



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE**

JOÃO PEDRO BERNARDINO ANDRADE

**UMA ABORDAGEM COM SISTEMAS MULTIAGENTES PARA CONTROLE
AUTÔNOMO DE CASAS INTELIGENTES**

**QUIXADÁ
2016**

JOÃO PEDRO BERNARDINO ANDRADE

UMA ABORDAGEM COM SISTEMAS MULTIAGENTES PARA CONTROLE
AUTÔNOMO DE CASAS INTELIGENTES

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Software da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software.

Orientador Prof. Dr. Marcos Antonio de Oliveira

QUIXADÁ
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A567a Andrade, João Pedro Bernardino
 Uma abordagem com sistemas multiagentes para controle autônomo de casas inteligentes /
 João Pedro Bernardino Andrade – 2016.
 36 f. : il. color.

 Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de
 Quixadá, Curso de Engenharia de Software, Quixadá, 2016.
 Orientação: Prof. Dr. Marcos Antonio de Oliveira
 Área de concentração: Computação

1. Sistemas multiagentes 2. Automação residencial 3. Internet das coisas I. Título.

CDD 005.1

JOÃO PEDRO BERNARDINO ANDRADE

UMA ABORDAGEM COM SISTEMAS MULTIAGENTES PARA CONTROLE
AUTÔNOMO DE CASAS INTELIGENTES

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Engenharia de Software da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel. Área de concentração: computação

Aprovado em: 07 / 07 / 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Antonio de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. MSc. Enyo José Tavares Gonçalves
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. Marcio Espíndola Freire Maia
Universidade Federal do Ceará-UFC

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e pela capacidade de aprender.

Aos meus pais e irmãos que sempre confiaram e acreditaram no meu potencial, não medindo esforços e sacrifícios para me proporcionar as melhores oportunidades. À minha namorada que acompanhou este trabalho e sempre me incentivou com seus conselhos. E aos meus avós (*in memoriam*), em especial a SRA. SEBASTIANA BERNARDINO, que participou ativamente da minha criação e que incentivou nos primeiros passos da minha educação.

De maneira especial ao meu orientador PROF. MARCOS ANTONIO DE OLIVEIRA, que sempre acreditou nesse trabalho e nas minhas capacidades, sempre incentivando e contribuindo com o seu vasto e notável conhecimento.

Aos meus amigos, que me acompanharam durante toda esta caminhada.

"Só trazia a coragem e a cara...Eu penei, mas aqui cheguei" (Luiz Gonzaga)

RESUMO

Para construir de sistemas para controle autônomo é preciso considerar situações reativas, onde o sistema reage a alterações no ambiente e, principalmente, situações de mudanças, onde o sistema precisa adaptar as suas reações a novos comportamentos observados no ambiente. Este trabalho tem como objetivo implementar um sistema para controle de casas inteligentes utilizando o paradigma de Sistemas Multiagentes, de maneira que o sistema possa se adaptar e/ou reagir às mudanças no ambiente de uma residência gerenciada por ele. Para tanto foram utilizadas ferramentas para o desenvolvimento de Sistemas Multiagentes, e cenários que descrevem situações que podem ocorrer em uma residência qualquer para teste, simulação e validação da solução proposta.

Palavras-chave: Sistemas Multiagentes, Automação Residencial, Internet das Coisas.

ABSTRACT

To build systems for autonomous control is necessary to consider reactive situations where the system reacts to changes in the environment and, especially, change situations, where the system needs to adapt their reactions to new behaviors observed in the environment. This work aims to implement a system to control smart homes using the paradigm of multiagent systems, so that the system can adapt and / or react to changes in the environment of a residence managed by it. Therefore, we used tools for the development of Multi-Agent Systems, and scenarios that describe situations that may occur in a residence for any test, simulation and validation of the proposed solution.

Keywords: MultiAgent Systems, Smart-Homes, Internet of Things

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Arquitetura do Sistema Proposto.....	12
Figura 2 - Visão Esquemática de um Agente	15
Figura 3 - Divisão de Tarefas	16
Figura 4 - Visão geral de um sistema multiagente JaCaMo	19
Figura 5 - Modelo Genérico da Arquitetura BDI	20
Figura 6 - The Gator Tech Smart, composição interior.....	21
Figura 7 - Modelo Conceitual.....	22
Figura 8 - Arquitetura do Sistema Multiagente	27
Figura 9 - Cenário Reativo	29
Figura 10 - Atualização de Planos em Tempo de Execução	30
Figura 11 - Adaptação para Deficiente.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características que motivaram a escolha.....	25
Quadro 2 - Preferências dos Habitantes.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 TRABALHOS RELACIONADOS	11
2.1 A Smart Home Model Using JaCaMo Framework	11
2.2 An Agent-based Approach for Adapting the Behavior of Smart Home Environment	12
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1 Internet das Coisas	13
3.2 Organização de Agentes	14
3.2.1 <i>Definição de Agentes</i>	14
3.2.2 <i>Organização em Sistemas Multiagentes</i>	15
3.3 Plataformas para Desenvolvimento de Sistemas Multiagentes	17
3.3.1 <i>EIDE</i>	17
3.3.2 <i>JaCaMo</i>	18
3.4 Smart Home	20
3.4.1 <i>The Gator Tech Smart House</i>	21
3.4.2 <i>Modelo Conceitual</i>	22
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
4.1 Análise de Plataformas	23
4.2 Definição e Especificação do Cenário	23
4.3 Implementação.....	24
5 EXECUÇÃO	24
5.1 Análise de Plataformas e Seleção da Plataforma para o Desenvolvimento.....	24
5.2 Definição e Especificação do Cenário	25
5.3 Implementação.....	27
5.3.1 <i>Arquitetura</i>	27
5.3.2 <i>Construção</i>	27
5.4 Resultados.....	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as casas inteligentes foram muitas vezes conceituadas como um sonho criativo para comunidades do futuro (BREGMAN & KORMAN, 2009). Porém, com o avanço das tecnologias pode-se notar que o assunto já não é tratado dessa forma, e atualmente pode-se verificar uma disseminação do conceito e a existência de algumas implementações. De acordo com Ghaffarianhoseini (2013), os projetos de casas inteligentes implementados podem ter diferentes objetivos, tais como: econômicos, ecológicos, otimização para pessoas idosas e com deficiência.

Este projeto aqui descrito, teve como objetivo desenvolver um sistema de controle autônomo utilizando o paradigma de Sistemas Multiagentes e explorando principalmente os conceitos de capacidade de reação e adaptabilidade, de modo que o sistema funcione de maneira autônoma e garanta que seus habitantes sempre tenham suas preferências atendidas pelo sistema. Para isso foi selecionada uma plataforma de desenvolvimento de Sistemas Multiagentes, elaborado um cenário com situações a serem atendidas pelo sistema, em seguida foi desenvolvido sua arquitetura, que foi implementada e testada em um ambiente simulado.

Este texto se divide em introdução, trabalhos relacionados, fundamentação teórica, procedimentos metodológicos, execução, considerações finais e referências.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

2.1 A Smart Home Model Using JaCaMo Framework

Em Martins e Meneguzzi (2014), é descrita a construção de um modelo de casa inteligente capaz de manipular componentes da mesma baseado no sistema elétrico de potência, com o objetivo de diminuir e otimizar a utilização da energia elétrica. Foi utilizado neste trabalho o framework JaCaMo para a construção do modelo especificado com a finalidade de comparar o consumo de energia elétrica.

