessimistas*. Considere um argumento  $A$  e  $S(A) = \{a_1, \dots, a_n\}$  como o conjunto de fontes de  $A$ . Um agente *otimista* irá setar a confiança de  $A$  de acordo com a fonte  $a_i$  mais confiável em  $S(A)$  e um agente *pessimista* irá setar a confiança de  $A$  de acordo com a fonte menos  $a_j$  menos confiável em  $S(A)$ . A abordagem do presente trabalho considera que a confiança de um argumento será gerada a partir da confiança de suas crenças, e que a confiança de uma crença é definida a partir da confiança de suas fontes. Desta forma, tal abordagem permite que um agente *cético* considere o número de fontes da crença para definir seu valor de confiança, podendo priorizar crenças informadas por um maior número de fontes diferentes. Em [Pereira et al. 2011], é afirmado que se um agente crê em  $\varphi$ , ele não pode crer em  $\neg\varphi$ . Diferentemente, no presente trabalho é permitido que um agente acredite em  $\varphi$  e  $\neg\varphi$  simultaneamente, com diferentes pesos que podem ser usados para decidir tais informações contraditórias. Outra diferença interessante é que no presente trabalho é utilizada uma abordagem de raciocínio baseado em argumentação, o qual é baseado em lógica *defeasible*, enquanto [Pereira et al. 2011] utiliza uma abordagem com lógica fuzzy e teoria da possibilidade.

## 9. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foram apresentadas duas metainformações utilizadas a fim de auxiliar o mecanismo de raciocínio presente em [Panisson et al. 2014b] em casos onde o agente possui crenças conflitantes e o mecanismo por si só não consegue resolver tais conflitos. Foi mostrado como *confiança* em uma crença é gerada a partir da confiança em suas fontes, de acordo com o perfil do agente. Também foi descrita uma abordagem para considerar o tempo da informação, interessante em ambientes dinâmicos. As definições e resultados, brevemente apresentados, sintetizam um trabalho de pesquisa que objetiva a continuação e extensão de trabalhos prévios publicados em [Melo et al. 2016a, Melo et al. 2016b, Panisson et al. 2016].

Em trabalhos futuros, pretende-se calcular o impacto de cada perfil introduzido para diferentes aplicações, mantendo-se a mente aberta para novos perfis. Isto permitirá a

identificação de perfis adequados para cada domínio de aplicação, de acordo com o comportamento desejado para o sistema multiagente em questão. Para tal, será realizada uma implementação modular dessa extensão do mecanismo de raciocínio em Jason, possibilitando um módulo principal de raciocínio baseado em argumentação e diversos módulos para consideração de metainformações, como confiança e tempo. O objetivo é obter um sistema customizável, possibilitando a escolha e combinação de qualquer módulo de raciocínio baseado em argumentação com quaisquer módulos de metainformações, de acordo com o interesse e domínio de aplicação, tornando mais factível a análise proposta.

## Referências

- Bordini, R. H., Dastani, M., Dix, J., and Seghrouchni, A. E. F. (2009). *Multi-Agent Programming: Languages, Tools and Applications*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition.
- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Wooldridge, M. (2007a). *Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason*, volume 8. John Wiley & Sons.
- Castelfranchi, C., Falcone, R., and Pezzulo, G. (2003). Trust in information sources as a source for trust: a fuzzy approach. In *Proc. of AAMAS*, pages 89–96.
- Koster, A., Schorlemmer, W. M., and Sabater-Mir, J. (2013). Opening the black box of trust: reasoning about trust models in a BDI agent. *J. Log. Comput.*, 23(1):25–58.
- Melo, V. S., Panisson, A. R., and Bordini, R. H. (2016a). Argumentation-based reasoning using preferences over sources of information. In *AAMAS*.
- Melo, V. S., Panisson, A. R., and Bordini, R. H. (2016b). Trust on beliefs: Source, time and expertise. In *eighteenth International Workshop on Trust in Agent societies*.
- Panisson, A. R., Melo, V. S., and Bordini, R. H. (2016). Using preferences over sources of information in argumentation-based reasoning. In *5th Brazilian Conference on Intelligent System (BRACIS)*
- Panisson, A. R., Meneguzzi, F., Fagundes, M., Vieira, R., and Bordini, R. H. (2014a). Formal semantics of speech acts for argumentative dialogues. In *AAMAS*, pages 1437–1438.
- Panisson, A. R., Meneguzzi, F., Vieira, R., and Bordini, R. H. (2014). An Approach for Argumentation-based Reasoning Using Defeasible Logic in Multi-Agent Programming Languages. In *ArgMAS*.
- Parsons, S., Atkinson, K., Haigh, K., Levitt, K., Rowe, P. M. J., Singh, M. P., and Sklar, E. (2012a). Argument schemes for reasoning about trust. *Computational Models of Argument (COMMA)*, 245:430.
- Parsons, S., Sklar, E., and McBurney, P. (2012b). Using argumentation to reason with and about trust. In *Argumentation in multi-agent systems*, pages 194–212. Springer.
- Parsons, S., Tang, Y., Sklar, E., McBurney, P., and Cai, K. (2011). Argumentation-based reasoning in agents with varying degrees of trust. In *Proc. of AAMAS*, pages 879–886.
- Pinyol, I. and Sabater-Mir, J. (2013). Computational trust and reputation models for open multi-agent systems: a review. *Artificial Intelligence Review*, 40(1):1–25.
- Tang, Y., Cai, K., McBurney, P., Sklar, E., and Parsons, S. (2011). Using argumentation to reason about trust and belief. *Journal of Logic and Computation*, page 38.
- Biga, A. and Calasi, A. (2013). G-JASON: An Extension of JASON to Engineer Agents Capable to Reason under Uncertainty. *XIX Argentine Congress of Computer Science Selected Papers*, pages 17–28.
- Pereira, C. C., Tettamanzi, A. G. B. and Villate, S. (2011). Changing one’s mind: Erase or rewind? possibilistic belief revision with fuzzy argumentation based on trust. *Proc. of IJCAI*, pages 164–171.
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems* John Wiley & Sons, 2nd edition.