

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

# **Middleware Para Desenvolvimento de Aplicações Multimídia com Efeitos Sensoriais**

**Michel Silva Lamin Vasconcelos**

JUIZ DE FORA  
DEZEMBRO, 2018

# Middleware Para Desenvolvimento de Aplicações Multimídia com Efeitos Sensoriais

MICHEL SILVA LAMIN VASCONCELOS

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Ciência da Computação  
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Marcelo Ferreira Moreno

JUIZ DE FORA  
DEZEMBRO, 2018

# MIDDLEWARE PARA DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES MULTIMÍDIA COM EFEITOS SENSORIAIS

Michel Silva Lamin Vasconcelos

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Marcelo Ferreira Moreno  
Doutor em Informática - PUC-Rio

Eduardo Pagani Julio  
Doutor em Computação - UFF

Edelberto Franco  
Doutor em Computação - UFF

JUIZ DE FORA  
04 DE DEZEMBRO, 2018



## Resumo

Este trabalho se contextualiza dentro do ambiente de *Internet of Things*. Num cenário de amadurecimento das tecnologias afins à este ambiente, vemos crescer também a aliança entre aplicações multimídia e este novo paradigma que prega conectividade a todo e qualquer tipo de aparelho eletrônico. Sendo assim, este trabalho apresenta-se como uma proposta de facilitar esta aliança. Para tal, propõe-se a criação de um *middleware* capaz de servir como intermediário na comunicação entre aplicações multimídia, mais especificamente, aplicações *mulsemedia* que fazem uso de recursos multi sensoriais, e redes de sensores e atuadores. Conforme é exibido no escopo deste trabalho, podem desempenhar um papel ímpar na evolução e conseqüente melhoria de serviços multimídia. Além disso, este trabalho visitará diversos conceitos e trabalhos relacionados à IoT a fim de buscar validade e base tecnológica para o seu desenvolvimento. Uma das tecnologias mais pertinentes para o escopo deste trabalho é o padrão MPEG-V, que fornecerá grande embasamento teórico. Também, é feito neste trabalho uma comparação crítica com a linguagem de descrição de efeitos sensoriais proposta pelo padrão, o SEDL.

**Palavras-chave:** *Internet of Things, Mulsemedia, Sensor and Actuator Networks, Middleware, SEDL*

## Abstract

This work is contextualized within the Internet of Things environment. In a scenario of maturing technologies related to this environment, we also see an alliance between multimedia applications and this new paradigm that preaches connectivity to any type of electronic device. Thus, this paper presents itself as a proposal to facilitate this alliance. To this end, it is proposed to create a middleware capable of serving as an intermediary in the communications between multimedia applications, more specifically mulsemedia applications that make use of multiple sensorial capabilities, and sensors and actuators networks. As shown in the scope of this work, they can play a unique role in the evolution and consequent improvement of multimedia services. In addition, this work will visit several concepts and works related to the IoT in order to seek validity and technological basis for its development. One of the most relevant technologies for the scope of this work is the MPEG-V standard, which will provide a great theoretical basis. Also, this work makes a comparison between the language for description of sensory effects proposed by the standard, the SEDL, and itself.

**Keywords:** *Internet of Things, Mulsemedia, Sensor and Actuator Networks, Middleware, SEDL.*

## Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, dos quais sem o suporte provavelmente eu jamais teria chegado a realizar este trabalho. Aos meus amigos, agradeço pela mão de sempre. Aos meus professores, agradeço pelo conhecimento (que certamente mudou minha forma de enxergar o mundo). Ao meu professor orientador, agradeço as aulas brilhantes, o encorajamento para superar minhas barreiras e principalmente a paciência.

*“Computers are like Old Testament gods:  
lots of rules and no mercy.”*

*Joseph Campbell*



# Conteúdo

<b>Lista de Figuras</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>8</b>
<b>Lista de Abreviações</b>	<b>9</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>10</b>
1.1 Apresentação do tema . . . . .	10
1.2 Justificativa . . . . .	11
1.3 Objetivos Gerais e Específicos . . . . .	11
1.4 Metodologia . . . . .	12
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>13</b>
2.1 Conceituação . . . . .	14
2.1.1 Internet of Things . . . . .	14
2.1.2 Multiple Sensorial Media . . . . .	19
2.2 Considerações sobre o capítulo . . . . .	21
<b>3 Trabalhos Relacionados</b>	<b>23</b>
3.1 Análise dos trabalhos . . . . .	24
3.2 Considerações sobre o Capítulo . . . . .	28
<b>4 Arquitetura de Middleware Para Mulsemedia</b>	<b>30</b>
4.1 Modelagem . . . . .	32
4.1.1 Serviço de Rede . . . . .	32
4.1.2 Serviço de Semântica . . . . .	35
4.1.3 Orquestrador . . . . .	37
4.1.4 Demais aspectos do <i>middleware</i> . . . . .	38
4.2 Considerações Sobre o Capítulo . . . . .	40
<b>5 Prova de Conceito</b>	<b>41</b>
5.1 Cenário . . . . .	41
5.2 Funcionamento . . . . .	42
5.2.1 Descoberta da Rede . . . . .	43
5.2.2 Instanciação de Efeitos Sensoriais . . . . .	44
5.2.3 Reprodução Dos Efeitos Sensoriais . . . . .	45
5.3 Considerações Sobre o Capítulo . . . . .	46
<b>6 Conclusão</b>	<b>48</b>
6.1 Resultados . . . . .	48
6.2 Trabalhos Futuros . . . . .	50
<b>Bibliografia</b>	<b>51</b>

