



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

iDASH

An enhanced middleware for an ad-hoc service-oriented
Smart Home

Bruno José Furtado Gonçalves

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Redes de Comunicações**

Júri

Presidente: Prof. Doutor Rui Jorge Morais Tomaz Valadas

Orientador: Prof. Doutor Rui Manuel Rodrigues Rocha

Vogal: Prof. Doutor Mário Serafim dos Santos Nunes

Outubro de 2010

Agradecimentos

Desejo expressar a minha profunda gratidão ao Prof. Rui Rocha, por ter assumido a orientação desta tese, e pelas valiosas sugestões e críticas feitas durante a sua realização.

A todo o grupo do GEMS e, em especial, aos meus colegas e agora amigos, Filipe Perdigão, Hugo Freire, José Catela, Micael Soares e Miguel Barroso, quero agradecer as múltiplas discussões técnicas, que em muito contribuíram para este trabalho, e todos os bons momentos que se proporcionaram neste último ano.

Agradeço aos meus amigos Jacqueline Jardim e Jorge Soares, por todo o incentivo e apoio que me deram no decurso deste trabalho e que em muito contribuíram para a qualidade do mesmo.

Aos meus colegas de curso e amigos, António Marques e Diogo Mónica, que ao longo de toda a licenciatura e mestrado, sempre me acompanharam e estiveram presentes em muitos momentos importantes.

Especialmente, aos meus pais, avós e irmão, agradeço o apoio e o incentivo que sempre me deram e a compreensão que tiveram durante os períodos em que dediquei a este trabalho muito do tempo lhes era devido.

Resumo

A recente e rápida proliferação de dispositivos inteligentes em ambientes residenciais conduziu a uma fraca interoperabilidade entre os mesmos. Paralelamente, a inexistência de mecanismos de auto-configuração e de interfaces intuitivas nos sistemas actualmente disponíveis obriga os seus utilizadores a possuírem conhecimento altamente especializado para construir e gerir uma casa inteligente. Com o intuito de facilitar o acesso do utilizador comum aos sistemas, desenvolveu-se uma plataforma de *middleware* orientada a serviços, que permite o acesso às funcionalidades oferecidas por qualquer dispositivo ou aplicação existente num ambiente residencial, de forma transparente, intuitiva e abstraída das tecnologias de comunicação envolvidas.

Contudo, aquela plataforma apresenta algumas limitações, designadamente ao nível da interface com o utilizador e da gestão de contextos, o que dificulta a sua utilização em ambientes reais.

Com o presente trabalho pretende-se dar continuidade ao que acima se referiu, dotando a plataforma já existente de novas funcionalidades e tornando-a mais acessível ao utilizador comum.

O trabalho que aqui se apresenta irá desenvolver-se em três frentes: focar-se-á, essencialmente, na camada aplicacional que deve surgir por cima da infra-estrutura que foi disponibilizada e irá alargar-se, por um lado, ao desenvolvimento de módulos que serão inseridos na plataforma já existente e, por outro, à adição de novas funcionalidades ao sistema.

Por fim, faz-se uma avaliação de todo o sistema com base num ambiente de teste real, onde se desenvolveram serviços e interfaces que permitem uma maior interacção com o utilizador. O sistema foi ainda submetido a testes de performance e de usabilidade, que obtiveram resultados globalmente positivos.

Palavras-chave: Ambiente Residencial Inteligente, Rede Residencial, Serviços, Interfaces, Contextos, Middleware

Abstract

The recent and sudden proliferation of smart devices in home environments has led to poor interoperability between them. Furthermore, the absence of intuitive interfaces and configuration in currently available systems requires users to have highly specialized knowledge to build and manage a smart house. For that reason, a platform of service oriented middleware was developed, allowing access to the functionality offered by any device or application in a residential environment, transparently, intuitively and regardless of the communication technologies involved.

Nevertheless, that platform still presented some limitations, mainly at the user interface and contexts management levels, making its use in real environments more difficult than acceptable.

The objective of this work was to continue development of the previously created solution, providing the existing platform with new features and making it more accessible to the everyday user.

The work follows three points: it will focus essentially on the application layer created on top of the previously developed infrastructure and branches into, on the one hand, the development of new modules to be inserted into the platform and, on the other hand, the implementation of new features for the core system.

The system was deployed in real testbed, allowing for the development of new services and interfaces improving user interaction. Performance and usability tests were conducted, with globally positive results.

Keywords: Smart Home, Home Networking, Services, Interfaces, Context, Middleware

Índice

| | |
|--|------|
| Agradecimentos..... | iii |
| Resumo | v |
| Abstract..... | vii |
| Índice de Tabelas | xi |
| Índice de Figuras | xiii |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Motivação..... | 2 |
| 1.2 Organização..... | 3 |
| 2 Trabalho relacionado..... | 5 |
| 2.1 Tecnologias de rede..... | 5 |
| 2.2 Soluções para <i>Smart Homes</i> | 8 |
| 2.3 Projectos em <i>Smart Homes</i> | 10 |
| 2.4 DASH..... | 13 |
| 2.5 Discussão | 14 |
| 3 Arquitectura da Solução | 17 |
| 3.1 Identificação/Gestão de Contextos (Context Manager)..... | 17 |
| 3.2 Perfis de Utilizador (User Profiling) | 18 |
| 3.3 Perfis de dispositivos (Device Profiling)..... | 19 |
| 3.4 Interface Gráfica | 19 |
| 3.5 Gestão de Ligações (Network Interface Manager)..... | 21 |
| 4 Implementação..... | 23 |
| 4.1 Perfis de Utilizadores e Perfil de Dispositivo | 23 |
| 4.2 Módulo de Identificação/Gestão de contextos..... | 25 |
| 4.3 Interface Gráfica | 27 |
| 4.3.1 GUI para Computador | 28 |
| 4.3.2 Interface Web..... | 28 |
| 4.3.3 Wii Mote..... | 29 |

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 5 | Avaliação da solução..... | 31 |
| 5.1 | Testes de desempenho..... | 33 |
| 5.2 | Testes de Usabilidade..... | 35 |
| 6 | Conclusões/Trabalho Futuro | 37 |
| 8 | Referências | 39 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Tecnologias utilizadas em ambientes residencias..... | 6 |
| Tabela 2 - Soluções que integram redes Wireless e Wired | 7 |
| Tabela 3 - Soluções comerciais para Smart Homes | 9 |
| Tabela 4 – Soluções de Projectos em <i>Smart Homes</i> | 12 |
| Tabela 5 - Lista de Serviços implementados | 32 |
| Tabela 6 - Médias e desvios padrão dos resultados obtidos | 34 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Modelo de uma rede para uma <i>Smart Home</i> | 8 |
| Figura 2 - Desenho da arquitectura do dash..... | 13 |
| Figura 3 – Arquitectura da Plataforma DASH existente..... | 17 |
| Figura 4- Arquitectura lógica da solução Proposta..... | 17 |
| Figura 5 – Funcionamento do módulo Identificação/gestão de contextos..... | 18 |
| Figura 6 – Funcionamento do módulo perfis de utilizador..... | 19 |
| Figura 7 - Funcionamento do módulo interface | 20 |
| Figura 8 - Modelo arquitectural de um sistema | 21 |
| Figura 9 – Funcionamento do módulo gestão de ligações | 22 |
| Figura 10 - Arquitectura da plataforma com os ficheiros de <i>profiling</i> | 24 |
| Figura 11 - Arquitectura da plataforma com os módulos de <i>Profiling</i> | 25 |
| Figura 12 – Antigo Modelo de funcionamento..... | 26 |
| Figura 13 - Arquitectura da solução com o módulo <i>Context Manager</i> | 27 |
| Figura 14 - Interface GUI..... | 28 |
| Figura 15 – Interface Web | 29 |
| Figura 16 - Ambiente de tese..... | 31 |
| Figura 17 - computador com sistema operativo ubuntu | 33 |
| Figura 18 - Computador com o sistema operativo Windows XP | 33 |
| Figura 19 - RB433 com o sistema operativo openwrt..... | 33 |
| Figura 20 - Análise de desempenho do módulo Context Manager | 34 |
| Figura 21 - Resultados dos inqueritos..... | 36 |

1 Introdução

As tecnologias têm evoluído sempre com o pressuposto de facilitar a vida do Homem e, como resultado da evolução tecnológica, existe, actualmente, uma sociedade em que os seres humanos utilizam, quer no seu ambiente profissional que no residencial, um número crescente de dispositivos e equipamentos que incorporam tecnologias cada vez mais sofisticadas.

Entre os factores que impulsionam aquela evolução, salientam-se as questões de segurança e comodidade – que induzem o desejo do Homem em monitorizar e controlar os espaços onde vive – e as motivações de natureza ambiental, visando, por exemplo, a eficiência na gestão energética. Neste contexto, desenvolve-se um vasto mercado em que proliferam, entre outros, os sistemas de detecção de intrusão e os de monitorização e/ou controlo de equipamentos, que podem ser usados, por exemplo, para ligar/desligar electrodomésticos, para simular a presença de pessoas em espaços inabitados, através do acendimento de luzes, ou ainda para controlar o funcionamento de um sistema de ar condicionado em função da temperatura, da hora do dia e da eventual presença de pessoas no espaço controlado.

A diversidade das funcionalidades desejadas e o consequente aumento de complexidade dos sistemas tem motivado a pesquisa de soluções que permitam a intercomunicação dos dispositivos e a gestão rápida e fácil dos equipamentos controlados.

É importante frisar que existe uma grande diferença na concepção deste tipo de sistemas para ambientes residenciais e profissionais. Em ambientes profissionais, o foco é a eficiência na execução das tarefas enquanto, em ambientes residenciais, o foco está em proporcionar o maior conforto possível aos seus habitantes, facultando-lhes a possibilidade de gerir, com simplicidade, um ambiente com sistemas que podem agir de forma autónoma, ecológica e económica.

O conceito de *Smart Homes* surgiu com o intuito de definir as casas que possuem inteligência para se adaptarem às necessidades específicas dos seus habitantes, de forma autónoma, proporcionando um vasto conjunto de facilidades, como a monitorização/controlo de todos os seus espaços. Para que tal seja possível, existe intrinsecamente uma rede que mantém a ligação entre todos os dispositivos existentes dentro da *Smart Home*.

Actualmente, tem surgido um grande interesse por parte da indústria no *Home Networking*, ou seja, nas redes que podem ser utilizadas em *Smart Homes*. Este interesse

advém do facto destas redes serem um meio que permitirá a criação de novos serviços para os consumidores e, subsequentemente, a criação de novos modelos de negócio para a indústria. Neste contexto, têm surgido constantemente consórcios de empresas para tentar explorar e uniformizar este tipo de redes caseiras, como são os casos do UPnP Forum (*Universal Plug and Play Forum*) e da DLNA (*Digital Living Network Alliance*), que já possuem produtos certificados no mercado.

Paralelamente, o número de projectos e de produtos nesta área tem vindo a crescer. No entanto, ainda existe a necessidade de melhorar as soluções a nível da interoperabilidade entre os dispositivos, da funcionalidade e da sua facilidade de gestão.

Neste tipo de sistemas, a interoperabilidade é fundamental, uma vez que se pretende interligar um grande número de dispositivos, com diferentes âmbitos de aplicação, tipos e marcas. Além disso, é desejável que ao longo do tempo seja possível integrar novos dispositivos, de diferentes fabricantes, com novas funcionalidades.

A facilidade de gestão é o ponto-chave do sucesso deste tipo de sistemas, pois eles destinam-se a utilizadores comuns, com poucos ou nenhuns conhecimentos tecnológicos, que só aderem, facilmente, a sistemas que possam ser geridos de forma intuitiva e segura.

A nível funcional, a grande necessidade actual é a de criar soluções mais eficientes na identificação e gestão de contextos, que permitam maximizar a adaptação dos sistemas ao estilo de vida de cada utilizador.

Assim, pode-se antever que, com o amadurecimento das soluções e com uma maior aceitação pelos utilizadores, num futuro muito próximo, as *Smart Homes* virão a ser implementadas em larga escala. Para realçar a importância deste tipo de sistemas na resolução de problemas que actualmente são relevantes em todo o mundo, regista-se que a sua utilização também irá contribuir para uma maior eficiência energética.

1.1 Motivação

No Instituto Superior Técnico desenvolveu-se, recentemente, uma solução de *middleware* orientada a serviços, o DASH. Esta solução foi desenvolvida no âmbito de uma dissertação de mestrado [1] e visa proporcionar a interligação de diversos dispositivos, facilitando a instalação e a integração dos mesmos numa arquitectura de rede distribuída. Os resultados dos testes de avaliação, a que a solução foi submetida, conduziram a resultados bastante positivos, a nível de desempenho; além disso, ficou patente a modularidade e a facilidade em criar protótipos de novas aplicações sobre a solução criada.