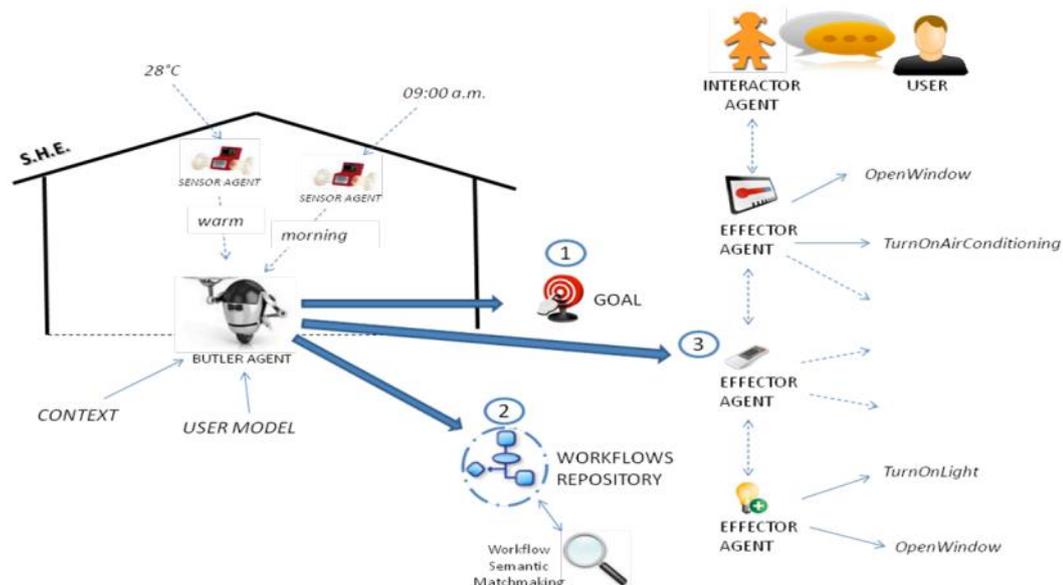
O trabalho em questão atinge seus objetivos de criar um sistema para evitar picos de demanda de energia elétrica, e gerenciar o consumo da mesma, contribuindo de forma muito positiva para este trabalho, que possui uma relação estreita de semelhança, não só porque se trata de casas inteligentes, mas também por trabalhar com Sistema Multiagente. É utilizado um framework para construção de agentes inteligentes, artefatos manipuláveis e organizações de agentes, sendo ainda testado em ambiente de simulação. A diferença entre o trabalho aqui citado e o trabalho aqui descrito fica por conta da problemática, pois o sistema

aqui citado trata de gerenciamento de recursos energéticos, tratando os artefatos em dois estados ligado/desligado, já o trabalho aqui descrito manipula os artefatos com o objetivo de oferecer uma maior adaptabilidade da casa de acordo com as preferências dos seus moradores, onde os artefatos apresentam uma maior diversidade de estados dependendo de sua natureza.

2.2 An Agent-based Approach for Adapting the Behavior of Smart Home Environment

Em Cavone et al. (2011), temos uma proposta baseada em agentes para controle autônomo de uma residência, onde baseado na detecção de situações e nos objetivos de usuário, são selecionados adequadamente, conjuntos de ações a serem aplicados no ambiente. A proposta aborda como cenário um único usuário idoso, onde o sistema otimiza algumas de suas tarefas e se adapta a possíveis mudanças de comportamento do usuário, alterando assim suas ações para atender as necessidades do usuário. A arquitetura da proposta é ilustrada na figura 1.

Figura 1 - Arquitetura do Sistema Proposto.



Fonte: Cavone et al (2011).

Como observado na Figura 1, o autor descreve a coordenação da seguinte maneira: De acordo com situações previstas pelos sensores dos agentes ou em resposta ao usuário, o agente mordomo detecta quais são os objetivos e necessidades dos usuários. Em seguida o mordomo determina um fluxo de trabalho, onde todas as ações são executadas pelos agentes atuadores. Por fim existe um agente de interação que coleta do usuário possíveis mudanças a serem implementadas no comportamento do sistema.

No modelo proposto neste trabalho aqui citado, apesar de ter como objetivo a otimização do cotidiano, os artefatos, ou objetos do ambiente não são explorados em sua total capacidade de configuração, onde por exemplo ele cita a TV com dois possíveis estados, ligado e desligado, diferentemente dos artefatos manipulados no trabalho aqui descrito, onde existe uma maior possibilidade de configuração de artefatos, dependendo de sua natureza. Outro ponto é a possibilidade de trabalhar com novos artefatos incluídos em tempo de execução, que não é mencionada no trabalho citado e que foi trabalhada no trabalho aqui descrito.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresentará os principais conceitos relacionados ao trabalho aqui descrito. Na seção 3.1 é apresentado o conceito de Internet das Coisas e sua relação com este trabalho. Na seção 3.2 é apresentado o conceito de Organização em Agentes, onde na seção 3.2.1 é definido o conceito de Agente e algumas de suas características que são relevantes para atingir os objetivos desse trabalho, na seção 3.2.2 é descrito o conceito de Organização em Sistemas Multiagentes. Por fim na seção 3.3 é demonstrado o conceito de Smart Home, onde também é demonstrado uma implementação de um modelo deste conceito na seção 3.3.1 e um modelo conceitual na 3.3.2, onde ambos os modelos influenciaram este trabalho.

3.1 Internet das Coisas

De acordo com Kopetz (2011), a diminuição dos custos e o aumento do acesso aos dispositivos eletrônicos tornou possível a expansão da internet para uma nova dimensão, aos objetos inteligentes, que fornecem inteligência e conectividade ao cyber-espaço em que está inserido. Estes objetos inteligentes fazem a ponte entre o mundo das informações, ou virtual, e o mundo real. Um objeto inteligente é, portanto, sistema cyber-físico, ou embarcado, sendo composto de uma entidade física do mundo real e um componente computacional que recebe dados do mundo através de sensores, e são conectados, sem fio, a internet.

Diante deste cenário, temos a possibilidade da comunicação e a partir daí enviar comandos a serem seguidos em lugares com objetos inteligentes, caracterizando assim o controle efetuado por um sistema autônomo. Por fim uma simulação de objetos inteligentes é de fundamental importância para o projeto aqui descrito, de forma a verificar seu funcionamento correto e efetivo.

Vale salientar que a adaptação a situações não previstas em tempo de design pode ser necessária neste tipo de sistema. Sendo um dos objetivos deste trabalho explorar essas situações nos cenários propostos para validação do mesmo, demonstrados na seção 5.2.

3.2 Organização de Agentes

Antes de abordar organização em sistemas multiagentes, é necessário revisar o conceito de agente e sistema multiagente.

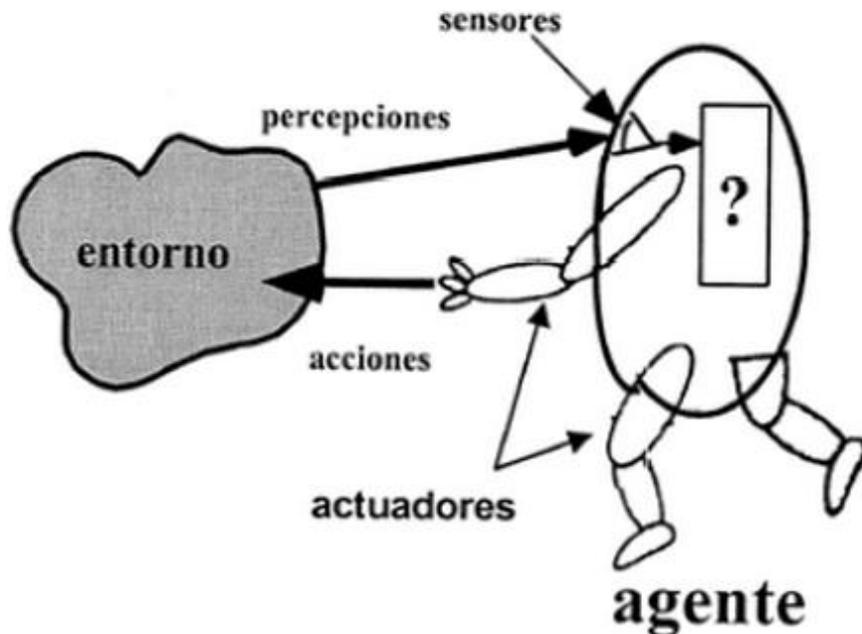
3.2.1 Definição de Agentes

Temos algumas definições para Agente, dentre elas é válido citar as seguintes: Segundo o dicionário Luft (1996), agente é uma entidade que pode auxiliar ou substituir um usuário, podendo assim representar uma pessoa, um agente pode executar determinadas tarefas para atingir objetivos. Já segundo Silva (2003), agentes são entidades autônomas de software que atuam sobre um ambiente para interação tanto com o ambiente como também com outros agentes. Os agentes são capazes de funcionar continuamente, adquirindo experiência e conhecimentos à cerca do ambiente em que está integrado. Na figura 2 temos uma visão esquemática do funcionamento de um agente.

Em Woodridge (1995), são definidos os seguintes comportamentos pertencentes aos agentes:

- **Autonomia** - Controle total sobre si e sobre suas ações, não sofrendo intervenção de outros agentes.
- **Capacidade de Reação** - Mantém uma interação contínua com o ambiente em que está inserido, podendo reagir às modificações do ambiente.
- **Capacidade Proativa** - Toma decisões em relação a alterações do ambiente, que por sua vez é monitorado.
- **Habilidade Social** - Quando existe tarefas muito complexas, é possível que haja cooperação entre agentes, sendo assim necessário a habilidade de comunicação, onde a partir daí surgiram os sistemas multiagentes.

Figura 2 - Visão Esquemática de um Agente



Fonte: Flores Quisbert (2008).