## Lista de Figuras

3.1	Esquema proposto por Lee et al. (2005) . . . . .	25
3.2	Cenário de uso de aplicações <i>multimedia</i> de acordo com o padrão MPEG-V (TIMMERER et al., 2009) . . . . .	27
3.3	Arquitetura geral do padrão MPEG-V (TIMMERER et al., 2009) . . . . .	28
3.4	Exemplo do uso do SEDL para a descrição de um efeito sensorial de luz (ISO/IEC, 2013b) . . . . .	29
4.1	Cenário de uso do <i>middleware</i> . . . . .	31
4.2	Arquitetura geral do <i>middleware</i> proposto . . . . .	33
4.3	Arquitetura do serviço de rede . . . . .	33
4.4	Arquitetura do serviço de semântica . . . . .	36
4.5	Arquitetura do Orquestrador . . . . .	38
5.1	Esquemática da prova de conceito. . . . .	42
5.2	Instanciação de efeitos feito pela aplicação . . . . .	43
5.3	Mensagem de reconhecimento da rede. . . . .	44
5.4	Esquemática do funcionamento da prova de conceito. . . . .	47

## Lista de Tabelas

## Lista de Abreviações

DCC	Departamento de Ciência da Computação
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
IoT	<i>Internet of Things</i>
IoMT	<i>Internet of Media Things</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
SEDL	<i>Sensory Effect Description Language</i>
SEM	<i>Sensory Effect Metadata</i>
SEV	<i>Sensory Effect Vocabulary</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
DVD	<i>Digital Video Disc</i>
IPSO	<i>Internet Protocol For Smart Objects</i>
EPC	<i>Electronic Product Code</i>
NFC	<i>Near-field communication</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
REST	<i>Rpresentational State Transfer</i>

# 1 Introdução

Com o advento da Era da Informação, fica cada vez mais abrangente a diversidade e o número de dispositivos capazes de interagir uns com os outros através de redes de computadores. Durante muito tempo essa interação era limitada a dispositivos em proximidade física e com certa capacidade de processamento. Tecnologias como transmissão em infravermelho e radiofrequência, que culminaram em padrões como *bluetooth* (IEEE802.15, 2002) e *RFID* (ISO/IEC, 2008), vieram como propostas para fazer facilitar a promoção da conectividade entre dispositivos simples, restritos em suas capacidades de processamento e com armazenamento e energia disponível limitados.

Como consequência, observa-se nos dias atuais a consolidação do paradigma IoT (ITU, 2005), que se apresenta com a proposta de oferecer conectividade a uma diversidade extremamente ampla de aparelhos, incluindo aqueles com hardwares bastante limitados, como sensores e atuadores. A partir daí, surgem as mais diversas propostas de aplicações IoT: *e-health*, transporte e logística, ambientes inteligentes, aplicações multimídia e outros (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Este trabalho focará na apresentação de uma proposta contextualizada à aplicações multimídia.

## 1.1 Apresentação do tema

Como exposto anteriormente, este trabalho abrange o espectro de aplicações IoT voltadas ao ambiente de aplicações multimídia, comumente se referido como IoMT (ISO/IEC, 2015).

Como descrito por Ghinea et al. (2014), o uso de recursos IoT para ampliar o espectro de abrangência sensorial de aplicações multimídia (a qual o mesmo se refere com nome *mulsemidia*, ou *multiple sensorial media*) ganha cada vez mais espaço nos ambientes de pesquisa e na indústria do entretenimento. A proposta deste tipo de aplicação é se utilizar de uma variedade maior de estímulos sensoriais, fazendo uso de sensores e atuadores, para que uma aplicação multimídia possa entregar uma melhor QoE ao usuário,

ou ainda se utilizar destes recursos sensoriais extras para se adaptar ao ambiente no qual estas aplicações são reproduzidas. Ainda, vale notar que pode ser de muita valia o uso do paradigma IoT para que a comunicação entre estes sensores a atuadores, e as aplicações multimídia, sejam facilitadas e melhor aproveitadas.

Recentemente, houveram trabalhos como o de Ghinea et al. (2014) (que será discutido mais adiante) que mostram a validade do uso de recursos sensoriais extras em aplicações multimídia e também trabalhos, como o de, Timmerer et al. (2009) (que também será discutido posteriormente) que abrangem os esforços de padronizar a forma com que este tipo de aplicações são construídas e entregues aos usuários.