Contudo, para que a solução se considere completa e se torne passível de ser utilizada em ambientes reais, será necessário dotá-la de um conjunto de novos atributos funcionais e isso implica o desenvolvimento de vários módulos, como, por exemplo:

- Uma interface gráfica que facilite a instalação e a gestão dos diferentes dispositivos da rede;
- Mecanismos de segurança que garantam a privacidade da informação e a autenticação dos utilizadores e dos dispositivos;
- Um módulo que permita a identificação/gestão de contextos;
- Um módulo que permita a criação de perfis de utilizadores.

A possibilidade de trabalhar na evolução do DASH, conferindo-lhe novas funcionalidades, constituiu o factor de motivação para o trabalho que agora se apresenta. Para enquadrar o presente trabalho, salienta-se que ele surge na continuação de [1] e utiliza a infra-estrutura aí proposta. O trabalho que agora se apresenta foca-se na camada aplicacional e visa o desenvolvimento de novos módulos, assim como o de novas aplicações que permitem acrescentar funcionalidades ao sistema.

Será ainda criado um ambiente de teste real, que proporcionará a interacção de potenciais utilizadores com o sistema, e que irá ser usado para o validar.

1.2 Organização

No capítulo 2, caracteriza-se sucintamente o panorama actual da área das *Smart Homes* e faz-se o enquadramento do presente trabalho na área. Faz-se um levantamento das tecnologias de rede actuais, identifica-se um conjunto de projectos universitários e de investigação científica relevantes na área, discutem-se as soluções e os projectos seleccionados e estabelece-se a ligação do trabalho ao DASH.

No capítulo 3, propõe-se a arquitectura lógica de uma solução que foi desenvolvida no decurso do presente trabalho e que contempla a criação de novos módulos dentro do *middleware*. Concretamente, discutem-se os módulos que são responsáveis pela identificação/gestão de contextos, pelos perfis de utilizador, pelas ligações de rede e pelas interfaces.

O capítulo 4 é dedicado à implementação da solução. Apresentam-se as propostas de implementação para cada um dos módulos e discutem-se algumas hipóteses alternativas para a sua construção.

No capítulo 5, faz-se a avaliação da solução proposta. Caracteriza-se o ambiente de teste que foi criado para o efeito, referem-se os equipamentos que foram usados e descreve-se o processo de validação do sistema.

No capítulo 6, finalmente, faz-se um resumo das principais conclusões que se podem tirar sobre o trabalho realizado e identificam-se alguns pontos que podem ser objecto de trabalho futuro.

2 Trabalho relacionado

As *Smart Homes* têm sido objecto de investigação científica há já alguns anos, levando à idealização e à construção de algumas casas como protótipos. No entanto, esses projectos nunca evoluíram muito para soluções focadas no público em geral. Entre as razões que têm limitado a popularização daqueles sistemas, incluem-se: o custo, a falta de reconhecimento da importância da produtividade das actividades domésticas e a dificuldade dos utilizadores comuns em operarem os sistemas.

Actualmente, dada a evolução tecnológica e a crescente familiarização dos utilizadores com os dispositivos tecnológicos, tem crescido o interesse comercial em torno da exploração das facilidades que as *Smart Homes* podem facultar às pessoas. Este interesse tem levado ao desenvolvimento de novas tecnologias e ao aproveitamento de outras, que surgiram com a explosão da Internet no mundo residencial.

Tecnologicamente, as soluções para *Smart Homes* têm evoluído de modo a facilitar a sua instalação e a conduzir ao abandono da ideia de que, para ter uma *Smart Home*, o consumidor teria que adquirir ou construir uma casa que possuísse o sistema de raiz. Por outro lado, nota-se ainda uma grande limitação dos sistemas, ao nível da funcionalidade, porque as soluções actuais são orientadas essencialmente no sentido de proporcionar a monitorização e o controlo dos espaços pelo operador humano, ou seja, incorporam bons níveis de automação, mas baixos níveis de “inteligência”.

Seguidamente, faz-se um levantamento das tecnologias de rede que têm sido utilizadas em *Smart Homes*, uma análise de algumas das soluções existentes no mercado, uma apresentação de alguns dos projectos existentes nesta área e uma apresentação mais detalhada da plataforma que irá ser utilizada como base para este trabalho. Por fim, discute-se o estado actual da tecnologia associada às *Smart Homes* e identifica-se o que é necessário melhorar nesta área.

2.1 Tecnologias de rede

Sendo a rede o ponto crítico de qualquer solução de *Smart Home*, visto que é responsável por manter a comunicação entre os diversos dispositivos, é fundamental perceber que tecnologias existem e quais poderão ser utilizadas.

As tecnologias de rede que têm surgido para serem utilizadas em ambientes residenciais podem ser divididas em dois grandes grupos: as que utilizam a interface ar – redes *wireless* – e as que utilizam uma ligação física – redes *wireline*.

Na escolha de uma tecnologia de rede para ser implementada dentro de uma *Smart Home*, existem três grandes factores: a facilidade de instalação, o ritmo de transmissão e o custo do equipamento. Seguidamente, na Tabela 1, apresentam-se algumas das tecnologias mais utilizadas. Note-se que a avaliação feita, a nível de facilidade de instalação, parte do princípio que apenas a rede eléctrica se encontra instalada em todas as divisões da casa.

TABELA 1 - TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM AMBIENTES RESIDENCIAS

| | Tecnologia | Meio de transmissão | Principais Características | | |
|----------|---------------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|----------|
| | | | Data rate | Facilidade de instalação | Custo |
| Wireline | Ethernet (802.3) | Cabo UTP | 10 Mb/s a 1Gb/s | Muito Complexa | Baixo |
| | | Fibra óptica | 1 Gb/s a 10Gb/s | Muito Complexa | Elevado |
| | Firewire/IEEE 1394 | Fibra óptica | 400 Mb/s a 3.2Gb/s | Muito Complexa | Elevado |
| | HomePNA | Linha telefónica | 300 Mb/s | Complexa | Alto |
| | Universal Powerline Association | Rede eléctrica | 200 Mb/s | Muito fácil | Alto |
| | HomePlug | Rede eléctrica | 14Mb/s a 200Mb/s | Muito Fácil | Alto |
| | G.hn | Linha telefónica | Acima de 1Gb/s | Complexa | N.d |
| | | Rede eléctrica | Acima de 1Gb/s | Muito Fácil | N.d |
| | | Cabo coaxial | Acima de 1Gb/s | Complexa | N.d |
| Wireless | WiFi (802.11) | Ar | 11 Mb/s – 248Mb/s | Fácil | Moderado |
| | ZigBee (802.15.4) | Ar | Até 250 Kb/s | Fácil | Elevado |
| | Bluetooth | Ar | 1Mb/s a 10Mb/s | Fácil | Baixo |
| | Z-Wave | Ar | 20kb/s a 250kb/s | Fácil | Alto |

Quando se analisa a Tabela 1, é possível concluir que as tecnologias devem ser escolhidas conforme a finalidade para que se propõem, tendo sempre em atenção a relação custo/benefício.

No domínio residencial, percebe-se que a solução ideal passa pela utilização de diferentes tecnologias dentro da mesma rede. Uma boa solução pode implicar, por exemplo, o uso de:

- uma rede X10 para monitorizar e controlar a iluminação da casa, visto que é uma aplicação que não necessita de grandes requisitos de débito e permite utilizar a instalação eléctrica já instalada;
- uma ligação por cabo coaxial para ligar a *Set-top box* da TV da sala ao computador que se encontra no escritório, uma vez, que permite um débito mais elevado de informação;
- uma ligação *wireless* para fazer a monitorização dos sensores que estão colocados junto das janelas da casa para detectar a intrusões.

Atendendo à necessidade de tentar interligar as redes *wireless* e *wireline* têm surgido diversos movimentos, como é o caso do FMCA¹ (*Fixed-Mobile Convergence Alliance*), que tem como principais objectivos: acelerar o desenvolvimento de produtos convergentes; fornecer uma plataforma de rápida aprendizagem e mútua para todos os seus membros; melhorar a experiência do utilizador e contribuir para a utilização de *standards* na indústria.

A necessidade de interligação, entre os dois tipos de redes, há já algum tempo que foi sentida na área da automação, o que levou à criação de algumas soluções que se apresentam na Tabela 2.

TABELA 2 - SOLUÇÕES QUE INTEGRAM REDES WIRELESS E WIRED

| Tecnologia | Meio de transporte | Principais Características | | |
|----------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|----------|
| | | Data rate (máximo) | Facilidade de instalação | Custo |
| X10 | Rede eléctrica | 20 bit/s | Complexa | Moderado |
| | Ar | 1200 bit/s | Fácil | Moderado |
| Insteon | Rede eléctrica | 2800 kbit/s | Variável | Elevado |
| | Ar | 2800 kbit/s | Fácil | Elevado |
| KNX | Linha telefónica | 9600 bit/s | Variável | Elevado |
| | Rede eléctrica | 1200 bit/s | Fácil | Elevado |
| | Ar | 16 384 bit/s | Fácil | Elevado |

As tecnologias apresentadas na Tabela 2 proporcionam, de facto, uma grande facilidade na interligação dos diversos dispositivos. Contudo, como o seu desenvolvimento foi orientado para a automação, usam baixos débitos de dados e, por isso, estas soluções não dão resposta a todas as necessidades de uma *Smart Home*, por exemplo, na transmissão de conteúdos multimédia em alta definição, onde o alto débito de transmissão de dados se torna num requisito fundamental.

Conclui-se assim que, numa solução para *Smart Homes*, é necessário recorrer às tecnologias apresentadas na Tabela 1, podendo, no entanto, para tudo o que seja

¹ <http://www.thefmca.com>

automação, utilizar-se, ao mesmo tempo, as tecnologias da Tabela 2. Assim, um possível modelo da rede de uma *Smart Home* é o que se ilustra na Figura 1, onde se integra diferentes tecnologias de rede.

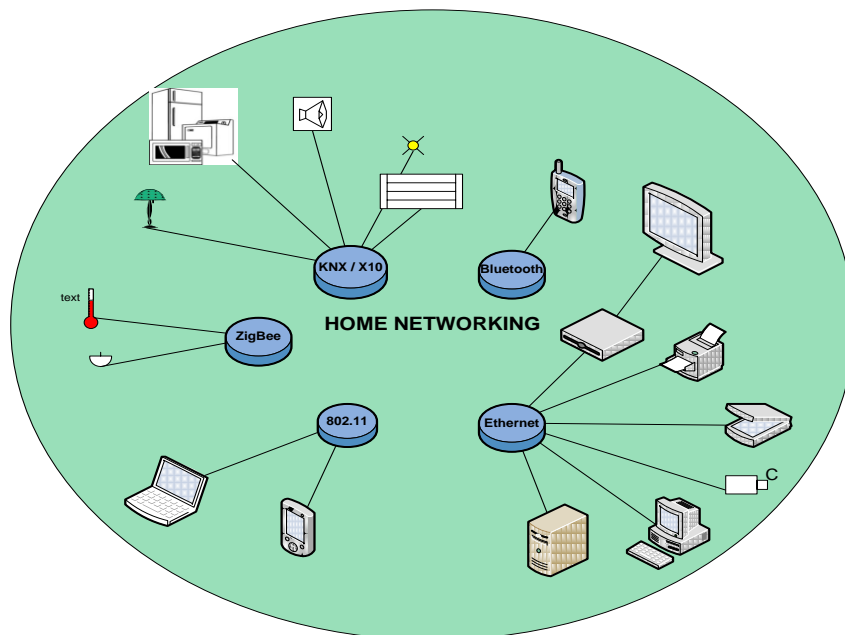


FIGURA 1 - MODELO DE UMA REDE PARA UMA *SMART HOME*

2.2 Soluções para *Smart Homes*

As soluções para *Smart Homes* existentes no mercado focam-se em três grandes pontos: intercomunicação, monitorização e controlo de dispositivos. Possibilita-se, assim, o fornecimento de serviços a nível de segurança, controlo, monitorização, automação e entretenimento.

Contudo, a maioria das soluções, como estão mais orientadas para a automação do que para a área de entretenimento, são frequentemente pouco apropriadas para o desempenho de algumas funções que enriquecem o ambiente de uma *Smart Home*, como é, por exemplo, a transmissão e gestão de conteúdos multimédia.

A nível de interfaces de utilizador, a maioria das soluções aposta nos *Remote Control*, *Touch Screen* e/ou *Web Portal*; este último também é utilizado como meio de acesso remoto ao sistema. Outra característica interessante que a maioria das soluções apresenta é a possibilidade de definir cenários, ou seja, personalizar o comportamento do sistema em cada espaço da casa, dado um conjunto de eventos. Por exemplo, a detecção da presença de uma pessoa no quarto pode fazer com que as luzes se acendam e o rádio se ligue, enquanto a presença de uma pessoa na sala de estar, pode apenas fazer com que as luzes se acendam. Ou seja, para o mesmo evento, a acção do sistema irá variar consoante o espaço.