Os conceitos de Autonomia e Capacidade de Reação, podem ser considerados os mais importantes para o contexto de casas inteligentes, apesar dos outros conceitos terem sua fundamental importância. Esses dois conceitos garantem que o sistema não precise ser manipulado por terceiros, e que suas ações sejam baseadas em mudanças no ambiente delimitado por uma casa inteligente.

3.2.2 Organização em Sistemas Multiagentes

Sistemas multiagentes são sistemas compostos por vários agentes, que exibem um comportamento autônomo, mas ao mesmo tempo interagem entre si no âmbito do sistema (REIS, 2003, p. 50). Segundo Zambonelli, et. al. (2000), os sistemas multiagentes são divididos em duas classes:

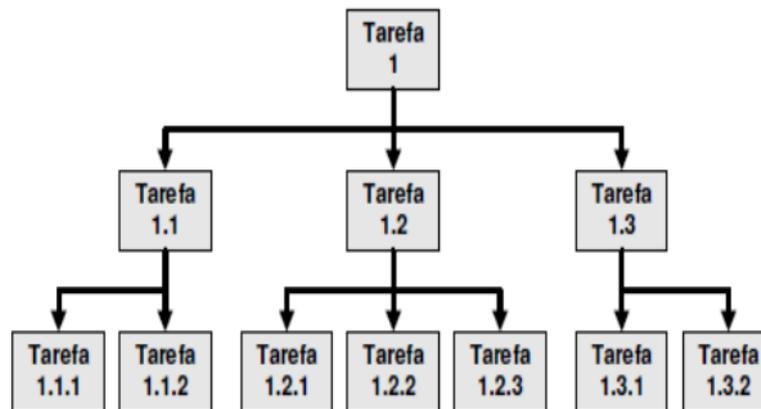
- **Sistemas de Resolução Distribuída de Problemas** - Os agentes cooperam entre si para atingir um objetivo comum, todos os agentes se conhecem e confiam uns nos outros.
- **Sistemas Abertos:** Não existe um objetivo comum para os agentes, e sim para o sistema, podendo assim qualquer agente entrar e sair do sistema. Essa liberdade dos agentes pode acarretar em prejuízos ao sistema, com a aquisição de agentes com objetivos diferentes aos do sistema.

Os agentes de um sistema podem ser coordenados para atingir um objetivo comum a todos os integrantes, dividindo assim o problema em problemas menores, para que cada agente possa trabalhar com objetivos específicos e com menos complexidade.

A resolução distribuída e cooperativa de problemas estuda o modo como um conjunto de entidades computacionais, ligadas em rede, pode trabalhar em conjunto de maneira a resolver problemas que são demasiadamente complexos para resolver com as suas capacidades individuais (REIS, 2003, P. 126).

Na figura 3, podemos ver um exemplo de divisão de tarefas.

Figura 3 - Divisão de Tarefas



Fonte: Reis (2003).

Cada agente, portanto, tem a capacidade de resolver a tarefa que lhe é competida, onde no fim as resoluções das subtarefas podem ser unificadas para uma resolução de toda a tarefa.

Nesse contexto, Lamaître (2003), propõe dois pontos de vistas no que diz respeito a organização de um grupo de agentes ou de um sistema multiagente: centrada nos agentes e centrada na organização. Na primeira visão, a organização são os próprios agentes que a compõe, já na segunda visão a organização pode ser entendida com uma entidade autônoma, que gerencia os agentes.

O trabalho aqui descrito buscou a construção de um sistema multiagente para resolução distribuída de problemas. Onde o objetivo do sistema é buscar uma melhor qualidade de vida para os habitantes de uma casa inteligente. Essa tarefa principal se divide entre os agentes, que são responsáveis por manipular os componentes da casa.

3.3 Plataformas para Desenvolvimento de Sistemas Multiagentes

Nesta subseção são descritas duas plataformas que foram consideradas viáveis para o desenvolvimento deste trabalho, onde na seção 3.3.1 é demonstrada uma plataforma para desenvolvimento de instituições eletrônicas, denominada EIDE e na seção 3.3.2 uma ferramenta de desenvolvimento de sistema multiagente que utiliza conceitos como programação orientada a agentes, ambiente e organização, denominada JaCaMo.

3.3.1 EIDE

Segundo Sabater-Mir et al (2007), a interação de indivíduos entre si com o propósito de alcançar objetivos é regulamentada pelas chamadas instituições, que verificam se normas e protocolos estão sendo respeitados durante as interações. Da mesma forma as instituições eletrônicas regulam as interações entre agentes.

Em Arcos et al. (2006), são definidos os elementos básicos que compõem as instituições eletrônicas:

- **Agentes e Papéis:** são os participantes que atuam em uma instituição de acordo com suas responsabilidades definidas pelo seu papel. Em uma casa inteligente podemos ter, por exemplo, agentes “supervisores” de sensores térmicos, que se responsabilizariam somente pela temperatura da casa.
- **Framework de Diálogo:** é responsável pelas interações e diálogos entre agentes, que podem ser através de mensagens utilizando uma linguagem comum com uma ontologia definida.
- **Cenas:** todas as interações entre agentes ocorrem nas cenas, ou reuniões.
- **Estrutura performativa:** reunião de todas as cenas, compondo assim uma rede de interações.
- **Regras Normativas:** é definido as consequências das ações e o contexto.

Ainda em Arcos (2006), é apresentado um ambiente de desenvolvimento baseado em instituições eletrônicas, denominado EIDE. As ferramentas que compõem o ambiente são:

- **ISLANDER:** Ferramenta gráfica que suporta especificação e verificação estática das regras da instituição.
- **SIMDEI:** Ferramenta que simula, anima e analisa as especificações via ISLANDER, correspondendo a uma verificação dinâmica das especificações geradas.
- **aBUILDER:** Uma ferramenta de desenvolvimento de agentes que, a partir das especificações geradas no ISLANDER, constrói uma estrutura de agentes, Esta estrutura pode ser utilizada nas simulações do SIMDEI, assim como executada pela AMELI.

- AMELI: Middleware que executa as especificações geradas no ISLANDER.
- Ferramenta de Monitoramento: Permite monitorar as Instituições Eletrônicas em execução no AMELI, descrevendo graficamente, todos os eventos ocorridos durante a execução.

A ferramenta só permite trabalhar com agentes gerados nas especificações, obrigando os agentes externos a se comportarem de acordo com as regras da instituição, e desempenharem apenas as ações previstas em tempo de design.

3.3.2 *JaCaMo*

De acordo com Shoham (1993), programação orientada a agentes é um paradigma que combina noções mentais, como crenças, com a programação individual de agentes autônomos e uma visão social de computação. Este paradigma tem como objetivo construir sistemas autônomos, com o desenvolvimento de agentes que se adaptem da melhor maneira possível ao contexto em que estão inseridos, como por exemplo reagir com ações diferentes às mudanças no ambiente.

Segundo Bossier et al (2013), JaCaMo é uma plataforma de desenvolvimento que une os conceitos de programação orientada a agentes, programação orientada a organização (Boussier et al, 2007), programação orientada a interação (Huhns, 2001), e programação orientada ao ambiente (Ricci, 2011). Na figura 6, temos uma visão geral sobre um sistema multiagente desenvolvido em JaCaMo, dividido em três dimensões, evidenciando assim sua relação com os paradigmas anteriormente citados.