## 1.2 Justificativa

Conforme será discutido ao longo deste documento, existem trabalhos que apresentam propostas de padronização para a criação e distribuição de aplicações multimídia que exploram recursos multisensoriais com o fim de aprimorar a QoE. Porém, embora este seja o caso, as tecnologias usadas para integrar estes recursos com as aplicações ainda não estão firmemente estabelecidas na indústria. Mirando mais especificamente nos desafios relacionados ao estabelecimento de uma interface entre uma aplicação multimídia, e os recursos sensoriais que serão explorados pela mesma, a falta de maturidade dessas interfaces deixa um relativo vazio no catálogo de ferramentas a serem utilizadas nos diversos passos entre a criação e a distribuição deste tipo de aplicação. É exatamente nestes espaços que este trabalho se contextualiza.

## 1.3 Objetivos Gerais e Específicos

Considerando o ambiente geral do estado de maturação da IoMT, este trabalho se apresenta como uma proposta de *middleware* que disponibilize uma interface de comunicação entre aplicações multimídia e redes IoT compostas pelos diversos recursos sensoriais, manifestados por sensores e atuadores, que podem ser de grande proveito para estas aplicações.

Tal *middleware*, idealmente, deve ser capaz de abstrair as complexidades de se lidar com uma rede dinâmica e mutável e, também, fornecer ao construtor de aplicações

recursos que permitam ampliar a adaptabilidade da mesma ao meio em que ela será reproduzida. Além disso, o *middleware* deverá ser capaz de habilitar que os diversos sensores e atuadores disponíveis na rede possam trabalhar em conjunto com esta aplicação multimídia.

## 1.4 Metodologia

Durante o andamento deste trabalho, são abordados diversos temas relevantes para a sua contextualização e, além disso, para a fundamentação dos conceitos primordiais para o seu desenvolvimento. Tais conceitos terão como papel, fundamentar a base teórica necessária para se alcançar os objetivos propostos e, além disso, proporcionar base de conhecimento capaz de tornar os temas abordados passíveis de serem assimilados pelo leitor. Também, são visitados alguns trabalhos que se julgam relevantes para a extração de ferramental e base teórica e/ou prática para que seja estabelecido alicerce capaz de sustentar a proposta deste trabalho.

Nos capítulos adiante, além do que já foi mencionado, são expostas também questões relacionadas ao processo de escolha e pesquisa das ferramentas e tecnologias que habilitarão a conclusão da proposta já citada. Será abordado também, o processo de pesquisa e execução da modelagem do *middleware* proposto e, além disso, os passos necessários para a implementação de uma prova de conceito capaz de ilustrar os recursos do mesmo. Tais passos, compreendem a necessidade de se estudar, projetar e modelar uma arquitetura válida e condizente com o nível das aplicações que se deseja abordar com este *middleware*.

Dados os passos citados anteriormente, faz-se necessário também, que seja dedicada uma seção deste trabalho à análise das conclusões dos resultados que foram obtidos a partir da metodologia aplicada. Estes resultados deverão ser obtidos através da criação de uma pequena aplicação desenhada especificamente para ilustrar e explorar os recursos que o *middleware* implementado é capaz de entregar ao usuário.

## 2 Fundamentação Teórica

Este capítulo tem como objetivo introduzir ao escopo deste trabalho um conjunto de conceitos e definições a fim de que seja possível estabelecer o claro entendimento e compreensão da proposta que será apresentada, tanto quanto dos seus objetivos e tecnologias abordadas. Além disso, visa delimitar de forma clara as áreas da ciência da computação na qual este trabalho poderá ser inserido.

Nas próximas seções, são listados uma série de conceitos úteis, como já mencionado anteriormente, além de oferecida uma breve conclusão e reflexão sobre os tópicos que são explorados no decorrer deste capítulo. Tais tópicos são imprescindíveis para o embasamento e a contextualização do conteúdo que será apresentado posteriormente no decorrer deste trabalho.

Os principais temas a serem abordados neste capítulo são o conceito de *Internet Of Things*, *Mulsemidia*, e também uma visita aos esforços da comunidade científica para padronizar a integração entre aplicações multimídia e as mais diversas variações de sensores e atuadores com o propósito de aprimorar a QoE oferecida por estas aplicações. São analisados o papel da IoT na sociedade moderna, as expectativas para o futuro desta tecnologia e as principais definições e visões sobre o tema. Além disso, são abordados diversos aspectos trazidos à tona pela ITU nos anos recentes, que promoveram padronizações e diretrizes para o desenvolvimento de aplicações que exploram esta tecnologia. Veremos também o trabalho do grupo MPEG-V para oferecer uma padronização na arquitetura da criação e distribuição de aplicações multimídia que busquem abranger uma variedade maior de estímulos sensoriais.



## 2.1 Conceituação

### 2.1.1 Internet of Things

Para introduzir o primeiro aspecto que é tratado neste capítulo, a definição de IoT, são exibidos a seguir um conjunto de visões apresentados pela comunidade acadêmica e que são trazidos à tona pelo trabalho de Atzori, Iera e Morabito (2010).