Seguidamente, na Tabela 3 apresentam-se as principais características de algumas das soluções comerciais mais adquiridas/utilizadas, como o Control4², o Home Control Assistant³, o GIRA⁴ e o Home Seer⁵ e *open-source*, como o Linux MCE⁶ e o Mister House⁷.

TABELA 3 - SOLUÇÕES COMERCIAIS PARA SMART HOMES

| Solução | Tipo | Tecnologias de rede | Principais características | | Definição de Cenários |
|-------------------------------|--------------------|---|---|-----------------------------------|-----------------------|
| | | | Interfaces | Área de foco | |
| Control4 | Proprietária | Ethernet, 802.11, 802.15.4 | Touch Screen / Remote Control / Portal Web | Automação, Multimédia e Segurança | Sim |
| Home Control Assistant | Proprietária | X10, UPB, Insteon | Touch Screen / Remote Control / Portal Web | Automação | Sim |
| GIRA | Proprietária | KNX/EIB | Touch Screen / Single Controller / Portal Web | Automação e Segurança | Sim |
| Home Seer | Proprietária | X10, Z-Wave, Insteon, UPB, IR | Touch Screen / Single Controller / Portal Web / Voice recognition | Automação | Sim |
| Linux MCE | <i>Open-Source</i> | X10, KNX/EIB, Z-Wave, Insteon PLC, Ethernet | Touch Screen / Remote Control / Portal Web | Automação, Multimédia e Segurança | Sim |
| Mister House | <i>Open-Source</i> | X10 | Voice recognition / Portal Web | Automação | Sim |

Analisando a Tabela 3, conclui-se que, como se esperava, as soluções existentes procuram sempre reunir um conjunto de tecnologias, permitindo, assim, alargar o seu âmbito de aplicação.

A nível de interfaces, é importante referir que o Linux MCE possui já um módulo que permite utilizar o *Remote Control* da Nintendo *Wii*, o que o torna diferenciador em matéria de interfaces para o utilizador.

Outra particularidade do Linux MCE, que o diferencia das outras soluções, é o facto de permitir a definição de perfis adaptados às necessidades de cada utilizador, ou seja, o funcionamento do sistema aproxima-se mais do de uma *Smart Home* ideal.

A área de identificação de utilizadores e gestão e identificação de contextos é uma das que actualmente se encontram menos desenvolvidas em sistemas de *Smart Homes*. Isto deve-se à complexidade que toda a gestão de contextos pode acarretar e às dificuldades associadas à correcta identificação dos contextos. Esta dificuldade está bem patente em [2],

² <http://www.control4.com>

³ <http://www.hcatech.com>

⁴ <http://www.gira.com>

⁵ <http://www.homeseer.com>

⁶ <http://www.linuxmce.com>

⁷ <http://misterhouse.sourceforge.net>

onde se demonstra a volatilidade do dia-a-dia das pessoas, complicando significativamente a tarefa de identificar correctamente os contextos e agir em função dos eventos ocorridos.

2.3 Projectos em *Smart Homes*

Além das soluções anteriormente apresentadas, também têm surgido alguns projectos universitários e de investigação científica nesta área. Seguidamente, faz-se uma breve apresentação de alguns desses projectos:

- **Amigo**⁸ – Este projecto, apoiado por fundos europeus, tem como principal meta criar um *middleware* que permita a interligação dos diversos dispositivos existentes numa casa, dando, assim, a possibilidade de utilizar uma filosofia de serviços, na manipulação da tecnologia. Este projecto pretende ainda investir na exploração da identificação de contextos dentro de uma casa e na partilha de contextos entre casas vizinhas. Pretende-se assim proporcionar um maior bem-estar aos utilizadores.
- **AwareHome [3]** – Desenvolvido pelo Georgia Institute of Technology, tem por objectivo desenvolver um ambiente doméstico que é consciente das actividades dos habitantes e da localização dos seus pertences. Deste modo, pretende-se aumentar a qualidade de vida dos habitantes, mantendo-os independentes, mesmo numa idade avançada. O projecto tem uma natureza multidisciplinar e procura estudar os desafios sociais, tecnológicos e de desenho que são colocados no desenvolvimento de produtos para ambientes deste tipo. As actividades de investigação são desenvolvidas num laboratório residencial construído nas proximidades do instituto e instalado numa casa que funciona como um campo de ensaio.
- **Casa do Futuro**⁹ – Este projecto consistiu na criação de um espaço, actualmente sediado no Museu das Comunicações em Lisboa, onde é apresentada uma complexa solução de automação doméstica, que utiliza um conjunto de tecnologias de ponta, num ambiente seguro, confortável e futurista. Este espaço denominado como a “Casa do Futuro Interactiva”, foi inaugurado em Maio de 2003. Em 2004, o projecto passou a uma segunda fase, em que as tecnologias se tornaram mais *user friendly* e em que se passou a dar atenção à possibilidade de existirem utilizadores portadores de deficiência ou idosos; o projecto passou, então, a denominar-se “Casa do Futuro Inclusiva”. Este projecto foi desenvolvido

⁸ <http://www.amigo-project.org>

⁹ <http://www.casadofuturo.org>

por um consórcio de entidades públicas e privadas, entre as quais o Grupo Portugal Telecom.

- **DASH [1]** – Este sistema começou a ser desenvolvido no âmbito de uma dissertação de mestrado do Instituto Superior Técnico – TagusPark e propõe um *middleware* assente numa arquitectura distribuída. O sistema proposto neste projecto foi desenvolvido com base num paradigma de módulos, que viabiliza a incrementação de novas funcionalidades independentes e garante a interoperabilidade futura para os diversos dispositivos.
- **Future Home Project¹⁰** – O objectivo principal deste projecto, co-financiado por fundos europeus, é a criação de um modelo de *Home Networking* sólido, seguro e *user friendly*. Para tal, propõe-se a utilização dos protocolos IPv6 e *Mobile IP* em redes domésticas *wireless*. Este projecto pretende ainda: especificar e implementar protótipos de redes domésticas e de serviços, desenvolver novas funcionalidades na utilização da rede e verificar a viabilidade da utilização da solução por parte do utilizador.
- **Hydra Project¹¹** – Neste projecto pretende-se desenvolver um *middleware* baseado numa arquitectura orientada a serviços, na qual a camada de comunicação subjacente é transparente. Este *middleware* pretende incluir: o suporte a sistemas distribuídos, bem como as arquitecturas centralizadas; a segurança e uma plataforma que permita o desenvolvimento de aplicações utilizando o conceito de *model-drive*. Este projecto é co-financiado por fundos europeus e já conduziu a alguns resultados.
- **MavHome [4] [5]** – Projecto desenvolvido pela University of Texas at Arlington (UTA), que pretende simular cenários reais. Concretamente, este projecto visa criar um ambiente doméstico inteligente, em que os principais objectivos são a minimização dos custos de manutenção e maximização do conforto dos seus habitantes. Permite simular, por exemplo, a situação criada por uma pessoa que programa o seu despertador para ligar às 7:00, pretendendo que a sua casa ligue automaticamente o aquecimento, 15 minutos antes daquela hora, para aquecer o ambiente em que se move enquanto se dirige à casa de banho e que, quando chegue à cozinha, encontre o café pronto para o beber.
- **Oxygen Project [6]** – Este projecto foi desenvolvido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) e o seu objectivo principal é tornar a interacção do Homem

¹⁰ <http://future-home.tte.erve.vtt.fi>

¹¹ <http://www.hydrmiddleware.eu>

com a tecnologia tão simples quanto possível. Este projecto deu origem a um conjunto de aplicações que, através da intercomunicação entre diversos dispositivos, permitem ao utilizador interagir com os equipamentos usando uma linguagem natural.

- **Programa Casa do Futuro**¹² – A associação para o desenvolvimento da Casa do Futuro (Aveiro Domus), com o apoio da Universidade de Aveiro, tem desenvolvido este projecto, com o objectivo de criar uma casa futurista que tenha em atenção as necessidades dos seus habitantes. Este projecto pretende criar uma plataforma de comunicação entre os diversos ramos empresariais que participam na construção de uma casa, desde o sector da construção civil ao do mobiliário.
- **UMASS IHOME Project** [7] – Desenvolvido pela University of Massachusetts at Amherst (UMASS), é um projecto que explora a aplicação da tecnologia de sistemas multi-agente, ou seja distribuídos, para resolver o problema da gestão de um ambiente inteligente. Para validar as aplicações que são desenvolvidas dentro do âmbito deste projecto, existe a hipótese de ser utilizada uma casa *testbed* real.

Seguidamente, na Tabela 4, apresenta-se um resumo das principais características dos projectos acima referidos.

TABELA 4 – SOLUÇÕES DE PROJECTOS EM SMART HOMES

| Projecto | Arquitectura | Middleware | Ambiente de teste |
|----------------------------|--------------|------------|-------------------|
| Amigo | Centralizada | Sim | Real |
| AwareHome | Centralizada | Sim | Real |
| DASH | Distribuída | Sim | Real |
| Future Home Project | Distribuída | Sim | Real |
| Hydra Project | Distribuída | Sim | Real |
| MavHome | Centralizada | Não | Real |
| Oxygen Project | Distribuída | Sim | Real |
| UMASS IHome | Centralizada | Não | Simulado |

Analisando a Tabela 4, observa-se uma forte tendência que aponta para o uso de soluções de *middleware*. Este *middleware* fica responsável por manter a interoperabilidade entre os dispositivos e permitir a utilização de diferentes tecnologias, de forma transparente para as aplicações. Ou seja, facilita a criação de novas aplicações, uma vez que deixa de existir a preocupação inerente às especificidades de cada tecnologia.

¹² <http://www.aveirodomus.pt>

Relativamente ao tipo de arquitectura de rede, muitos investigadores defendem, nesta área, que a “inteligência” da rede de uma *Smart Home* deverá estar distribuída pelos diversos dispositivos da rede, ou seja, apostam numa arquitectura distribuída, que terá como grandes vantagens: uma maior resistência a falhas e uma maior facilidade de incremento de funcionalidades. Contudo, este tipo de filosofia obriga a que todos os dispositivos pertencentes à rede consigam partilhar informação e processá-la, o que leva a um incremento na complexidade de cada um dos dispositivos e também da rede, considerada no seu todo. Por este motivo, a maioria das soluções existentes que foram referidas na secção 2.2 apostam numa arquitectura centralizada.

Outra característica comum na maioria dos casos é a atenção dispensada aos testes práticos dos produtos, demonstrando, assim, uma forte preocupação em desenvolver aplicações que não sirvam apenas para suportar a apresentação de resultados de actividades de investigação teórica mas que, pelo contrário, sejam verdadeiramente funcionais.

2.4 DASH

O *middleware* DASH, que assenta numa arquitectura distribuída, foi desenhado para ser composto por um conjunto de módulos distribuídos por três camadas, como sugere a Figura 2. O DASH, ao assumir esta arquitectura modular, pretende tornar-se mais adaptável aos recursos existentes nos diversos dispositivos onde pode ser executado.

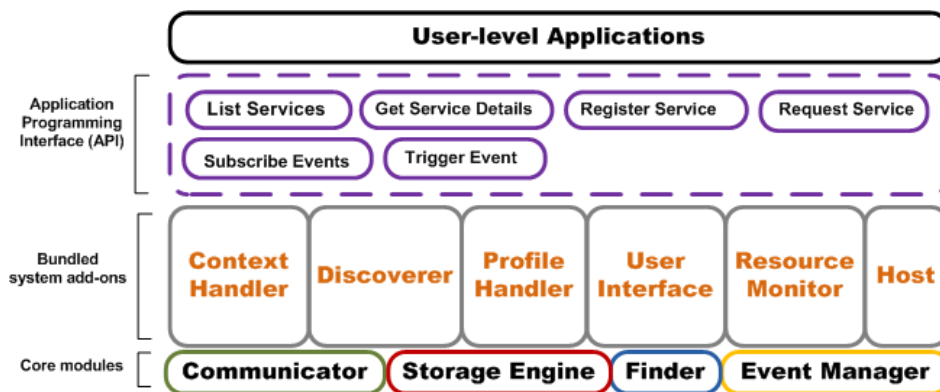


FIGURA 2 - DESENHO DA ARQUITECTURA DO DASH

Nesta arquitectura os módulos da camada core seriam responsáveis por:

- providenciar a interface adequada à interacção com cada serviço;
- permitir a partilha de informação de serviços, aplicações e utilizadores pelos diversos dispositivos da rede;
- facilitar a procura de serviços disponíveis na rede por parte dos utilizadores e das aplicações;

- fazer a gestão de todos os eventos ocorridos dentro do sistema.

A camada de *add-ons* seria composta pelos módulos que permitiriam criar um conjunto de novas potencialidades ao sistema como a identificação de contextos, a monitorização dos recursos disponíveis no sistema e a gestão da informação sobre os utilizadores e os dispositivos dentro do sistema.