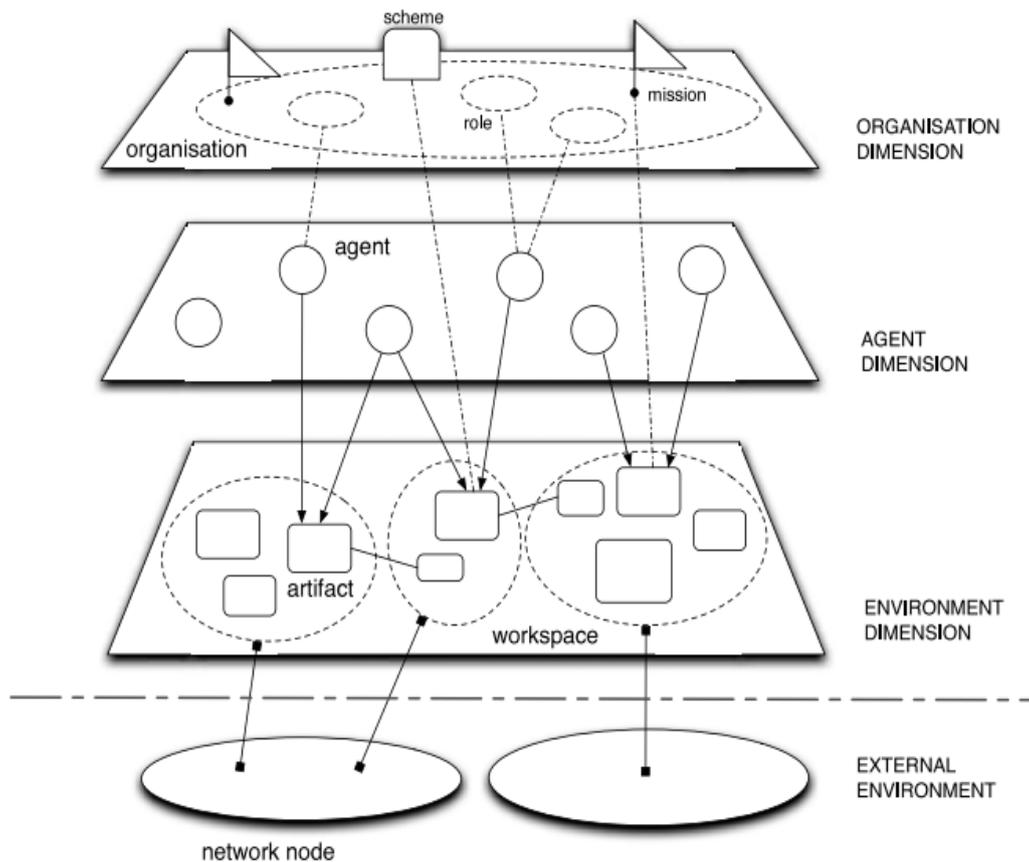
Como vemos ainda na figura 4, o ambiente externo interage somente com a dimensão de ambiente, que contém os artefatos. Os agentes desenvolvidos na dimensão dos agentes respeitam e tem conhecimento sobre as regras, missões e a própria organização definida na dimensão organizacional, e os artefatos e grupos de artefatos são manipulados pelos agentes. Todas as comunicações entre dimensões são efetuadas utilizando um protocolo de interação previamente definido.

Ainda de acordo com Boissier et al (2013), a plataforma JaCaMo é formada pelas seguintes ferramentas:

- Jason: é uma linguagem de programação para desenvolvimento de sistemas multiagentes que utiliza a linguagem Agent-Speak, inspirada na arquitetura BDI (Bordini et al. 2007).

- CArtaGo: é um framework e infraestrutura para a programação de ambientes (RICCI, 2011). Com isso pode-se projetar e programar conjuntos de artefatos dinâmicos sendo abstraídas de um ambiente real.
- Moise: framework que implementa um modelo de desenvolvimento para a dimensão organizacional, contendo uma linguagem de modelagem organizacional, uma infraestrutura de gerenciamento organizacional e apoio a mecanismos de raciocínio baseado na organização no nível de agentes.

Figura 4 - Visão geral de um sistema multiagente JaCaMo

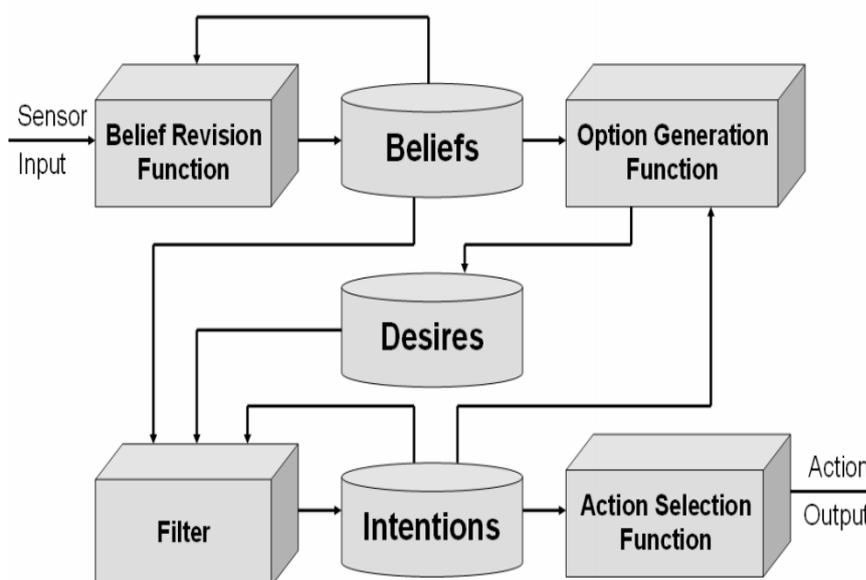


Fonte: Boissier et al. (2013).

Através do Jason, e consequentemente da linguagem AgentSpeak, no JaCaMo temos os agentes construídos seguindo a arquitetura Beliefs-Desires-Intentions, BDI, que segundo Hubner et al. (2004) é o modelo de cognição que é tido como base pelas mais importantes arquiteturas de agentes deliberativos e pode ser observado na figura 5.

Onde, por exemplo, as crenças dos agentes são modificadas a cada nova informação recebida por sensores e, a partir das suas metas e respeitando as regras de sua organização, são selecionados planos de ação para atingir os objetivos do agente.

Figura 5 - Modelo Genérico da Arquitetura BDI



Fonte: Woodridge (1999).

3.4 Smart Home

Existem algumas definições sobre o conceito de Smart-Home e em seguida serão citados algumas delas. Segundo Martins e Meneguzzi (2014), o termo Smart-Home é utilizado para definir uma residência que contém aparelhos capazes de se comunicar entre si, e que podem ser operados remotamente por um sistema de controle. Já segundo Ghaffarianhoseini (2013), o conceito de Smart-Home se divide em dois componentes: a integração entre a casa com um ambiente inteligente e inter-relações entre o ambiente e usuário.

De acordo com Clements-Croome (2004), existem cinco módulos básicos inter-relacionados, para o desenvolvimento de um design de Ambiente Inteligente:

- Módulo 1: Conceito, estratégia e gestão
- Módulo 2: Construção de sistemas, arquitetura e pessoas
- Módulo 3: Tecnologias da informação e sistemas de comunicação.
- Módulo 4: Aplicando inteligência ao ambiente
- Módulo 5: Análise financeira e avaliação do investimento

No primeiro módulo, temos os conceitos iniciais que podem estar ligados a cultura local onde está sendo desenvolvido o projeto, os problemas e atributos que a solução irá atacar e aplicação da gestão, assim como a estratégia para conseguir atingir os objetivos. O

segundo módulo é considerado o mais importante para o trabalho aqui descrito, pois nele temos as especificações das responsabilidades e relacionamento entre as pessoas, usuários, e a arquitetura do sistema ou sistemas que serão construídos. No terceiro, quarto e quinto módulo temos uma visão sobre o impacto de uma tecnologia inteligente sobre pessoas, uma análise do valor agregado da tecnologia e uma análise financeira sobre o projeto e seus custos.

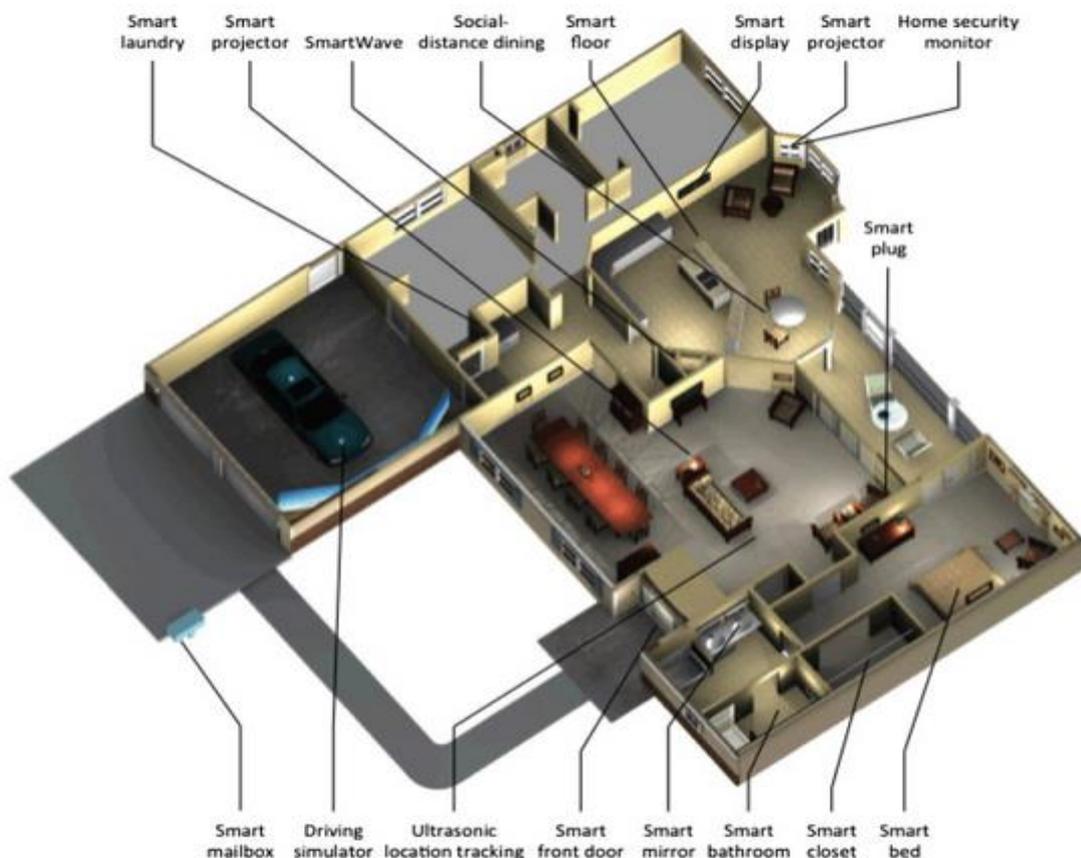
Dentre modelos de casas inteligentes existentes atualmente, ainda em Ghaffarianhoseini (2013), são citados dois modelos que foram usados como referência para a modelagem dos cenários e modelagem da solução deste trabalho. São eles:

3.4.1 *The Gator Tech Smart House*

De acordo com Helal et al. (2005), consiste em uma casa projetado e desenvolvido na Universidade da Flórida, que estuda o comportamento de seus hóspedes através de computação pervasiva e sensores integrados, utilizando computadores inteligentes como meio atuador no ambiente. Este modelo tem como objetivo contribuir para uma melhor qualidade de vida de pessoas idosas e com deficiências, facilitando o seu dia-dia e pode ser observado na figura 6.

Figura 6 - The Gator Tech Smart, composição interior.

Figura 6 - The Gator Tech Smart, composição interior.



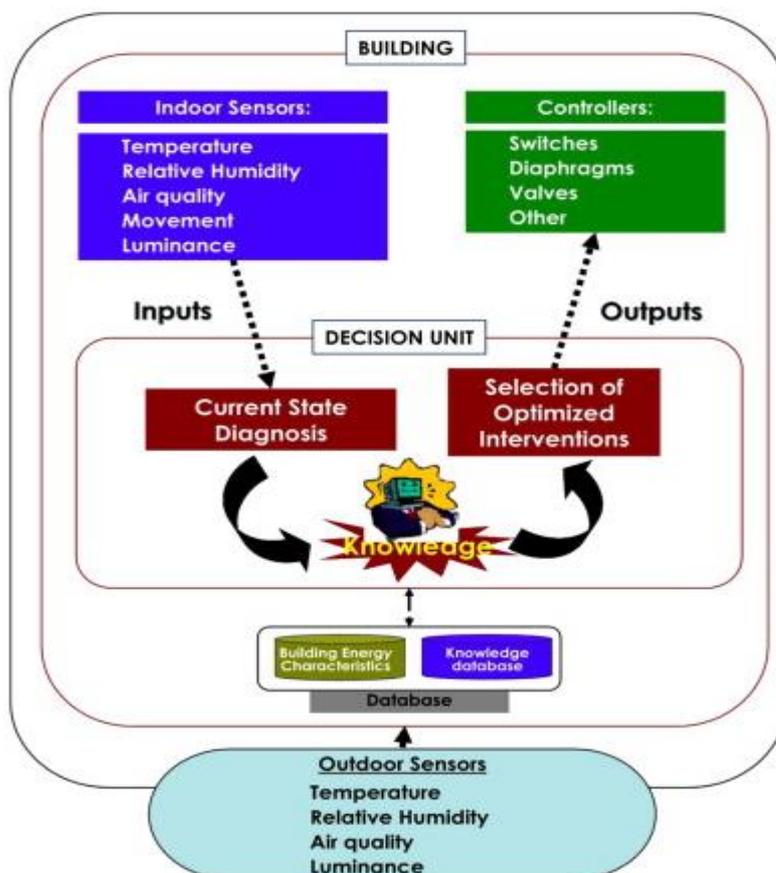
Helal et al. (2005).

Dentre os dispositivos encontrados neste modelo, temos lavanderia, cama, espelho, banheiro, portas. Todos os dispositivos são integrados a sistemas inteligentes e podem ser instalados e utilizados por usuários finais sem a ajuda de engenheiros técnicos.

3.4.2 Modelo Conceitual

Para Ghaffarianhoseini (2013), em um projeto de casa inteligente, fatores como automação, funcionalidade, conforto, segurança, eficiência, economia de energia e integração de sistemas, podem ser considerados. Os dispositivos podem ser divididos em duas categorias, “ativo” e “passivo”, os ativos são os manipuladores do ambiente, os passivos são os sensores e os meios pelos quais o sistema recebe dados e observa as pessoas. Em um estudo de Doukas et al (2007), é definido uma estrutura conceitual para o desenvolvimento de ambientes inteligentes que atende os fatores acima considerados como podemos observar na figura 7.

Figura 7 - Modelo Conceitual



Fonte: Doukas et al (2007).

Este modelo foi utilizado como referência para o trabalho aqui descrito, onde os esforços se deram na unidade de decisão e na simulação do Output, sendo os Inputs dados hipotéticos gerados aleatoriamente.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A capacidade de reação, e adaptação, são pontos chaves para se implementar um sistema de controle autônomo que cumpra suas responsabilidades. Uma forma de construir sistemas de controle autônomo é utilizando o paradigma de Sistemas Multiagentes, que permite ao sistema ser capaz de reagir aos diversos cenários observados no ambiente em que está inserido, agir com autonomia e com habilidade proativa adaptando-se a situações que ocorrem em tempo de execução que não foram previstas em tempo de design.

4.1 Análise de Plataformas

Para o desenvolvimento do sistema multiagente que funcione da melhor maneira em uma casa inteligente, é necessário utilizar uma plataforma de desenvolvimento que permita desenvolver uma abstração lógica do ambiente, que represente e seja a ponte entre as decisões dos agentes e o mundo real, permitindo assim, detalhar o funcionamento dos objetos do mundo real e disponibilizando esses recursos aos agentes, tanto para entrada de dados quanto para atuação do sistema no ambiente. A plataforma precisa oferecer a possibilidade de tratar casos não inicialmente previstos, para que o sistema possa se adaptar a mudanças no ambiente.

Para isso foram analisadas duas plataformas de desenvolvimento de sistemas multiagentes, a partir da bibliografia, para que a seleção da ferramenta que melhor se adaptasse ao contexto e aos objetivos do trabalho, baseado em justificativas demonstradas na seção 5.1.

4.2 Definição e Especificação do Cenário

O projeto de uma casa inteligente, está estreitamente ligado ao cenário em que se tem como base para a construção, partindo disso foi definido um cenário alinhado a realidade de uma casa inteligente. Foram criados diversos casos onde para a verificação do funcionamento dos agentes.

A partir deste cenário, onde são definidos os habitantes da casa inteligente e suas preferências e hábitos nos objetos manipuláveis casa, foram definidos quais artefatos atuadores seriam implementados no sistema e quais sensores e informações os agentes necessitariam para determinar suas ações no ambiente, atendendo assim as preferências de cada habitante.

Foram definidos casos de reativos, onde os agentes reagem a situações que ocorrem no ambiente, para garantir a otimização de tarefas. Alguns casos de adaptação foram

pensados para abordar as características adaptativas do sistema a mudanças não inicialmente previstas no ambiente, descritos com maiores detalhes na seção 5.2.

4.3 Implementação

A construção do sistema multiagente e do ambiente de atuação do mesmo foi a principal etapa do trabalho. Na mesma foi demonstrada como foi arquitetada a solução para o cenário, onde são detalhadas as características dos agentes e dos artefatos, e ilustrado como os agentes se comportam nos cenários para que possam atingir as expectativas dos habitantes descritos no cenário.

A definição da arquitetura foi alinhada a abordagem utilizada pela plataforma selecionada para o desenvolvimento e construção do sistema, assim como dos artefatos que dão acesso as coisas distribuídas pela casa.

5 EXECUÇÃO

5.1 Análise de Plataformas e Seleção da Plataforma para o Desenvolvimento

Para a realização deste trabalho foi necessária uma análise de ambientes de desenvolvimento disponíveis na bibliografia. Foi feita uma verificação das plataformas “EIDE” (ARCOS, 2006) e “JaCaMo” (BOSSIER, 2013), onde somente uma foi selecionada por ter se adequado ao desenvolvimento de um sistema multiagente como uma organização de agentes autônomos, que gerenciariam os sensores e equipamentos distribuídos em uma casa inteligente, e que suportou o desenvolvimento do cenário para simulações.