Neste trabalho, os autores discorrem sobre o fato de que IoT pode ser definido sob a ótica de três pontos de vista diferentes e que esta diversidade pode ser, de certa forma, atribuída ao próprio termo *Internet of Things* e ao fato de que as corporações, pesquisadores e órgãos de padronização tendem a abordar o tema sempre de forma a priorizar seus próprios *backgrounds*, interesses e finalidades. Segundo o mesmo, o primeiro termo, "Internet", traz como tendência a busca por abordagens baseadas nos próprios conceitos de redes de computadores e que favorece uma visão "orientada a redes"; Já o segundo, "things", faz com que as definições pendam para um lado mais voltado às características dos dispositivos que são englobados por aplicações IoT, e que será referida como uma visão "orientada a coisas". Além disso, o autor comenta que, IoT pode ser definida também como "uma rede global de objetos interconectados, endereçados unicamente e baseados em protocolos padrão de comunicação" (INFSO, 2008). Esta definição, inclusive, evidencia alguns dos principais desafios gerados pelo uso desta tecnologia, que são justamente o endereçamento único dos dispositivos interconectados e a representação, armazenamento e análise das informações que são objetos da comunicação entre estes dispositivos. Esta definição leva a uma terceira abordagem sobre o tema, a visão "orientada à semântica".

A visão "orientada à redes", ainda segundo o trabalho de Atzori, Iera e Morabito (2010), tem como tendência a proposta de que o estabelecimento da IoT como tecnologia amplamente adotada se dará ao passo em que forem solucionados os principais aspectos sobre como conectar uma quantidade, que se supõe tender a números exorbitantes, de dispositivos e lidar com o tráfego dessas informações de forma eficiente. O mesmo ainda mostra que, neste nicho entram organizações como a IPSO (*Internet Protocol for Smart Objects*) Alliance, um fórum formado em 2008 por diversas companhias, com o objetivo de promover o protocolo IP como a tecnologia de rede mais adequada para conectar objetos

inteligentes em escala global. De acordo com a IPSO, o protocolo IP é adequado por ser leve e possível de implementar em aparelhos modestos e alimentados à baterias, o que se adéqua perfeitamente a forma de dispositivos que se pretende conectar na visão IoT. Em seu trabalho Gershenfeld, Krikorian e Cohen (2004) também argumentam que com algumas adaptações o protocolo IP pode se tornar a melhor escolha de implementação de IoT, que precisa seguir a filosofia de incluir "IP em qualquer coisa". Ambas as referências citadas a cima chegam à conclusão de que através de uma simplificação do atual protocolo IP seria possível implementá-lo em qualquer objeto e tornar tal objeto endereçável e rastreável à partir de qualquer localização.

Já no escopo da segunda visão apresentada, a visão "orientada a coisas", grupos como o *Auto-ID Labs* e *EPC Global* sugerem que o completo desenvolvimento da IoT será habilitado se o foco dos esforços estiver no desenvolvimento e aprimoramento das "coisas" a serem abrangidas e conectadas via IoT (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Dispositivos simples como etiquetas RFID são apontados por estes grupos como "carros-chefe" para o uso de IoT. Estas organizações se dedicam ao desenvolvimento de serviços de suporte para a disseminação do uso de RFIDs em escala global e comercial para monitoramento e rastreamento de objetos. A sugestão de que RFIDs deveriam ser o foco de esforços em aplicações IoT se baseia no grau de maturidade desta tecnologia, no baixo custo e no crescente apoio de grupos comerciais a esta tecnologia.

Ainda assim, Atzori, Iera e Morabito (2010) apontam que, embora tal tecnologia (RFIDs) deva realmente ser encarada como um componente chave para a disseminação de aplicações IoT por assimilar elementos básicos do conceito, como rastreabilidade e alcançabilidade, ela está longe de cobrir todo o potencial que pode ser oferecido pelas mesmas, e que tecnologias como NFC (*Near Field Communications*) e WSN (*Wireless Sensor and Actuator Networks*) podem tender a atrair uma grande parcela de atenção da comunidade industrial e científica. O autor ainda aponta que IoT pode se referir a muito mais que mera identificação de objetos.

Para encerrar as análises sobre as visões de IoT apresentadas no trabalho de Atzori, Iera e Morabito (2010), apresenta-se a visão "orientada a semântica", que aponta para o fato de que com a crescente quantidade de itens envolvidos na geração e comunicação de

dados na Internet, o volume de informações que serão geradas tomará proporções extremamente grandes. Sendo assim, autores como Vázquez (2009) e Toma, Simperl e Hensch (2009), apontam que problemas relacionados à como representar, armazenar, interconectar e indexar essas informações se transformarão nas questões mais desafiadoras a serem abordadas durante a implementação do paradigma IoT. Portanto, os mesmos sugerem que, a menos que tais problemas sejam solucionados, a total implementação do conceito de IoT não poderá ocorrer. Logo, tecnologias relacionadas à semântica de dados terão um papel crucial a desempenhar durante a maturação da IoT.