Por fim, seria fornecida uma API (*Application Programming Interface*) à camada aplicacional, para que possam ser facilmente desenvolvidas aplicações que façam uso de componentes ou serviços que o próprio *middleware* forneça.

2.5 Discussão

Analisando o panorama actual na área de *Smart Homes*, nota-se que há um investimento cada vez maior em tecnologias e projectos, tanto no plano industrial como a nível de investigação científica. Como resultado desse investimento, constata-se que já exista um conjunto de soluções, bastante interessantes, que dão resposta a alguns dos problemas básicos que se levantam quando se pensa numa *Smart Home* ideal.

Estas soluções têm vindo a ser suportadas por um conjunto de tecnologias de rede que foram apresentadas na secção 2.1. Algumas destas tecnologias foram desenvolvidas, especificamente, para automação, como é o caso do X10, enquanto outras surgiram associadas ao processo evolutivo da Internet, como é o caso da Ethernet. Tendo em conta que as tecnologias desenhadas especificamente para automação não conseguem suportar a transmissão de dados em alto débito, fundamentais para conteúdos multimédia e Web, percebe-se que, na concepção de uma *Smart Home* ideal, se deve considerar a utilização de mais do que uma tecnologia na mesma solução.

Comparando as soluções e os projectos apresentados, respectivamente, nas secções 2.2 e 2.3, nota-se que eles ainda apresentam diferenças significativas, principalmente, no tipo de arquitectura, de interfaces com o utilizador e da funcionalidade de cada solução.

No que diz respeito às soluções apresentadas, nota-se que apostam numa arquitectura centralizada, onde existe um único servidor, que é responsável por todo o processamento das comunicações e pela gestão dos equipamentos envolvidos na transmissão em toda a rede. Os projectos, por outro lado, têm vindo progressivamente a tentar libertar-se deste tipo de arquitectura, apostando, cada vez mais, em sistemas distribuídos, que possibilitam uma maior resistência a falhas e modularidade. Contudo, este tipo de arquitectura distribuída implica uma maior complexidade, quer nos equipamentos,

quer na gestão de toda a rede, necessitando, por isso, de um maior amadurecimento para que surjam soluções estáveis e em forma de produtos concretos.

Muitos estudos, como por exemplo [8], [9] e [10], demonstram que a aceitação deste tipo de sistemas pelo público em geral depende fortemente do nível de usabilidade das interfaces para o utilizador. Isto é, procura-se que os produtos desenvolvidos possuam uma interface tão *user friendly* quanto possível. Nesta área, as soluções apresentadas apostam muito no tradicional *Remote Control*, no mais recente *Touch Screen* e também nos Web Portal ou aplicações específicas de gestão. A nível de projectos, as atenções recaem sobre sistemas que consigam interagir de uma forma mais natural com o utilizador, recorrendo, por exemplo, à utilização de voz ou de gestos [11].

Ainda a nível de interfaces que permitam fazer a gestão/definição do sistema, existe um projecto interessante, apresentado em [12], onde através de uma caneta com uma câmara na ponta e um papel, o utilizador tem a capacidade de definir alguns dos parâmetros do espaço onde se encontra no momento.

Existe ainda uma diferença significativa entre as soluções e os projectos apresentados, a nível do âmbito de aplicação. As soluções dividem-se muito entre a automação e o entretenimento, enquanto os projectos tentam interligar as duas áreas no mesmo produto.

Relativamente à funcionalidade dos sistemas, nota-se ainda uma certa inadaptação destes à definição e identificação dos contextos. Este facto tem origem na necessidade de identificar correctamente o utilizador e o local onde ele se encontra. Na tentativa de resolver melhor o problema da localização, no âmbito do projecto *AwareHome*, desenvolveu-se uma solução bastante interessante e algo inovadora, apresentada em [13], que consiste em utilizar a rede eléctrica instalada na casa, para conseguir fazer a localização das *tags* de identificação, bastando a instalação de pequenos equipamentos em duas tomadas da rede eléctrica.

É possível, assim, concluir que apesar de já existir muito trabalho desenvolvido na área de *Smart Homes*, ainda é necessário tornar estes sistemas mais “inteligentes” e mais *user friendly* do ponto de vista da instalação e da gestão dos dispositivos.

A utilização de sistemas de *Smart Homes* tem sido até agora muito limitada pelas dificuldades já referidas. No entanto, prevê-se que, no futuro muito próximo, o seu campo de aplicação se alargue e que o número de utilizadores cresça significativamente. Para confirmar este ponto de vista, salienta-se que muitas empresas do sector das telecomunicações têm apostado nesta área. Este é, por exemplo, o caso da Portugal

Telecom que tem vindo a disponibilizar cada vez mais serviços para as casas dos clientes, integrando nos seus produtos cada vez mais serviços de multimédia, de integração com consolas de jogos e recentemente com telemóveis. Por outro lado, a mesma empresa tenta, há alguns anos, promover um produto mais virado para a segurança da casa, que utiliza tecnologias de automação, mas que não tem vingado no mercado.

Com a massificação da distribuição de fibra óptica, a Portugal Telecom está a criar novos caminhos que poderão ser muito úteis em *Smart Homes*, uma vez que, com uma comunicação mais rápida entre estas, será possível criar novos cenários de utilização. Por exemplo, existirá a possibilidade de um utilizador residente numa determinada casa, onde tem os seus conteúdos multimédia, fazer a apresentação destes, noutra casa, onde é visitante.

Por fim, analisa-se o sistema DASH, que constitui a base deste trabalho e que propõe um *middleware* assente numa arquitectura distribuída. A solução proposta neste projecto constitui uma solução interessante do ponto de vista de implementação, uma vez que torna toda a rede mais moldável às necessidades dos utilizadores e, além disso, como no seu desenvolvimento foi utilizado um paradigma de programação por módulos, viabiliza a incrementação de novas funcionalidades, independentes das que existem, permitindo, assim, garantir a interoperabilidade dos diversos dispositivos e aplicações. No entanto, para que a solução se torne mais próxima da ideal, existe ainda algum trabalho a fazer, principalmente, a nível de interfaces para o utilizador, de funcionalidade e de identificação e gestão de contextos.

3 Arquitectura da Solução

Tendo em conta os objectivos propostos para este trabalho, concebeu-se a arquitectura lógica da solução que se pretende desenvolver; como ponto de partida, considerou-se a arquitectura da plataforma que se apresenta na Figura 3, que já tinha alguns módulos implementados. A arquitectura desta solução, que se apresenta na Figura 4, contempla a criação de novos módulos dentro do *middleware*, responsáveis pela identificação/gestão de contextos, pelos perfis de utilizador e pelas ligações de rede, e de um módulo externo responsável por garantir uma interface gráfica.

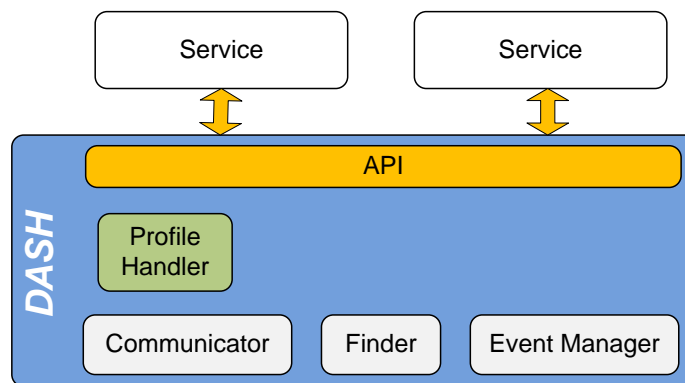


FIGURA 3 – ARQUITECTURA DA PLATAFORMA DASH EXISTENTE

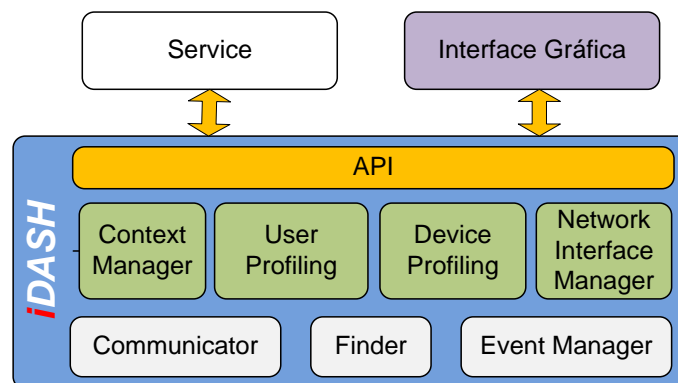


FIGURA 4- ARQUITECTURA LÓGICA DA SOLUÇÃO PROPOSTA

3.1 Identificação/Gestão de Contextos (Context Manager)

O módulo Identificação/Gestão de Contextos faz a recolha dos dados originados por eventos ocorridos, assegura o seu processamento – tendo em conta os parâmetros previamente definidos – e, em resposta, desencadeia as acções adequadas, como se ilustra

na Figura 5. Este módulo, ao detectar o evento “entrada de uma pessoa numa sala”, será capaz, por exemplo, de processar essa informação – tendo em conta o parâmetro “intensidade de iluminação da sala” – e de desencadear a acção “acender a luz”, se aquele parâmetro estiver abaixo de um determinado nível.

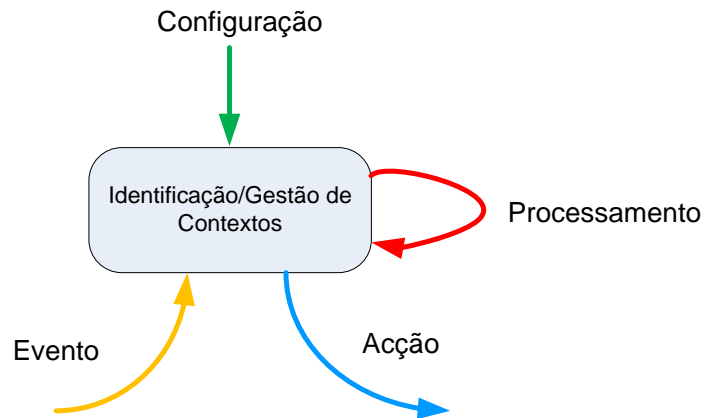


FIGURA 5 – FUNCIONAMENTO DO MÓDULO IDENTIFICAÇÃO/GESTÃO DE CONTEXTOS

Tendo em conta o modelo de funcionamento deste módulo e o facto de toda a solução ser assente numa arquitectura distribuída, torna-se evidente a necessidade de se satisfazerem os seguintes requisitos:

- Este módulo terá que existir em diversos nós da rede, de modo a garantir a robustez do sistema.
- A informação de configuração tem que se encontrar distribuída pelos diversos nós da rede.
- A informação sobre a rede tem que se manter actualizada, de modo a assegurar a fiabilidade das acções a desencadear após o processamento.

3.2 Perfis de Utilizador (User Profiling)

O módulo Perfis de Utilizador é responsável por ajustar os parâmetros, ou seja, o modo de actuação do sistema, conforme a presença de cada utilizador, individualmente ou em conjunto com outros.

A utilização deste módulo, ao interagir com o módulo de Identificação/Gestão de Contextos (que é responsável pelo desencadeamento de acções) – ver Figura 6 – é particularmente útil em situações como as que ocorrem, por exemplo, quando dois utilizadores partilham o mesmo escritório e pretendem impor diferentes níveis de intensidade luminosa no meio ambiente, consoante se observe a presença de um ou do

outro. No caso de se verificar a presença simultânea dos utilizadores, o sistema deverá adaptar-se às condições seleccionadas por aquele que seja detentor de privilégios sociais.

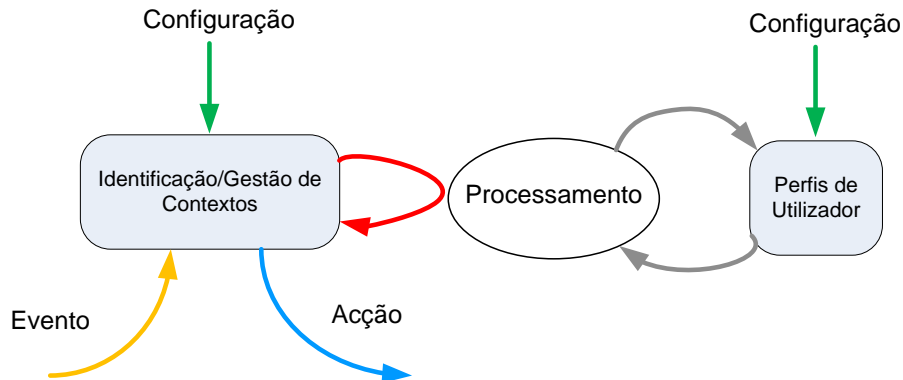


FIGURA 6 – FUNCIONAMENTO DO MÓDULO PERFIS DE UTILIZADOR

Na concepção deste módulo existe um conjunto de pressupostos que devem ser tidos em conta e que a seguir se enumeram:

- Pelo facto de não existir a necessidade de todos os dispositivos terem a informação do perfil de cada utilizador e pelas próprias limitações de alguns dos dispositivos que estão integrados no sistema, este módulo pode não estar presente em todos os dispositivos.
- Para que este módulo possa agir em conformidade com as definições actuais de cada um dos utilizadores, existe a necessidade de disseminar essa informação por todos os nós que possuam este módulo, de modo a garantir a coerência da informação dentro do sistema.
- Dado que o módulo de Identificação/Gestão de Contextos interage com o módulo de Perfis de utilizador, terá que existir um conjunto de funções acordadas entre ambas.