Por se tratar de smart-homes, que podem ser definidos como ambientes dinâmicos, é necessário implementar os mesmos em uma ferramenta que dê suporte a esse tipo de ambiente, facilitando a manipulação do mesmo pelos agentes. Cada agente precisa ser personalizado com os seus objetivos em um determinado contexto, e acesso aos artefatos que serão manipulados por ele dentro da smart-home. Existe também a possibilidade de existir a necessidade da abertura da organização a agentes desenvolvidos por terceiros. Estes agentes assumiriam um papel dentro da organização em algum ponto no tempo e poderiam interagir com os demais agentes, solicitando ações no ambiente. Isso pode ser verificado através da configuração da casa com a chegada de convidados que possivelmente teriam outros sistemas rodando em seus smartphones, ou tablets que poderiam interagir com o sistema da casa por um certo período de tempo.

Portanto, foi escolhida a plataforma JaCaMo para o desenvolvimento do projeto aqui descrito. A mesma permite desenvolver sistemas multiagentes abertos modelados como

organizações, agentes na arquitetura BDI que se utilizam de planos para execução de tarefas, e utilização de artefatos para modelar ambientes dinâmicos com regras de acesso e utilização dos mesmos. Assim, o JaCaMo demonstra uma maior adequação ao desenvolvimento do projeto, já que a plataforma EIDE é destinada a sistemas fechados primordialmente. A possibilidade de selecionar planos de ações para os agentes a partir da configuração do ambiente e de outras informações disponíveis no mesmo em tempo de execução, inclusive com a criação e obtenção de novos planos, também foi importante para esta escolha. Por exemplo, agentes que monitoram sensores térmicos distribuídos na smart-home e modelados como artefatos no sistema, seriam responsáveis pela temperatura da casa. Estes podem selecionar planos de ação diferentes de acordo com a estação do ano, ou chegada de uma pessoa nova na casa que tem preferências diferentes das planejadas em tempo de desing. Já o EIDE como citado anteriormente, trabalhando com sistemas fechados, não ofereceria o devido tratamento a interações com agentes externos, ou situações não prevista em tempo de design. No quadro 1, é ilustrado as principais características que justificaram a escolha de JaCaMo.

Quadro 1 – Características que motivaram a escolha.

Características	Suporte a Ambiente Dinâmico	Suporta Organização Aberta	Planos de Ação que possam trabalhar reação e adaptação
EIDE			
JaCaMo	X	X	X

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.2 Definição e Especificação do Cenário

O cenário definido para aplicação foi definido como uma residência com três habitantes, dois adultos, identificados por adulto A e adulto B, e uma criança, onde cada um deles tem suas preferências e atividades em que o sistema deve auxiliar. No quadro 2, são listadas as preferências para cada habitante e os respectivos dispositivos eletrônicos.

Quadro 2 - Preferências dos Habitantes

Dispositivo	Habitantes	Preferências
Luz	Todos	Utilizar somente durante a noite e quando o usuário está presente
Aquecedor	Todos	A temperatura padrão para a residência é de 22 graus Celsius, o aquecedor será utilizado quando os termômetros da casa registrarem temperaturas menores que a temperatura padrão para que esta seja atingida
Ar condicionado	Todos	Utilizado quando os termômetros registrarem temperaturas superiores à temperatura padrão de 22 graus Celsius, para que esta seja atingida.

TV	Adulto A	Programação esportiva às quartas (22h-0h) e domingos (16-18h)	O volume sempre é 50%, para não prejudicar a audição
		Noticiário segunda a sexta (20h-21h)	
		Séries às sextas (22-23h) e domingo (22-23)	
	Adulto B	Novelas de segunda a sexta (20h-22h)	
		Noticiário segunda a sexta (20h-21h)	
	Criança	Programação educativa durante toda a semana (8h – 10h)	
Sistema Anti-Incendio	Todos	Deve ser ativado quando houver distúrbios de temperatura ou identificação de fumaça.	
Identificação de Estranhos	Adulto A, Adulto B	Caso seja identificado uma presença não catalogada no sistema de identificador facial, os adultos deverão ser notificados.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além destes, foram elaborados casos para que se pudesse verificar a capacidade de adaptação do sistema no que tange a mudanças no ambiente em tempo de execução, são estes:

- O modelo sendo projetado para pessoas não deficientes, em um dado momento precisa se adequar as necessidades de um visitante com deficiência auditiva, que necessita que a TV ative a função closed caption.

- O habitante adulto A, para um certo horário e dia da semana, prefere um outro canal ao invés dos canais inicialmente projetados.

No cotidiano, é possível que os habitantes possam mudar seus hábitos, levando ao ambiente situações desconhecidas para o sistema, porém com a implementação destes casos de adaptação, pode ser demonstrado que o sistema pode se adaptar a mudanças, sempre se mostrando útil aos habitantes.

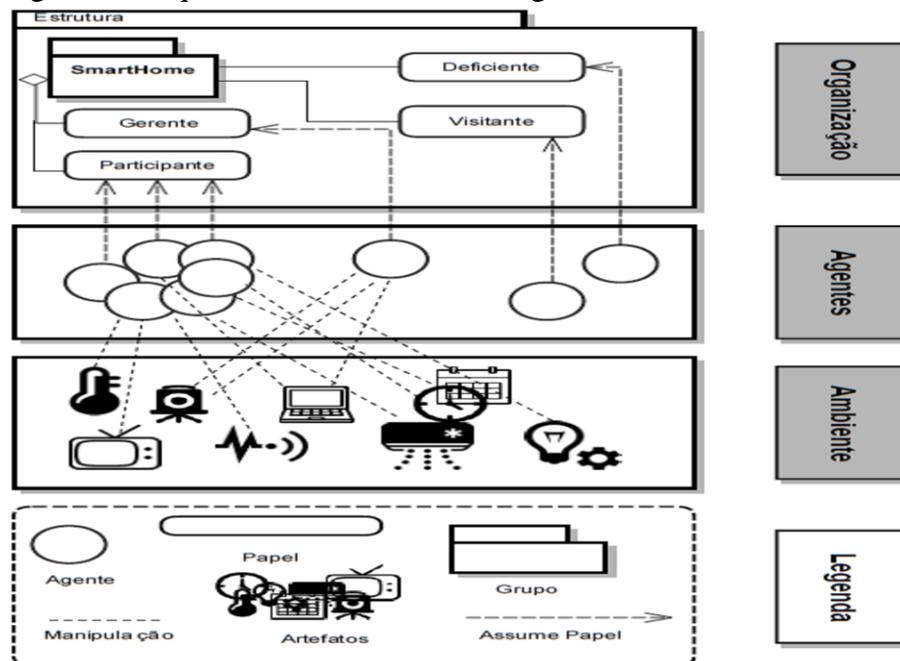
Quando qualquer habitante não estiver presente no ambiente, suas respectivas preferências devem ser ignoradas pelo sistema.

5.3 Implementação

5.3.1 Arquitetura

Na Figura 8, temos o esboço da arquitetura do modelo desenvolvido neste trabalho para controle autônomo de uma Smart-Home. Como visto, a solução está dividida em camadas. Existe uma camada de ambiente, que representa uma abstração dos dispositivos a serem manipulados por uma camada logo acima de agentes, onde estes assumem os papéis de gerente, participante ou visitante ou deficiente.

Figura 8 - Arquitetura do Sistema Multiagente



Fonte: Adaptado da figura 4.

Como podemos ver a figura é uma adaptação da Figura 4, onde é demonstrada uma visão geral de um sistema multiagente JaCaMo.

5.3.2 Construção

Para a construção do projeto foi utilizado o JaCaMo na versão 0.4, onde na camada de Ambiente, cada dispositivo foi representado por um artefato, utilizando a plataforma Cartago. Como foi proposto anteriormente o ambiente é simulado, implicando assim em dados randomicamente gerados por sensores para que o sistema possa tomar as decisões a partir destes dados.

Os artefatos de output são máquinas de estados, que recebem comandos que alteram seu estado, sendo possível realizar verificações desses estados ao fim de cada operação. Também foram criados artefatos que representam módulos simulados de inteligência, fornecendo novos planos e novos dados, randomicamente gerados, para que os agentes se adaptem a novas situações.

Na camada de agentes, os agentes estão sincronizados a artefatos de entrada como calendário, relógio e sensores. Cada agente é responsável por atender preferências de um respectivo artefato, podendo acessar artefatos de input para suas tomadas de decisão. Todos os agentes da organização são gerenciados por um agente gerente, onde este avisa a todos os agentes quais habitantes estão presentes, utilizando um sensor de reconhecimento facial, para que os agentes não apliquem preferências de habitantes ausentes.