Tendo sido expostas as visões anteriormente citadas, torna-se interessante revisar alguns dos aspectos mais técnicos em relação a IoT. Neste sentido, a ITU, cuja abordagem pode-se encaixar na visão "orientada a redes", fornece uma revisão técnica das características fundamentais e dos requisitos mínimos (em alto nível) que uma rede IoT deve conter para que seja possível suportar uma aplicação deste gênero (ITU, 2012). A ITU apresenta ainda, a ideia de que as redes de computadores tradicionais abrangem duas dimensões de conectividade e estas são as seguintes: A dimensão que representa "conectividade a qualquer hora", que expõe a capacidade da rede de entregar ao usuário conexão independente de condições temporais e a dimensão "conectividade em qualquer lugar", que aborda o fato de que não se deve mais ser necessário se ater a um espaço físico específico para obter conectividade. Sendo assim, a IoT adiciona uma nova dimensão a este espectro, a "conectividade para qualquer 'coisa'". Em uma aplicação IoT, não necessariamente a capacidade de conexão se atém a computadores, conforme já abordado, mas sim a uma variedade cada vez mais ampla de "coisas", tanto virtuais (capazes de serem armazenadas, processadas e acessadas) quanto físicas (capazes de detectar ou atuar).

Após isso, em ITU (2012) aponta-se que as características fundamentais de uma rede IoT devem abordar a interconectividade entre as tais "coisas", ou seja, a inclusão destes objetos na rede global de informação; Os serviços de rede orientados às essas "coisas", que devem prover segurança, privacidade e consistência semântica; A heterogeneidade entre o *hardware* das "coisas" que serão conectadas; As mudanças dinâmicas de estado que as mesmas sofrerão, como por exemplo, a possibilidade de estarem conectadas ou não, despertas ou adormecidas, ou até mesmo estados relacionados a posição e velocidade

destas "coisas"; E, por fim, a imensa escala do número de objetos que serão conectados a esta rede.

Sendo assim, em ITU (2012) lista-se uma série de requisitos de alto nível, conforme já mencionado, para que as características previamente citadas possam ser obtidas. Tais requisitos são:

- Conectividade baseada em identificação: a rede IoT precisa suportar que o objeto a ser conectado tenha uma conexão baseada no seu identificador. Além disso, deve ser permitido que os identificadores, possivelmente heterogêneos, das diferentes "coisas" sejam processadas de maneira unificada;
- Interoperabilidade: Uma rede IoT precisa garantir interoperabilidade entre sistemas heterogêneos e distribuídos, que proverão e/ou consumirão os dados que serão gerados dentro desta rede;
- Operação autônoma: Técnicas de auto-gerenciamento, auto-configuração, auto-otimização, auto-proteção e auto-reparação devem ser implementadas, para que seja possível que a rede se adapte aos diferentes domínios de aplicação, aos diferentes ambientes de comunicação e aos diversos tipos de dispositivos;
- Provisão autônoma de serviços: Os serviços de rede oferecidos devem ser capazes de serem providos por meio de captura, processamento e transporte dos dados gerados pelos diversos dispositivos que compõem a rede. Estas operações devem seguir configurações fornecidas pelos operadores de rede;
- Operações baseadas em localização: Serviços e comunicações relacionados às "coisas" da rede irão depender da localização das mesmas. Para que isso seja implementado, deve ser possível rastrear ou detectar a localização de um objeto conectado automaticamente. Este é um requisito bastante sensível no que diz respeito a legislação e segurança;
- Segurança: Com a quantidade de dispositivos conectados, segurança se torna um problema ainda maior em IoT, em aspectos como confidencialidade da informação transmitida, autenticidade e integridade tanto de serviços quanto de clientes. Um

exemplo crítico dos desafios relacionados à segurança em redes IoT é a dificuldade de integrar diferentes políticas e técnicas de segurança espalhadas na imensa variedade de dispositivos conectados;

- **Proteção de privacidade:** Muitos dos objetos conectados na rede IoT terão donos e usuários, isso significa que muitas das informações coletadas por estes dispositivos poderão conter dados privados de seus usuários. A privacidade destas informações deve ser garantida durante a transmissão, o armazenamento, o processo e a mineração destes dados. Entretanto, tal privacidade não pode derrubar o requisito que diz respeito à necessidade de identificar a fonte das informações;
- **Alta qualidade e alta segurança para serviços relacionados ao corpo humano:** Diferentes países possuem diferentes legislações relacionadas a estes tipos de serviços (que são relacionados a captura, comunicação e processamento de informações geradas por funções biológicas), portanto, essa variedade de regras deve ser suportada pela rede IoT;
- ***Plug and Play:*** Este aspecto deve estar presente em uma rede IoT para permitir aquisição automática de configurações, para a integração entre objetos e aplicações e para a adequação aos requerimentos dessas aplicações;
- **Gerenciabilidade:** Gerenciabilidade precisa ser suportada para garantir operações normais de rede. Embora aplicações IoT por vezes funcionem automaticamente sem a necessidade de interação humana, operações de redes precisam ser gerenciadas pelas partes relevantes em sua administração.