3.3 Perfis de dispositivos (Device Profiling)

Este módulo, para além de fazer a gestão de todos os serviços activos e inactivos que se encontram no dispositivo, faz também a caracterização do próprio dispositivo, a nível de recursos que possui e de informação que possa ser útil, como a arquitectura, o sistema operativo e as interfaces de rede de que dispõe.

3.4 Interface Gráfica

O módulo Interface Gráfica permite configurar os parâmetros que são utilizados pelo sistema, visualizar o estado dos dispositivos e serviços existentes e facilitar a utilização do

sistema. Este módulo terá que obedecer ao conjunto de requisitos que, a seguir, se especifica:

- Estar acessível pelo maior número de dispositivos que integram o sistema (exemplos: *smartphone*, computadores, set-top box, etc.);
- Estar acessível externamente via Web ou por SMS;
- Permitir a definição das preferências de cada um dos utilizadores;
- Controlar remotamente alguns dos dispositivos;
- Listar os serviços que se encontram espalhados pela rede;
- Permitir a configuração, activação e desactivação dos serviços disponíveis em cada um dos dispositivos;

Para facilitar a criação de diferentes interfaces, algumas específicas para um dado tipo de dispositivo – como, por exemplo, um GUI (*Graphical User Interface*) específico para a *Set-top box* ou uma aplicação para *smartphone* com o sistema operativo Android – faz sentido criar um módulo intermédio que forneça um conjunto de funções que poderão ser utilizadas pelas interfaces criadas, como se sugere na Figura 7.

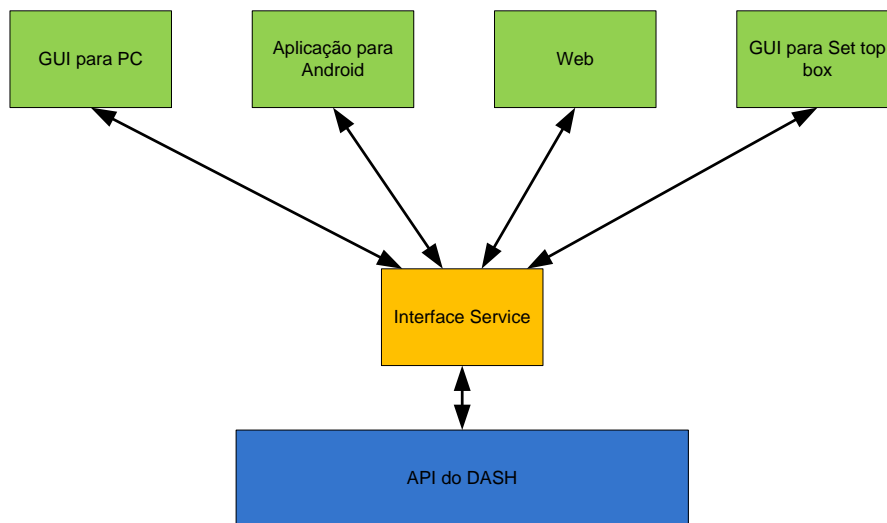


FIGURA 7 - FUNCIONAMENTO DO MÓDULO INTERFACE

A nível de requisitos, estas interfaces devem obedecer às habituais regras de fácil utilização e de funcionalidade.

De fácil utilização, na medida em que devem ser intuitivas e apelativas para o utilizador comum configurar e gerir todo um sistema deste género.

De funcionalidade, porque é fundamental que a interface consiga executar correctamente todas as funções, que vão do desencadeamento de uma determinada acção à apresentação de informações do sistema de um forma coerente.

3.5 Gestão de Ligações (Network Interface Manager)

O módulo “Gestão de Ligações” é responsável por seleccionar, em cada processo de transmissão, a tecnologias de rede que são usadas. Como podem existir dispositivos que utilizem mais do que uma tecnologia de rede, este módulo identificará as tecnologias disponíveis e fará a gestão das ligações físicas, de modo a garantir a utilização da tecnologia de rede mais adequada a cada serviço.

Seguidamente, na Figura 8, apresenta-se o modelo arquitectural de um sistema tipo, onde existem diversos nós que possuem a solução instalada e que estão ligados a diversos dispositivos. Podem existir nós que suportam várias tecnologias de rede, tanto nas comunicações com os dispositivos que a eles se ligam, como nas que podem estabelecer com outros nós. O número e o tipo de tecnologias suportadas podem variar, de nó para nó.

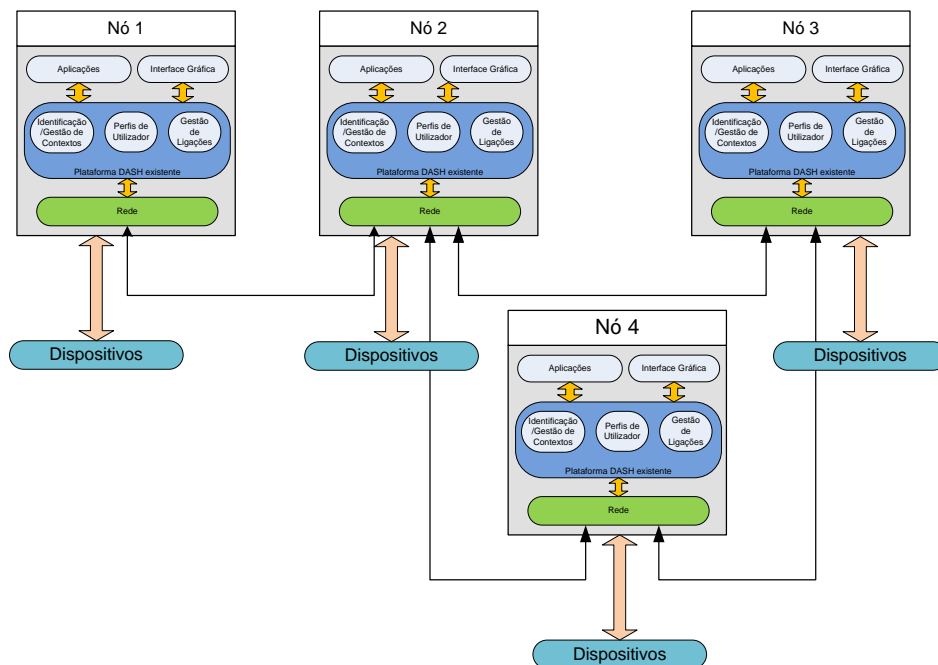


FIGURA 8 - MODELO ARQUITECTURAL DE UM SISTEMA

Este módulo, ao caracterizar as diversas ligações de rede que cada dispositivo possui, permite que a escolha da tecnologia usada na execução de um determinado serviço seja a mais adequada. É ainda responsável por fazer o *handover* entre tecnologias de comunicação, caso seja necessário.

Na figura 7, elucida-se o funcionamento deste módulo. Basicamente, o módulo será questionado sempre que se processe uma acção e, em resposta, indicará qual é a interface de rede que deverá ser utilizada. Este módulo necessita de possuir informação actualizada

sobre o estado das ligações de rede disponíveis nos dispositivos, assim como informação relativa aos parâmetros que foram definidos.

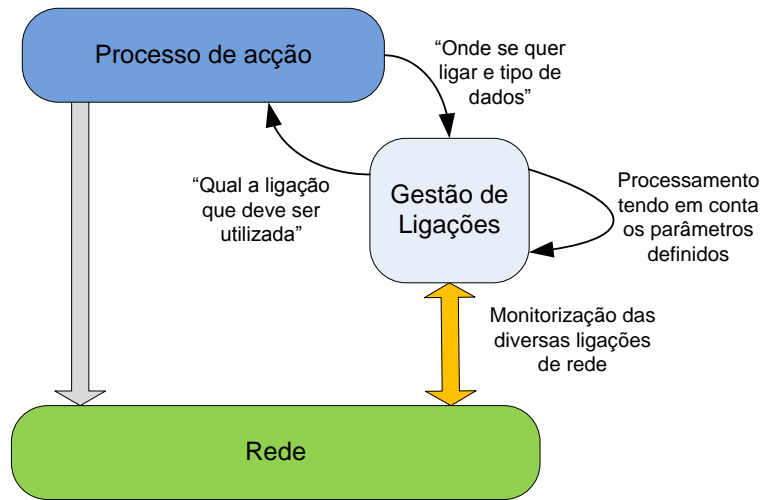


FIGURA 9 – FUNCIONAMENTO DO MÓDULO GESTÃO DE LIGAÇÕES

4 Implementação

Neste capítulo, apresentam-se as soluções de implementação propostas para cada um dos módulos, cujos conjuntos de requisitos anteriormente se especificaram. Para além das soluções finais propostas para os diferentes módulos, discutem-se também outras hipóteses que foram consideradas durante a sua construção.

4.1 Perfis de Utilizadores e Perfil de Dispositivo

O módulo Perfis de Utilizador e módulo Perfil de Dispositivo, têm em comum o facto de ambos guardarem informação do sistema, que tem que estar actualizada e coerente em todos os nós do sistema, para que, quando se processe um determinado evento a acção tomada seja a correcta. O problema do acesso à informação de forma distribuída pode ser alvo de diversas abordagens, como a seguir se discute.

Poderia ser criado um sistema de ficheiros distribuídos, como o que foi inicialmente pensado para o DASH com a utilização do Hydra File System[14], onde seria guardada toda a informação quer dos utilizadores quer do estado do sistema. Contudo, esta abordagem acarreta consigo toda a complexidade inerente a um sistema de ficheiros deste tipo, o que pode impedir a sua utilização em dispositivos como telemóveis e *set-top boxes*, com recursos limitados. Além disso, para que a informação persista de forma coerente no sistema, este tipo de solução está sempre limitado a um número mínimo de nós presentes.

Uma outra abordagem poderia consistir num repositório centralizado, o que reduziria o nível da complexidade de todo o sistema, uma vez que tornava todo o processo de actualização mais simples e estaria a correr numa única máquina com requisitos apropriados. Esta solução vai contra o principal objectivo deste sistema, ser distribuído.

Atendendo à quantidade de informação que é utilizada neste sistema, desenhou-se uma solução mais simples que as anteriores. Esta solução consiste basicamente na criação de dois ficheiros em cada nó (um com informação sobre os utilizadores e outro com a do dispositivo); estes ficheiros são actualizados conforme os eventos que ocorrem no sistema, mantendo, assim, a coerência da informação e podem ser consultados por todos os outros nós da rede, quando necessário. Com esta solução, mantém-se toda a informação distribuída e acessível a qualquer dispositivo que se encontre na rede.

Por uma questão prática e pensando na possível utilização destes mesmos ficheiros por outros sistemas, optou-se por utilizar um standard a nível do tipo de ficheiros, o XML

(*eXtensible Markup Language*). Com este tipo de ficheiros, tornou-se também mais fácil a sua leitura, em *debug*.

Assim, o sistema passou a contar com dois ficheiros XML¹³ (o XMLUser e o XMLDevice) em cada um dos dispositivos, como ilustra a Figura 10.

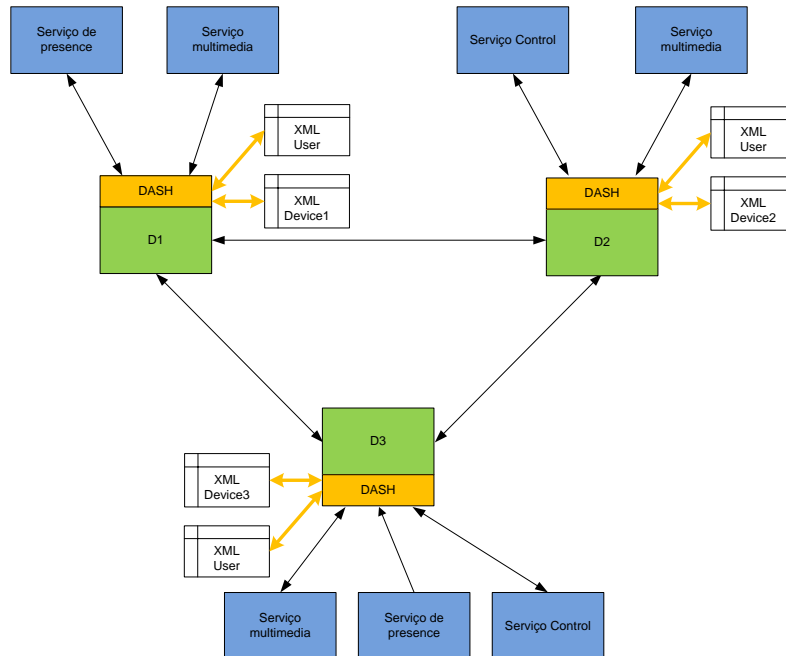


FIGURA 10 - ARQUITECTURA DA PLATAFORMA COM OS FICHEIROS DE PROFILING

No XMLDevice, encontram-se descritos os serviços que esse dispositivo tem, assim como os estados dos mesmos (inactivos ou activos e com que opções) e as especificações do próprio dispositivo (Sistema Operativo, Tipos de Interfaces de rede, etc.). Este XML é gerado quando a plataforma DASH é inicializada.