Os agentes se comportam de maneira reativa, onde reagem a mudanças no ambiente, visto pelo agente como um conjunto de literais, estes literais são verificados se são compatíveis com a crença e então selecionados a ação ou ações que estão vinculados a esta crença. Como já mencionado, em Jason utiliza-se de Agent-Speak, uma linguagem lógica, facilitando assim uma abordagem lógica tradicional em relação aos cenários reativos.

Os dados simulados dos artefatos são de fácil interpretação para os agentes, sendo valores booleanos, valores inteiros, e cadeias de caracteres. Em um possível trabalho futuro, quando integrados estes artefatos a objetos reais, estes artefatos Cartago poderiam interpretar e reescrever estes dados de maneira que os agentes compreendam. Dados como de sensores de presença são representados para os agentes como sinais binário, onde só são acionados pelos artefatos se existir detecção de presença. Sensores de temperaturas também funcionam como sinais, avisando se a temperatura está fora do intervalo preterido e informando qual o valor da temperatura, onde os agentes de temperatura, para calor e para frio, decidem o que ser feito para a temperatura voltar ao normal. Os artefatos de data e hora exigem maior processamento dos agentes que o utilizam, pois a cada mudança de hora e dia, os agentes precisam avaliar se nesta hora e dia da semana existe planos a serem implementados. Os demais sensores funcionam da mesma forma destes já descritos.

Os artefatos atuadores têm suas operações conhecidas pelos agentes que os manipula, onde em um plano de ação do agente, ele pode combinar diversas operações, como ligar, escolher canal, selecionar volume, depois de um tempo desligar uma TV.

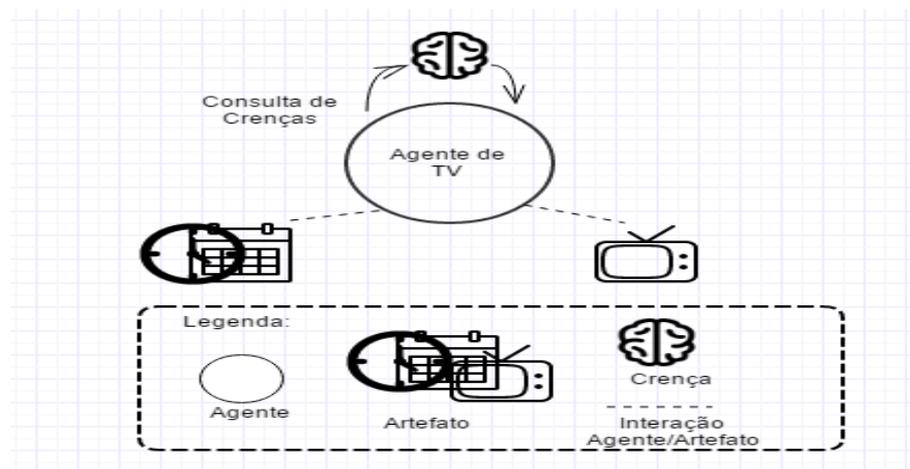
Para os casos de adaptação, foram pensados artefatos de inteligência e aprendizagem, que tem o funcionamento similar aos sensores, avisando se existe mudanças a serem implementadas nos comportamentos dos agentes, tanto para alteração nos planos, quanto para inclusão e exclusão de planos se necessário. Partindo do pressuposto de que estes artefatos conhecem as operações de um dado artefato, mesmo antes dele entrar no sistema, ele é capaz, de maneira simulada, de montar novos planos baseado na identificação de padrões de utilização dos artefatos por parte dos habitantes, essa identificação de padrões também é simulada neste trabalho. Os agentes são avisados que existem mudanças a serem implementadas pelos artefatos de inteligência e aprendizagem, e recebem planos a serem incluídos, ou novos parâmetros para incluírem em planos a serem atualizados.

5.4 Resultados

Nesta seção são ilustradas como foram como funcionam os casos do cenário desenvolvido neste trabalho, detalhando um exemplo de como foi abordado os casos reativos, e os casos de adaptação, é importante salientar que os agentes se comportaram de acordo com as especificações do cenário elaborado tanto nos casos reativos como nos casos de adaptação.

Os artefatos de input são observados pelos agentes utilizando a funcionalidade *focus artifacts*, onde qualquer alteração em suas propriedades observáveis era percebida pelo agente para, a partir desta percepção, o agente executar seus planos de ação de maneira reativa, como visto na figura 9.

Figura 9 - Cenário Reativo

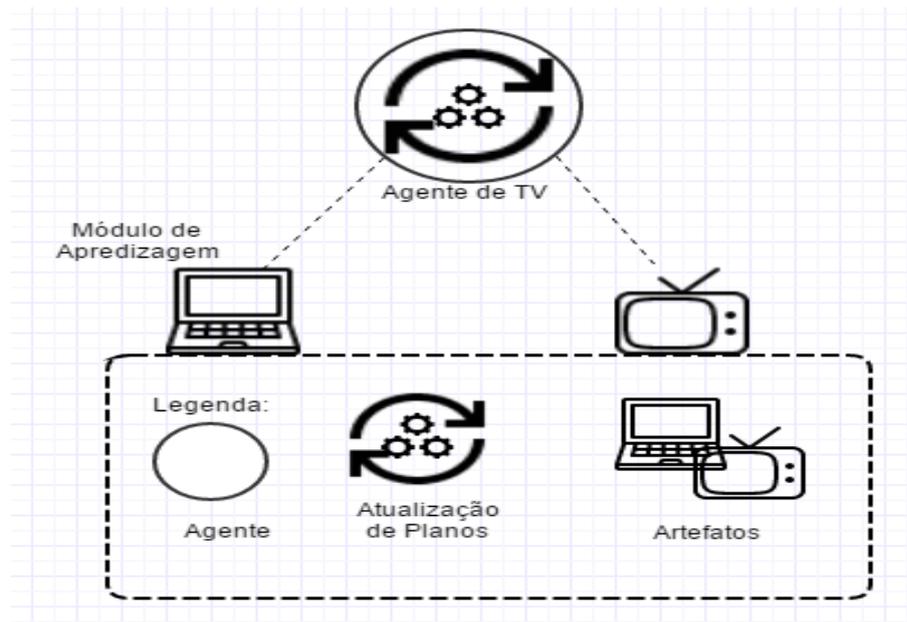


Fonte: Fornecida pelo Autor.

Os planos possuem uma expressão condicional, para serem executados, onde os dados recebidos dos artefatos de entrada são testados nestas expressões, onde essas expressões testam se os dados estão de acordo com as crenças. Existem planos específicos para atualização de crenças, para que as crenças se mantenham sempre atualizadas em relação ao ambiente, como no caso do agente gerente, que com o auxílio do artefato de detecção facial, sempre sabe qual habitante está ausente, para que suas preferências não sejam atendidas.

No caso de atualização dos atributos de um plano, como no caso implementado, o habitante já não prefere o canal inicialmente projetado como escolhido para aquela a programação de TV. Para isso foi desenvolvido um artefato de aprendizado, que simula uma identificação de padrões de maneira randômica, onde os planos já não atingem mais as reais preferências dos habitantes, fornecendo assim atributos para que os planos do agente sejam atualizados em tempo de execução, de maneira que o sistema se adapte as novas preferências do habitante como ilustrado na figura 10.

Figura 10 - Atualização de Planos em Tempo de Execução



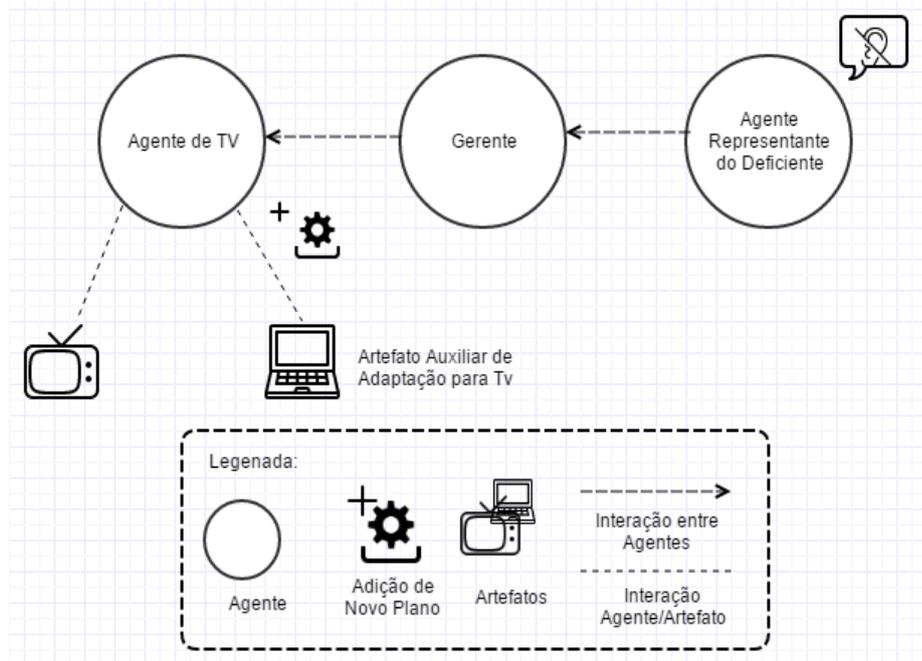
Fonte: Fornecida pelo Autor.