Os requisitos expostos acima dão ideia dos desafios vindouros na implementação da IoT. Embora muito se cogite sobre o leque de aplicações que poderiam ser geradas por esta tecnologia, alguns destes requisitos ainda são foco do esforços de diversas organizações e pesquisas.

### 2.1.2 Multiple Sensorial Media

Ainda com a intenção de criar um escopo de fundamentações para este trabalho, será apresentado a seguir o conceito de *Multiple Sensorial Media*, ou *mulsemedia*. Em seu trabalho, Ghinea et al. (2014) reafirma que a definição amplamente aceita de multimídia continua sendo a de "duas ou mais mídias, uma preferivelmente contínua, e outra normalmente discreta". Esta definição certamente abrange a imensa maioria do conteúdo multimídia criado e distribuído hoje em dia, tanto pela TV ou cinema quanto pela Internet. Entretanto, mais a frente em seu trabalho o autor chama a atenção para o fato de que em geral, tais aplicações multimídia apelam muito frequentemente para somente dois sentidos de percepção humana, a visão e a audição. Tal tendência, aponta o autor, não condiz com o fato de que 60% da comunicação humana é não verbal e que a maioria de nós percebe o mundo através da combinação de cinco sentidos. Sendo assim, as atuais experiências multimídia apresentadas no cenário *mainstream* falham em oferecer ao usuário um contexto de experiência próximo ao potencial oferecido pelo nosso próprio corpo, como por exemplo a sensação de calor ou umidade e até mesmo as sensações olfativas que experimentamos em nosso dia a dia. A partir disso, surge espaço para a introdução de um novo paradigma para aplicações e sistemas multimídia e é neste espaço que a *mulsemedia* entra como uma proposta para a evolução das aplicações para os próximos anos.

Ainda em seu trabalho, Ghinea et al. (2014) mostra que embora recentes avanços tecnológicos tenham mostrado como novidade a exploração do uso de múltiplos recursos sensoriais para representações virtuais, no mundo não virtual este conceito não é tão recente. O exemplo mais antigo conhecido do uso destes recursos aconteceu em 1906 quando durante a apresentação de conteúdo áudio visual foi combinado com estímulos olfativos gerados artificialmente durante uma partida de futebol americano em Pasadena no estado da Califórnia. O autor mostra também como exemplo o uso em 1943 por Hans Lube, que anteriormente havia aperfeiçoado uma técnica para extração de odores em ambientes fechados, utilizou-se desta técnica para aplicar em momentos específicos e por durações específicas diversos odores durante uma apresentação de 35 minutos do filme *Mein Traum*. Além disso, o autor aborda em seu trabalho uma revisão do funcionamento da percepção multi sensorial humana, mostrando que, embora entidades e eventos no

mundo real sejam percebidos via modalidades sensoriais distintas, a assimilação coerente destas percepções depende de complexos passos que combinam processamento sensorial (mediante nossos órgãos sensoriais) e processamento cognitivo, que resulta em uma apreciação de informação midiática e a interpretação de seus significados em seu contexto de existência semântica. Ao fim desta revisão o autor aponta que o funcionamento do processamento sensorial humano é bem entendido, porém o conhecimento sobre como este processamento impacta a percepção, interpretação e adaptação de conteúdo mulsemmedia é um campo ainda com bastante potencial a ser explorado.

Finalmente, isto no leva a outro ponto de interesse neste tema, que se refere a forma com que se propõe padronizar a criação e distribuição de *mulsemmedia*. Em seu trabalho, Timmerer et al. (2009) procuram estabelecer a definição de "mundo virtual", como sendo qualquer ambiente de oferta de conteúdo virtual onde o usuário tem a possibilidade de interagir com este conteúdo virtual (geralmente multimídia) em algum grau. Para os autores, o uso de mundos virtuais pode ser destinado à oferta de conteúdo de entretenimento, educação, video games e redes sociais. Além disso, estes mundos virtuais podem ter a capacidade de representar informação do mundo real e vice-versa. Esta capacidade pode ser ilustrada, por exemplo, pela possibilidade de uma aplicação deste gênero oferecer ao usuário a possibilidade de experimentar representações de luminosidade e cheiro, entre outras coisas, durante a exibição de seu conteúdo virtual e, além disso, a possibilidade de se captar estímulos do mundo real (através de sensores) para que estes possam ser representados e/ou manipulados por aplicações que exibirão estes estímulos num mundo virtual. É nesta troca de informações entre estes mundos que os autores propõem sua arquitetura de padronização a qual se referem como MPEG-V.

A arquitetura MPEG-V define interfaces que são providas no formato de um documento XML em aliança com uma representação binária de formatos entre os provedores de conteúdo digital e os aparelhos controladores de sensores e atuadores, que ofereceriam diversas capacidades de controle exploradas pelas aplicações de conteúdo digital. O padrão MPEG-V é composto de sete partes: Arquitetura, que descreve a arquitetura geral, interfaces e pontos de interoperabilidade; Informação de Controle, que define a forma com que será descrita e controlada as capacidades dos dispositivos como sensores e atuadores;

Informação Sensorial, que provê um meio de descrever os efeitos sensoriais captados e/ou causados pelos sensores e atuadores; Características dos Objetos do Mundo Virtual, que provê formatos para a representação de dados para se especificar objetos virtuais que podem interagir com mundos virtuais; Formato de Dados Para Dispositivos de Interação, que foca em interatividade de dispositivos e formatos de dados associados a isso; Já as partes 6 e 7 definem tipos de dados comuns e ferramentas necessárias para terceiros e descreve softwares de referência (TIMMERER et al., 2009).