No XMLUser é guardada toda a informação dos utilizadores do sistema, como por exemplo, nome, número de telefone, email, *tag rfid* associada e parâmetros de configuração, como, por exemplo, a intensidade da luz desejada e/ou o conteúdo multimédia preferido.

Para gerir estes ficheiros, assegurando que o sistema se mantém consistente, é necessário que a informação seja fiável em todos os nós da rede. Para tal, foram criados dois módulos, dentro do *middleware* DASH (o UserProfiling e o DeviceProfiling) que gerem a informação dos utilizadores e dos dispositivos, como se sugere na Figura 11.

Estes dois módulos funcionam de modos distintos. Enquanto o UseProfiling apenas acede ao ficheiro UserXML para fazer leituras ou alterações e é responsável por fazer a

¹³ <http://www.w3.org>

transmissão das actualizações que ocorreram aos outros nós, o módulo DeviceProfiling faz a caracterização do nó, a nível dos seus recursos, identificando, por exemplo, o seu sistema operativo, a sua arquitectura, as interfaces de rede disponíveis e os serviços (inactivos e activos) que estão disponíveis. Este módulo assegura a gestão da informação e a actualização de toda esta informação que é guardada no ficheiro XMLDevice, registando, por exemplo, o estado activo/inactivos dos serviços.

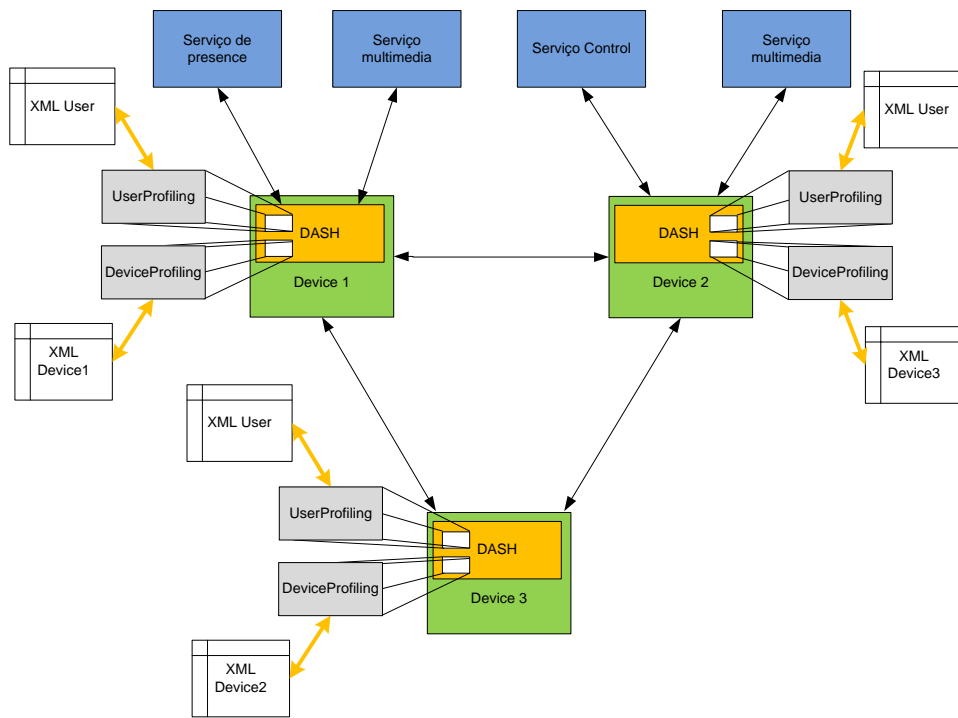


FIGURA 11 - ARQUITECTURA DA PLATAFORMA COM OS MÓDULOS DE PROFILING

Ao criar estes dois módulos específicos para a gestão da informação, torna-se possível que, mesmo que, no futuro seja utilizada outra estrutura para gerir esta informação, a alteração seja mais facilmente implementada, uma vez que já se encontram criadas as funções básicas, sendo completamente transparente para o resto do sistema em que estrutura de dados está a ser guardada a informação.

4.2 Módulo de Identificação/Gestão de contextos

O módulo de Identificação/Gestão de Contextos, tal como já foi referido na especificação da arquitectura, está muito dependente dos módulos Perfis de Utilizador e Perfis de Dispositivos, para que possa tomar decisões correctas, tendo em conta as definições de cada utilizador (*tag* RFID, luminosidade preferida, *playlist*, etc.) e o estado actual do sistema (serviços activos/inactivos em cada dispositivo, estado dos serviços, etc.).

Antes de se ter implementado este módulo, o funcionamento do sistema era coerente com a Figura 12. O evento gerado por um determinado serviço (por exemplo a presença de um utilizador) era enviado em *broadcast* para todos os outros serviços presentes no sistema, e cabia a cada um dos serviços desencadear as acções respectivas (por exemplo acender a luz).

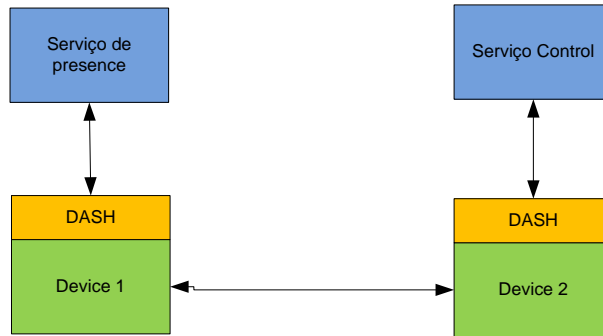


FIGURA 12 – ANTIGO MODELO DE FUNCIONAMENTO

Neste modelo de funcionamento o processamento do evento ocorrido estava no próprio serviço de recepção. Este modo de funcionamento é adequado para sistemas pouco complexos, mas acrescenta dificuldades quando os sistemas envolvem muitos nós em que, por vezes, co-existem serviços com funções semelhantes. Além disso, ao colocar a complexidade de toda a identificação do contexto dentro dos próprios serviços, compromete-se o desenvolvimento de novos serviços, uma vez que estes terão sempre que ser compatíveis com os já existentes.

A solução adoptada passou, então, pela criação de um novo módulo, dentro do *middleware* DASH, que, ao detectar um evento ocorrido nos serviços que estão registados localmente, identifica o contexto com base na informação fornecida pelos módulos Perfis de Utilizador e Perfis de Dispositivos e envia um conjunto de mensagens em *broadcast* para que os serviços disponíveis no sistema se adaptem a este evento. Este módulo encontra-se presente nos diferentes nós do sistema, como se ilustra na Figura 13.

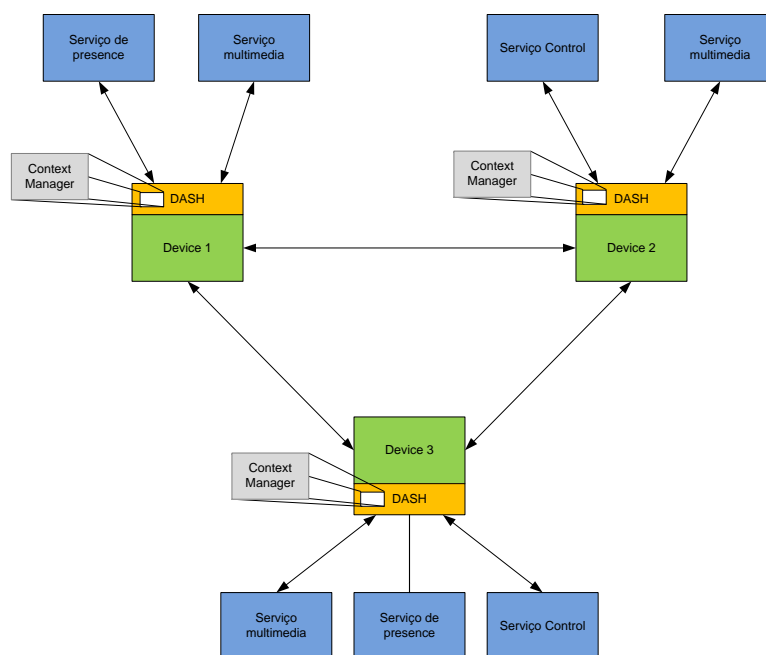


FIGURA 13 - ARQUITECTURA DA SOLUÇÃO COM O MÓDULO *CONTEXT MANAGER*

Com esta nova filosofia de funcionamento do sistema, o número de mensagens que são transmitidas pela ocorrência de um dado evento cresceu significativamente. Contudo, o impacto negativo deste crescimento não é significativo, se tivermos em conta o tamanho das mensagens (tipicamente, inferior a 200 B), a periodicidade das mesmas e a largura de banda disponível em ambientes domésticos (tipicamente, da ordem dos Mbps); acrescem ainda as vantagens associadas à simplicidade dos serviços que se tornam meros receptores de “ordens” e/ou geradores de eventos. Ao simplificar a estrutura dos serviços, torna-se possível criar novos serviços que possam correr em dispositivos com menores recursos, uma vez que não necessitam de realizar processamentos complexos.

4.3 Interface Gráfica

Este módulo assume particular relevância no âmbito do presente trabalho, porque o sistema que constituiu o ponto de partida para seu desenvolvimento era caracterizado pelo facto de ser algo complexo e de, conseqüentemente, apresentar dificuldades de utilização e/ou gestão para o utilizador comum. Com este novo módulo pretende-se simplificar a criação de novas interfaces com os sistemas, nomeadamente, interfaces gráficas.

Para tal, desenvolveu-se um módulo, intitulado InterfaceService, que fornece um vasto conjunto de funções, como, por exemplo, a activação ou inactivação de um serviço, a informação sobre os serviços existentes no nó e a informação sobre utilizadores registados no sistema.

Com este módulo criado torna-se muito mais simples a criação de novas interfaces assentes nas funções já desenvolvidas. Seguidamente serão apresentados cada uma das abordagens exploradas.

4.3.1 GUI para Computador

Na criação deste GUI foi utilizada a biblioteca TkInter de Python¹⁴. Esta biblioteca, para além de constituir um standard para a criação de GUIs em Python, pode ser utilizada nos diferentes sistemas operativos. Este GUI pode ser corrido em mais do que uma máquina ao mesmo tempo, no mesmo sistema. Na Figura 14 representa-se uma imagem com um conjunto de janelas pertencentes ao GUI desenvolvido. Nesta figura, visualiza-se o menu onde se apresentam os perfis dos diferentes utilizadores e o menu onde aparecem listados todos os serviços disponíveis nos diversos dispositivos do sistema.

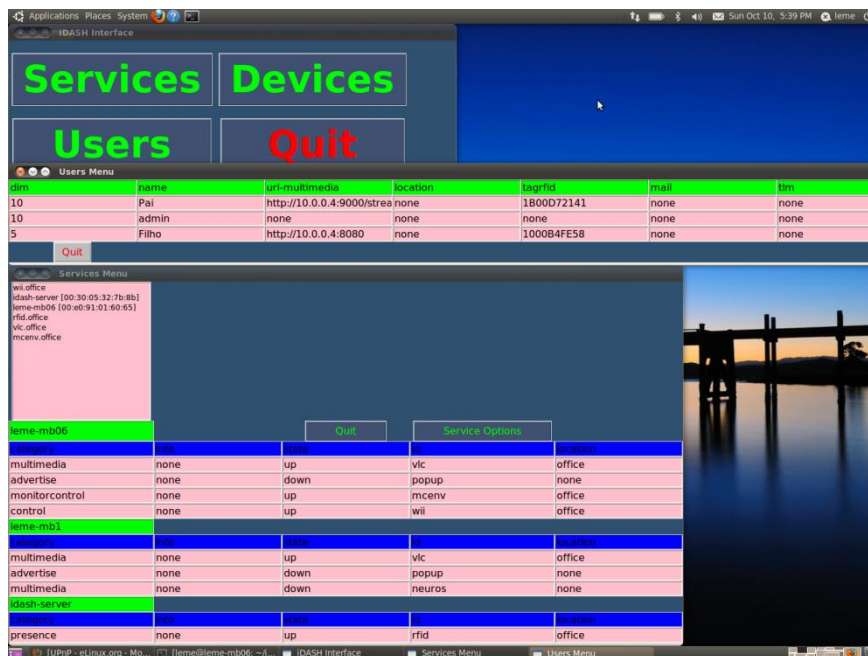


FIGURA 14 - INTERFACE GUI

4.3.2 Interface Web

Esta interface Web tem uma grande vantagem em relação à anterior, uma vez que é cada vez maior o número de dispositivos equipados com um *Web Browser*. Basta olhar para os actuais *smart-phones* (como os iPhone's e os Android's), as consolas de jogos (como a PlayStation e a Wii) ou os computadores que a grande maioria das pessoas utilizam diariamente. Desenvolveu-se uma interface Web que permite desencadear acções

¹⁴ www.python.com

específicas, como ligar/desligar a luz existente num determinado local, e que também pode activar/desactivar serviços e configurar a informação existente no sistema sobre os utilizadores.