Neste exemplo da figura 10, a adaptação do sistema surge da alteração dos parâmetros do plano.

Para o caso de ocorrer uma solicitação de adequação e adaptação não prevista em tempo de projeto, temos o exemplo do deficiente auditivo que solicite acessibilidade à TV. Para este caso fez-se necessário a criação de um artefato que conhecesse todas as funcionalidades da TV, podendo assim gerar novos planos baseado em solicitações do agente

para que o esse possa aprender novas funcionalidades da TV e incluir estes novos planos em seu inventário de planos.

Figura 11 - Adaptação para Deficiente



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como podemos ver ainda na figura 11, temos um agente externo ao sistema, caracterizando um sistema aberto, que representa o deficiente auditivo, este solicita, ao agente gerente da aplicação, adaptação para que possa utilizar TV. Os habitantes da residência não são deficientes, o agente de TV não está configurado para satisfazer ao deficiente. O gerente por sua vez, repassa a solicitação para o agente de TV. Então o agente de TV utiliza o artefato auxiliar de adaptação para TV, para que este artefato construa um plano para deficientes, neste caso disponibilizando a função closed caption da TV. Com o plano construído e repassado ao agente solicitante, o plano é adicionado aos demais planos do agente, tornando possível oferecer a acessibilidade necessária ao deficiente.

A solicitação de acessibilidade só é compreendida como para deficiência auditiva pelo artefato de adaptação, onde este artefato conhece todas as operações da TV e monta um plano que torne a TV acessível para o deficiente, o agente só repassam a solicitação de acessibilidade e aguarda o plano para a indexação no conjunto de comportamentos.

Este último exemplo, o artefato auxiliar de adaptação para TV, poderia ser também utilizado para adaptação do sistema na aquisição de novos equipamentos. A partir da utilização de novos equipamentos pelos usuários, essas ações como são catalogadas neste

artefato, podem ser recriadas e adicionadas aos agentes, onde o sistema tem a possibilidade de se autoconstruir a fim de garantir a adaptabilidade do sistema.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para controle autônomo de Smart-Homes, a abstração do mesmo, utilizando o paradigma de Sistemas Multiagentes proporcionado pela plataforma JaCaMo, mostrou-se bastante útil em ações reativas ao ambiente, demonstrando assim ser possível construir soluções para casas inteligentes utilizando Sistemas Multiagentes. Já em situações de adaptação às mudanças no ambiente proposto no cenário, como demonstrado, a dificuldade se deu por algumas limitações da ferramenta Jason como por exemplo a impossibilidade de remover planos indicados por artefatos por incompatibilidade de alguns dados entre Cartago e Jason. Porém essas dificuldades não afetaram significativamente no objetivo deste trabalho.

Este trabalho, com o código fonte disponível no github no endereço (<https://github.com/jpedroes/smartHomeModelV2>), teve bom funcionamento no contexto de casas inteligentes, para fins de otimização, tratando níveis de detalhamentos dos artefatos próximo a realidade. A adaptação alcançada pelo sistema nos cenários propostos, demonstra a possibilidade de se trabalhar perfeitamente com agentes neste contexto em situações reais, sendo esta a principal contribuição deste trabalho.

Como opções de trabalhos futuros temos a reconstrução dos artefatos de aprendizagem utilizando técnicas de aprendizado de máquina e identificação de padrões, para que os agentes possam realmente se adaptar ao ambiente de acordo com um histórico de interações entre os habitantes da casa, os agentes e os artefatos que modelam e implementam o ambiente inteligente. Implementação de uma organização normativa utilizando a ferramenta Moise do JaCaMo, onde os agentes teriam compromissos e restrições mais elaboradas. Aplicação em um ambiente real, com a integração dos artefatos lógicos Cartago com os dispositivos reais para se ter uma análise mais realista das funcionalidades do sistema.

REFERÊNCIAS

- ARCOS, Josep Lluís et al. An integrated development environment for electronic institutions. In: **Software agent-based applications, platforms and development kits**. Birkhäuser Basel, 2005. p. 121-142.
- BREGMAN, David; KORMAN, Arik. A universal implementation model for the smart home. *International Journal of Smart Home*, v. 3, n. 3, p. 15-30, 2009.
- BOISSIER, Olivier et al. Multi-agent oriented programming with JaCaMo. **Science of Computer Programming**, v. 78, n. 6, p. 747-761, 2013.
- BOISSIER, Olivier; HÜBNER, Jomi Fred; SICHMAN, Jaime Simão. Organization oriented programming: From closed to open organizations. In: **Engineering Societies in the Agents World VII**. Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 86-105.
- BORDINI, Rafael H.; HÜBNER, Jomi Fred; WOOLDRIDGE, Michael. **Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason**. John Wiley & Sons, 2007.
- CAVONE, Davide et al. An Agent-based Approach for Adapting the Behavior of a Smart Home Environment. In: **WOA**. 2011. p. 105-111.
- CLEMENTS-CROOME, Derek (Ed.). **Intelligent buildings: design, management and operation**. Thomas Telford, 2004.
- DOUKAS, Haris et al. Intelligent building energy management system using rule sets. **Building and Environment**, v. 42, n. 10, p. 3562-3569, 2007.
- FLORES QUISBERT, Edson. Agentes Inteligentes: El Siguiente paso en la Inteligencia Artificial. **Revista de Información, Tecnología y Sociedad**, p. 106, 2008.
- GHAFFARIANHOSEINI, AmirHosein et al. The essence of future smart houses: From embedding ICT to adapting to sustainability principles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 593-607, 2013.
- HÜBNER, Jomi Fred; BORDINI, Rafael Heitor; VIEIRA, Renata. Introdução ao desenvolvimento de sistemas multiagentes com Jason. **XII Escola de Informática da SBC**, v. 2, p. 51-89, 2004.
- HUHNS, Michael N. Interaction-oriented programming. In: **Agent-Oriented Software Engineering**. Springer Berlin Heidelberg, 2001. p. 29-44.
- HELAL, Sumi et al. The gator tech smart house: A programmable pervasive space. **Computer**, v. 38, n. 3, p. 50-60, 2005.
- KOPETZ, Hermann. Internet of things. In: **Real-time systems**. Springer US, 2011. p. 307-323.

LEMAÎTRE, Christian; EXCELENTE, Cora B. Multi-agent organization approach. In: **Proceedings of II Iberoamerican Workshop on DAI and MAS**. 1998.

LUFT, C. P.. Minidicionário Luft. 14. ed. São Paulo: Editora Ática, 1996.

MARTINS, Rodrigo; MENEGUZZI, Felipe. A smart home model using JaCaMo framework. In: **Industrial Informatics (INDIN), 2014 12th IEEE International Conference on**. IEEE, 2014. p. 94-99.

REIS, L.P. Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na Gestão Universitária e Futebol Robótico. PhD Thesis, FEUP, 2003.

RICCI, Alessandro; PIUNTI, Michele; VIROLI, Mirko. Environment programming in multi-agent systems: an artifact-based perspective. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, v. 23, n. 2, p. 158-192, 2011.

SABATER-MIR, Jordi et al. e-Institutions oriented to the use of Reputation. **Sixth Framework Programme Priority**, v. 7, 2007.

SHOHAM, Yoav. Agent-oriented programming. **Artificial intelligence**, v. 60, n. 1, p. 51-92, 1993.

SILVA, L. A. M. Estudo e Desenvolvimento de Sistemas Multiagentes usando JADE: Java Agent Development framework. In: Universidade de Fortaleza, Brasil, 2003. Disponível em: <<http://jade.tilab.com/papers/2003/monografia.pdf>>. Acessado em: 22 abril. 2015.

WOOLDRIDGE, M., Intelligent agents, pp. 27–77, 1999

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS N. R. Intelligent Agents: Theory and Practice. In Knowledge Engineering Review, 1995.

ZAMBONELLI, F.; JENNINGS, N. R.; WOOLDRIDGE, M. Organisational Abstractions for the Analysis and Design of Multi-Agent Systems. In: Proceedings of the 1ST international workshop on agent-oriented software engineering, Limerick, Ireland, p.127–141, 2000.