Como apontado por Ghinea et al. (2014), o principal propósito do padrão MPEG-V é aprimorar a QoE de serviços multimídia através de um sistema de anotações, realizadas neste conteúdo, de efeitos sensoriais que posteriormente seriam reproduzidos de acordo com as capacidades dos dispositivos disponibilizados aos usuários. Esta abordagem permite interoperabilidade através de diferentes tipos de dispositivos enquanto suporta uma grande variedade de domínios de aplicação, já que, embora descreva o formato de representação destes efeitos sensoriais, não determina detalhes para sua produção e consumo. Para concretizar este aspecto da arquitetura, Timmerer et al. (2009), apresentam a SEDL, que é um esquema XML que possibilita a descrição de efeitos sensoriais como, luz, vento, neblina, vibração e etc, através do SEV que, graças a própria natureza dos esquemas XML pode ser facilmente estendida para se adequar melhor aos diversos possíveis domínios de aplicação. Uma descrição de efeitos em conformidade com a SEDL é referida como sendo um SEM e pode ser utilizada em qualquer tipo de conteúdo multimídia. A ideia é que a SEM possa guiar diversos aparelhos sensoriais para reproduzir, em conformidade com o que for definido pelo criador do conteúdo multimídia, efeitos sensoriais extras aprimorando assim a QoE do serviço.

## 2.2 Considerações sobre o capítulo

A definições citadas neste capítulo, pavimentam caminho para uma perspectiva conforme a citada em ITU (2005), "a qualquer hora, de qualquer lugar, conectividade para qualquer um, nós teremos agora conectividade para qualquer coisa". De forma similar, Dunkels e Vasseur (2010) também dão uma perspectiva na mesma direção e afirma que usuários terão à disposição "um mundo onde 'coisas' podem automaticamente se comunicar com



computadores e vice-versa, provendo serviços para o benefício da humanidade”. Sendo assim, fica evidente que a IoT tem um papel revolucionário a cumprir dentro da sociedade humana, com a potencialidade de causar uma mudança tão grande nos costumes e no bem estar social quanto a causada pela própria Internet.

Neste sentido, a IoT deve se tornar a grande arquitetura habilitadora da implementação de serviços e aplicações com a principal característica de explorar grande interoperabilidade em redes e, principalmente, a coleta e transferência de enormes quantidades de dados. Isso se fará possível, ainda segundo Dunkels e Vasseur (2010), conforme se tornar factível a existência de uma infraestrutura global capaz de suportar a conexão de inúmeros objetos genéricos, e ainda, ressaltam que a existência desta infraestrutura será mais provável caso a comunidade se dedique a incluir e evoluir tecnologias já existentes na própria Internet.

Ainda, vimos que a aliança entre o paradigma IoT e aplicações multimídia criam um escopo para a apresentação do conceito de IoMT, que, aliado as *mulsemedias* pode promover um impacto na QoE de aplicações multimídia. E, conforme mencionado anteriormente, este trabalho trata exatamente da integração de redes IoT com aplicações multimídia ou *mulsemedia*, focando na utilização desta tendência tecnológica na geração e captação de dados de uma rede de sensores e atuadores e entregar, de forma simplificada, na mão de desenvolvedores uma ferramenta capaz de permitir o uso de recursos desta rede no processamento de aplicações multimídia.

## 3 Trabalhos Relacionados

Ao longo deste capítulo toma-se como objetivo a tarefa de resumir e analisar alguns trabalhos que, de alguma forma, se relacionam com o escopo do conteúdo que será apresentado a seguir durante esta pesquisa.

São visitados os trabalhos que abordam, sob algum aspecto, o uso de sensores e atuadores em conjunto com aplicações multimídia com o intuito de, através de uma troca coordenada de informações, modificar a forma com que um usuário interage ou percebe esta aplicação multimídia, ou ainda, alterar a forma com que a própria aplicação se comporta dados os estímulos captados pelos sensores desta rede.

Em alguns destes estudos, mostra-se de que forma o uso dos recursos desta rede poderia afetar a qualidade de experiência (QoE) do usuário que consome estas aplicações multimídia, e como a experiência presente do usuário pode dar informações para que uma aplicação deste tipo se adapte ao contexto em que está sendo exibida.

Um dos trabalhos que é revisado neste capítulo, se refere ao estudo de Lee et al. (2005) que, através de uma interface vibro-háptico, que se configura como um atuador, propõe um aprimoramento da imersibilidade nas transmissões de esportes. Além disso, neste estudo se sugere que o recurso implementado aprimora a capacidade do usuário de distinguir situações ambíguas cujas imagens poderiam transmitir ideias conflitantes.