Na Figura 15 apresenta-se uma imagem desta interface.



FIGURA 15 – INTERFACE WEB

4.3.3 Wii Mote

Esta interface foi desenvolvida, de modo a tentar potenciar o comando da consola Wii, uma vez que o mesmo possui um acelerómetro 3D e um sensor óptico IR (*Infrared*) que pode ser utilizados para identificar movimentos do utilizador e teclas de pressão que podem ser úteis na configuração de um determinado dispositivo ou serviço.

Desenvolveu-se assim um serviço de controlo que permite, através de movimentos emitidos ao comando, ligar a luz do local onde este se encontra e utilizar as teclas para configurar, por exemplo, a intensidade da luz e a activação/desactivação dos serviços multimédia existentes no local.

5 Avaliação da solução

Para comprovar que o *middleware* que foi construído consegue suportar várias aplicações que podem ser desenvolvidas sobre si, criou-se um conjunto de serviços e testou-se o seu funcionamento.

Na Figura 16, apresenta-se o ambiente real de teste, que foi criado e se encontra montado nas salas 1.4.14 e 1.4.16, no pólo do TagusPark do Instituto Superior Técnico.

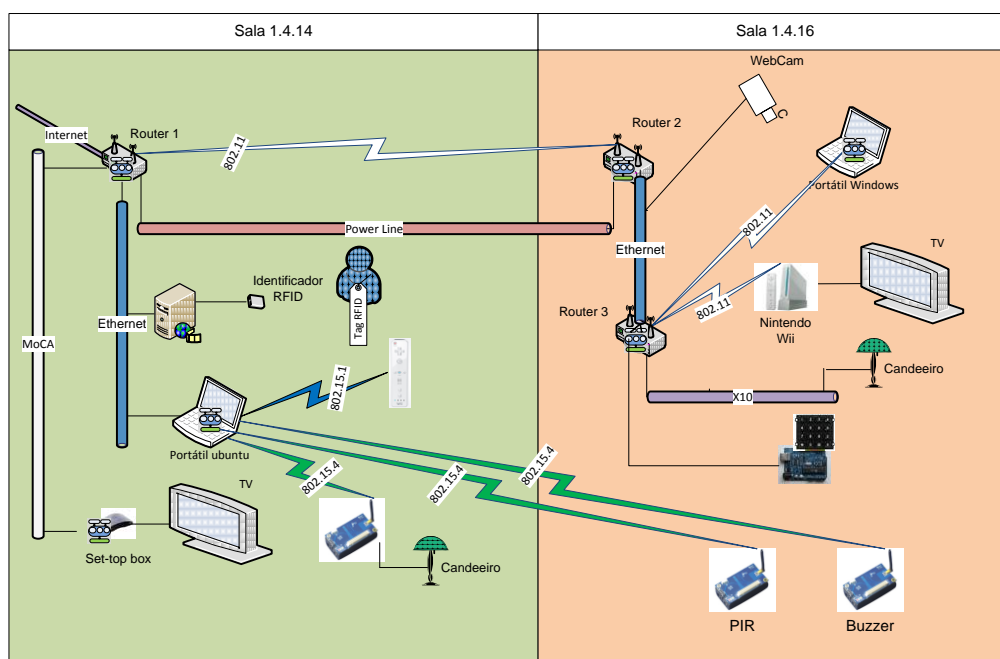


FIGURA 16 - AMBIENTE DE TESE

Como está evidenciado na figura, este ambiente conta com um conjunto vasto de tecnologias que vão desde as vulgares Bluetooth, Ethernet e 802.11, às menos conhecidas 802.15.4, MoCA, X10 e PowerLine.

A nível de equipamento, foram utilizados:

- três routers, dois RouterBoard¹⁵ 600A e um RouterBorad 433UAH, que utilizavam os sistemas operativos Debian e OpenWRT, respectivamente;
- três computadores, dois com o sistema operativo Ubuntu e um com o Windows XP;
- dois televisores LCD, um ligado a uma consola Wii e o outro ligado a uma set-top box Neuros OSD;

¹⁵ www.routerboard.com

- uma rede de sensores em 6LOWPAN, composta por quatro nós (dois do tipo MICAZ, um com a função de *sink* e o outro como controlador de um candeeiro e dois do tipo IRIS, um como PIR (*Passive Infrared Sensor*), e outro como *Buzzer*);
- um Arduino¹⁶;
- um leitor de RFID;
- uma WebCAM CISCO;
- dois candeeiros;
- um HTC Nexus One.

Com base neste conjunto de equipamentos, desenvolveram-se os serviços que se referem na Tabela 5.

TABELA 5 - LISTA DE SERVIÇOS IMPLEMENTADOS

| Serviço | Categoria | Funcionamento |
|----------------|-----------------|--|
| RFID | <i>Presence</i> | Ler as TAG's RFID que passam pelo leitor, gerando em seguida um evento do tipo <i>presence</i> , contendo o código lido da TAG. |
| ARDUINO | <i>Presence</i> | Ler o teclado que está ligado ao Arduino e identificar a tecla que foi premida, gerando, em seguida, um evento do tipo <i>presence</i> , contendo o algarismo correspondente à tecla. |
| POPUP | Advertise | Estar à escuta de mensagens do tipo <i>advertise</i> e, assim que receba uma, gerar uma janela de <i>pop up</i> no dispositivo com alertas sobre o sistema, como, por exemplo a entrada de um determinado utilizador num dado espaço. |
| VLC | Multimedia | Estar à escuta de mensagens do tipo multimédia. Quando recebe uma mensagem do tipo ON, inicia o VLC ¹⁷ com o conteúdo multimédia que vem na mensagem; se a mensagem é do tipo OFF, desliga o VLC. |
| NEUROS | Multimedia | Estar à escuta de mensagens do tipo multimédia. Quando recebe uma mensagem do tipo ON, inicia o vplayer existente na step-top com o conteúdo multimédia que vem na mensagem; se a mensagem é do tipo OFF, desliga o vplayer. |
| LAMPA2 | Control | Estar à escuta de mensagens do tipo control. Quando recebe uma mensagem do tipo ON, liga a luz com a intensidade que vem na mensagem; se a mensagem é do tipo OFF, desliga a luz. Este serviço utiliza uma rede X10. |
| MCENV | MonitorControl | Este serviço utiliza uma rede de sensores e tem diversas funções: Estar à escuta de mensagens do tipo control. Quando recebe uma mensagem do tipo ON, liga a luz com a intensidade que vem na mensagem; se a mensagem é do tipo OFF, desliga a luz. Enviar mensagens do tipo <i>presence</i> , caso o PIR detecte algum movimento. Permite ainda receber mensagens relativamente à luminosidade e temperatura dos espaços |

¹⁶ www.arduino.cc

¹⁷ www.videolan.org

5.1 Testes de desempenho

Para ter uma ideia da performance do módulo Identificação/Gestão de Contextos, nos diferentes equipamentos existentes no ambiente de teste, desenvolveu-se um gerador de eventos do tipo presença, com valores aleatórios, que permitiu colocar o módulo a correr sobre *stress*. Este gerador de eventos enviou cinco mil eventos para o sistema a uma velocidade média de 140 eventos por segundo. Foi então medido o tempo que este demorava a processar cada evento no RouterBoard 433UAH e nos computadores com os sistemas operativos Ubuntu e Windows XP, e obtiveram-se os dados que permitiram construir os gráficos que se apresentam na Figura 17, na Figura 18 e na Figura 19.

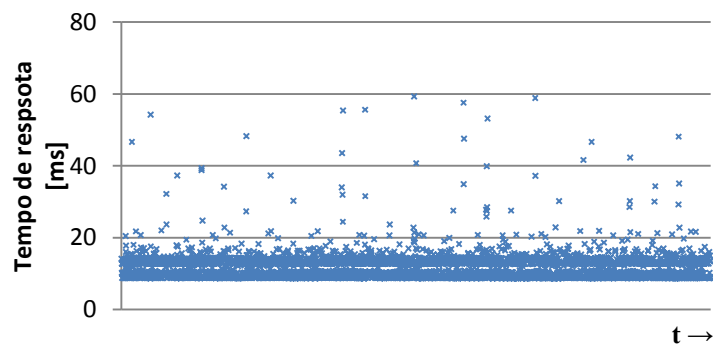


FIGURA 17 - COMPUTADOR COM SISTEMA OPERATIVO UBUNTU

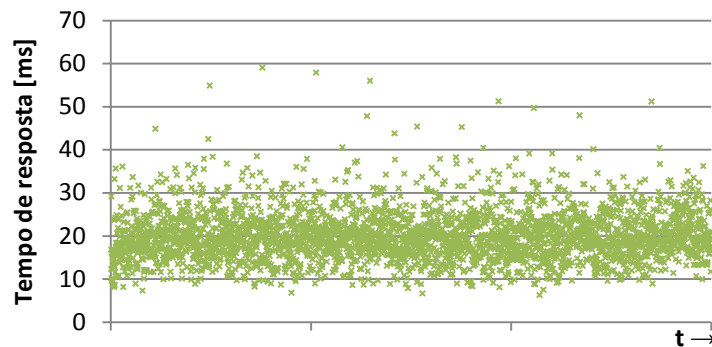


FIGURA 18 - COMPUTADOR COM O SISTEMA OPERATIVO WINDOWS XP

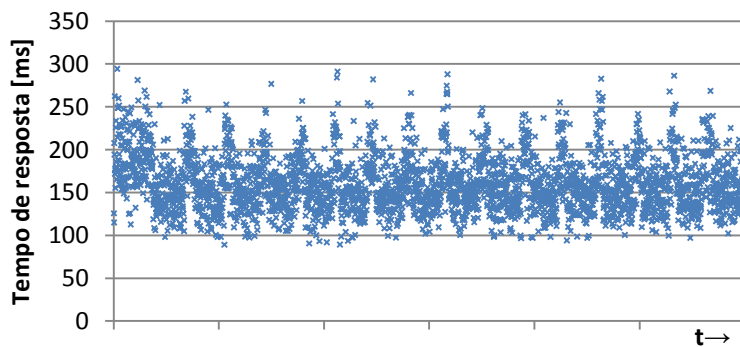


FIGURA 19 - RB433 COM O SISTEMA OPERATIVO OPENWRT

Analisando os gráficos obtidos e os valores da Tabela 6, nota-se que o atraso é significativamente maior no equipamento RB433, tal como era expectável, uma vez que se trata de um sistema embebido com menos recursos que um computador.

TABELA 6 - MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

| | Computador (Ubuntu) | Computador (Windows XP) | RB433 (OpenWRT) |
|--------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|
| Média [ms] | 12,56 | 19,37 | 161,54 |
| Desvio Padrão [ms] | 4,38 | 6,67 | 34,19 |

Contudo, estes dados não são inteiramente conclusivos quanto à performance do módulo e, por isso, para tentar perceber qual é a taxa de mensagens máxima a que o sistema consegue responder, fez-se outro teste que consistiu em enviar mil mensagens, a ritmos diferentes, e em medir o tempo decorrido entre o envio do evento e o fim do processamento do mesmo pelo módulo Context Manager. Assim, obteve-se o gráfico da Figura 20.

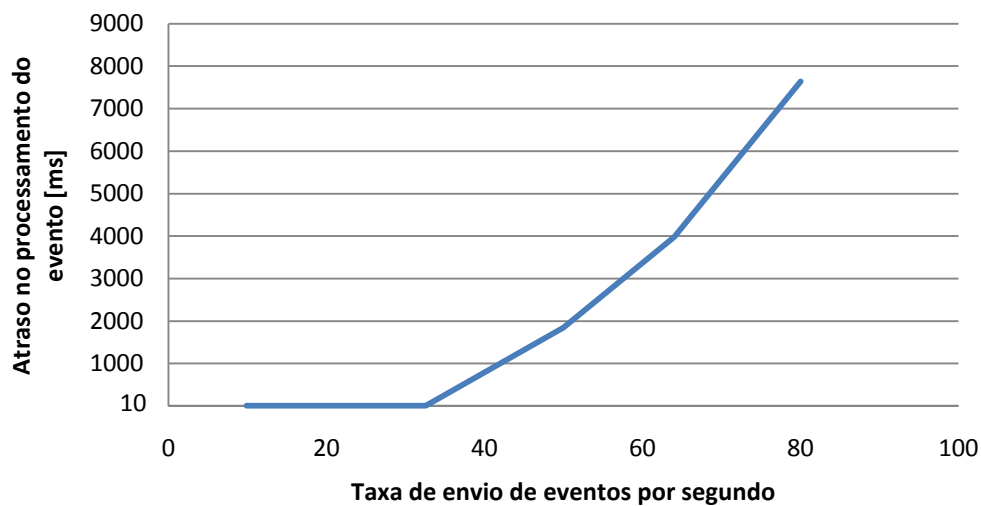


FIGURA 20 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DO MÓDULO CONTEXT MANAGER

Analisando este gráfico, descobre-se que, a partir de 30 eventos por segundo, o sistema passa a ter uma resposta mais lenta. Tendo em conta o ambiente doméstico ao qual o sistema se destina, este é suficiente, pois raras serão as situações em que os eventos possam ocorrer com uma taxa tão elevada. Mesmo que tal venha a acontecer numa situação de pico, os eventos não são perdidos, mas apenas colocados em fila e processados posteriormente.

5.2 Testes de Usabilidade

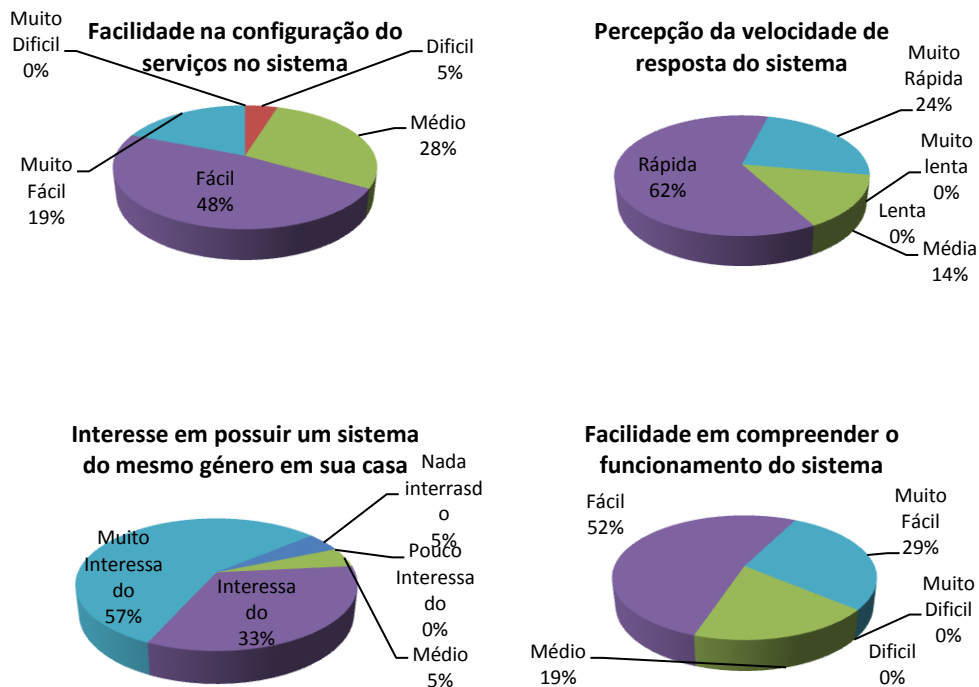
Para tentar perceber o grau de interesse que sistema desenvolvido pode suscitar, fez-se um pequeno inquérito a um conjunto de vinte e um alunos do Instituto Superior Técnico que interagiram com o ambiente de teste.

Na interacção, os utilizadores tiveram que configurar os diferentes serviços disponíveis no sistema, utilizando interfaces disponíveis nos vários dispositivos (Wii Mote e Web Interface via Nexus One, Wii e computador).

No inquérito, considerou-se o seguinte conjunto de métricas:

- Facilidade em compreender o funcionamento do sistema
- Facilidade na configuração dos serviços disponíveis no sistema
- Percepção da velocidade de resposta do sistema
- Interesse em possuir um sistema deste género em sua casa
- Interface Wii Mote
- Interface Web

Os resultados obtidos do inquérito apresentam-se na seguinte Figura 21.



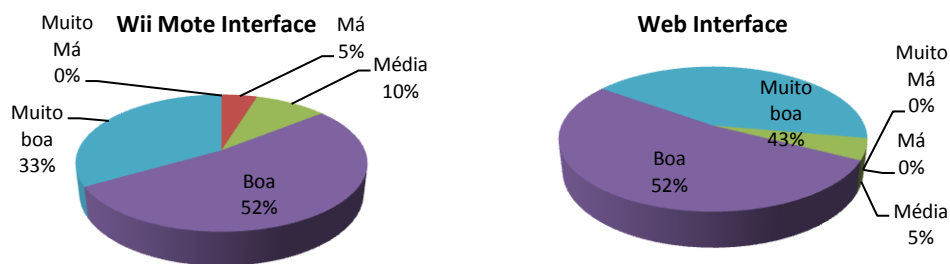


FIGURA 21 - RESULTADOS DOS INQUERITOS

Analisando os gráficos obtidos, conclui-se que, a maioria dos utilizadores compreendeu facilmente o funcionamento do sistema e que este apresenta uma boa velocidade de resposta aos eventos ocorridos. Por outro lado, a configuração dos serviços foi o ponto que menos agradou aos utilizadores e que lhes suscitou mais dúvidas.

Relativamente às interfaces, regista-se que as versões testadas, embora fossem muito simples, demonstraram ser bastante atractivas e funcionais para os utilizadores, tendo-lhes estes atribuído, maioritariamente, as classificações de “boa” ou “muito boa”.

Por fim, ficou patente que uma grande percentagem dos utilizadores envolvidos no teste, estão bastante interessados em possuir um sistema deste género. Embora esta conclusão possa ser condicionada pelo facto de todos os elementos envolvidos nos testes serem, à partida, sensíveis à inovação tecnológica – pois são todos estudantes do IST – considera-se que os resultados do teste são bastante positivos.

6 Conclusões/Trabalho Futuro

A área de *Smart Homes* tem vindo a ser, ano após ano, mais explorada, tanto na indústria como em projectos de investigação científica. Tal facto tem levado ao desenvolvimento de um enorme número de soluções. No entanto, ainda existem algumas lacunas ao nível da interoperabilidade entre os dispositivos, da abrangência das soluções e da facilidade de gestão por parte dos utilizadores ditos comuns.

Este trabalho teve como principal objectivo dar continuidade ao projecto DASH, já anteriormente desenvolvido numa dissertação de mestrado no Instituto Superior Técnico, que propõe uma solução assente num *milddeeware* que permite a intercomunicação e a gestão dos dispositivos de uma rede em espaços inteligentes como as *Smart Homes*.

O DASH, quando comparado com os restantes projectos e soluções concorrentes, apresenta um conjunto de aspectos que o tornam numa boa proposta, uma vez que permite uma boa interoperabilidade entre os dispositivos e faculta os meios para moldar a rede às necessidades do ambiente em que se insere.

Com o presente trabalho, pretendeu-se tornar a plataforma desenvolvida mais funcional e melhorar o seu grau de usabilidade para os utilizadores. Para tal, arquitectou-se uma solução que dotou a plataforma com um conjunto de novas funcionalidades, interfaces para o utilizador, meios de identificação/gestão de contextos – tendo em conta os perfis dos utilizadores e os serviços existentes nos diferentes dispositivos – e um módulo de gestão de ligações.

Desenvolveram-se vários módulos para a plataforma, que a seguir se nomeiam:

- *Context Manager* (que faz a identificação/gestão de contextos).
- *Device Profiling* (que identifica e gere os recursos e os serviços disponíveis nos diferentes dispositivos).
- *User Profiling* (que gere os perfis de cada utilizador).
- *Interface Service* (que fornece um conjunto de funções que facilitam a criação de novas interfaces com o sistema).

Desenvolveram-se ainda um conjunto de módulos de interface: GUI para computador, Web Interface e Wii Mote.

Para avaliar o sistema, criou-se um ambiente de teste, com um vasto conjunto de equipamentos, onde foi possível implementar um conjunto de serviços, que permitiram a sua validação funcional. Fizeram-se ainda testes de *performance*, que permitiram concluir

que o sistema tem um comportamento bastante satisfatório, tendo em conta o ambiente para que foi desenhado.

Por fim, a usabilidade do sistema foi testada com recurso a um conjunto de utilizadores que interagiu com o mesmo e que, posteriormente, respondeu a um pequeno inquérito. Com base nos resultados deste, concluiu-se que o sistema desenvolvido, assim como as suas interfaces, despertou interesse na grande maioria dos utilizadores.

Analisando os resultados obtidos com a realização deste trabalho, conclui-se que os objectivos propostos foram alcançados, pois aproximou-se a plataforma DASH (já existente) de uma solução acessível ao utilizador dito comum e fizeram-se testes de validação de resultados.

Ao fazer o balanço do trabalho, foram identificadas algumas questões que podem ser objecto de trabalho futuro, tendo em vista a evolução da solução que aqui se propôs:

- a integração da plataforma com outros sistemas;
- a integração de novas tecnologias, como o DLNA;
- o desenvolvimento de aplicações para a plataforma Android e iPhone, que podem vir a ser uma ferramenta muito útil a nível de interface.

8 Referências

- [1] Pedro Rebelo, "DASH: A distributed service-oriented middleware for ad-hoc home networking environments," Instituto Superior Técnico, Dissertação de Mestrado 2009.
- [2] Scott Davidoff, Min Kyung Lee, Charles Yiu, John Zimmerman, and Anind K. Dey, "Principles of Smart Home Control," in *UbiComp 2006*, 2006, pp. 19-34.
- [3] Cory D. Kidd et al., "The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research," in *Cooperative Buildings. Integrating Information, Organizations and Architecture*, 1999, pp. 191-198.
- [4] Diane J. Cook et al., "MavHome: an agent-Based smart home," in *Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on*, 2003, pp. 521-524.
- [5] G. Michael Youngblood, Diane J. Cook, and Lawrence B. Holder, "The MavHome: Architecture," Department of Computer Science and Engineering University of Texas at Arlington, Techinal Report 2004.
- [6] Larry Rudolph, "Project Oxygen: Pervasive, Human-Centric Compting - An Initial Experience," in *Advanced Information Systems Engineering, 13th International Conference (CAiSE2001)*, 2001, pp. 766 - 780.
- [7] Victor Lesser, Michael Atighetchi, Brett Benyo, and Bryan Horling, "The UMASS Intelligent Home Project," in *Proceedings of the third annual conference on Autonomous Agents*, 1999, pp. 291-298.
- [8] W. Keith Edwards and Rebecca E. Grinter, "At Home with Ubiquitous Computing: Seven Challenges," *Ubucomp 2001: Ubiquitous Computing*, pp. 256-272, 2001.
- [9] Scoot Davidoff, Min Kyung Lee, Charles Yiu, John Zimmerman, and Anind K. Dey, "Principles of Smart Home Control,".
- [10] Jens H. Jahnke, Marc D'Entremont, and Jochen Stier, "Facilitating The Programming of the Smart Home," *IEEE Wireless Communications*, pp. 70 - 76, 2002.
- [11] Thad Starner, Jake Auxier, Daniel Ashbrook, and Maribeth Gandy, "The Gesture Pendant: A Self-illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring," in *Wearable Computers, 2000. The Fourth International Symposium on*, 2000, pp. 87-94.
- [12] Mario Kolberg, Evan H. Wilson, Michael Wilson, Peter Burtwistle, and Oscar Ohlstenius, "Controlling Appliances with Pen and Paper," in *Consumer Communications and Networking Conference, 2005.CCNC.2005 Second IEEE*, 2005, pp. 156-160.
- [13] Shwetak N. Patel, Khai N. Truong, and Gregory D. Abowd, "PowerLine Positioning: A Pratical Sub-Room-Level Indoor Location system for Domestic Use," *UbiComp 2006: Ubiquitous Computing*, pp. 441-458, 2006.

- [14] B González and G K Thiruvathukal, "The Hydra Filesystem: A Distributed Storage Framework," , 2006.
- [15] Daniele Sacchetti et al., "The Amigo Interoperable Middleware for the Networked Home Environment".
- [16] Michael C. Mozer, "The Neural Network House: An Environment that Adapts to its Inhabitants," in *Proceedings of the American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium on Intelligent Environments*, 1998, pp. 110-114.