Numa linha semelhante ao trabalho citado acima, é levado em consideração também, o trabalho de Yuan, Ghinea e Muntean (2014). Neste trabalho os autores exploram o uso de recursos sensoriais não-convencionais na reprodução de conteúdo multimídia com o intuito de ampliar a QoE do usuário. O conteúdo que explora estes diversos recursos sensoriais extras é referido como *multisensory media*, conforme apresentado no capítulo anterior.

Outro trabalho que é analisado no escopo deste capítulo é o de proposta de padronização de interações entre, o que os autores Timmerer et al. (2009) chamam de "mundo virtual" e "mundo real". Este trabalho, conduzido por membros do grupo MPEG (*Moving Pictures Expert Group*), além de propor a criação de um padrão de comunicação

entre estas entidades, sugere um mapeamento das capacidades sensoriais que poderiam ser exploradas durante a exibição de algum conteúdo do "mundo virtual", ou ainda em, como será detalhado mais a diante, aplicações multimídia.

### 3.1 Análise dos trabalhos

Seguindo uma linha que pretende mostrar a validade e a eficiência do uso de recursos de sensores e atuadores em conjunto com a exibição de conteúdo multimídia, evidencia-se o trabalho de Yuan, Ghinea e Muntean (2014). Os autores começam seu estudo atestando que até os dias atuais, produtores de conteúdo multimídia tem explorado de forma extensiva e muito bem estruturada, recursos de vídeo e áudio em suas aplicações. Entretanto, o autor mostra também que a busca pela exploração de outros sentidos perceptivos humanos começa a se fortalecer nos anos recentes e ganha espaço com a mulsemedia. No estudo de Yuan, Ghinea e Muntean (2014), o autor aborda a exploração de percepções hápticas, olfativas e de percepção de fluxo de ar, afim de mostrar o impacto do uso destes recursos na QoE do usuário.

Para cumprir tal tarefa, Yuan, Ghinea e Muntean (2014) fazem uso de 32 cliques de vídeo, 16 do filme Jurassic Park e 16 do filme De Volta Para o Futuro. Os vídeos são entregues ao usuário via um servidor transmissor que, dadas entradas de configuração e preferências do usuário, cria um conjunto de metadados capazes de dar sequência e sincronização aos estímulos sensoriais, que são entregues via atuadores. Os equipamentos utilizados na pesquisa para a transmissão destes estímulos foram: um colete capaz de transmitir sensações tácteis, um ventilador para criar impressões de fluxo de ar e um distribuidor de odores. Dessa forma, quando uma cena exibia, por exemplo, um ataque animal, o colete transmitia essas sensações ao usuário, ou ainda, quando era exibida uma cena com gás lacrimogêneo, o distribuidor emitia um odor característico. Nota-se claramente a necessidade de coordenação e sincronismo da apresentação de tal tipo de conteúdo.

Se utilizando das técnicas anteriormente expostas, Yuan, Ghinea e Muntean (2014) implementaram testes com usuários em um ambiente em condições de acordo com as sugestões do ITU e com a participação de usuários com *backgrounds* variados. Segundo

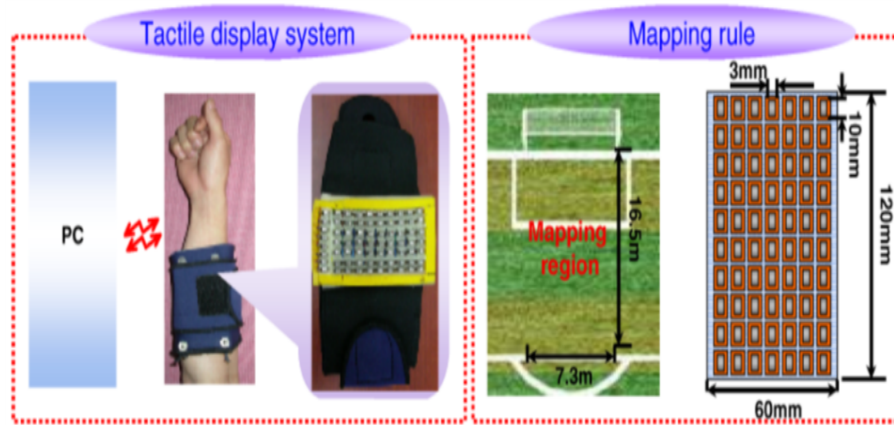


Figura 3.1: Esquema proposto por Lee et al. (2005)

sua pesquisa, os autores mostram que 47,5% dos usuários concordam que o uso de efeitos sensoriais ampliam a qualidade do conteúdo e 36,1% concordam fortemente com essa afirmação. Sendo assim, este estudo sugere que o uso de atuadores tem efeito bastante positivo na QoE de usuários de aplicações multimídia e que tal efeito pode ter o potencial de mudar de forma definitiva a maneira com que se consome este tipo de conteúdo. Ainda, com esta análise, fica factível a importância da criação de um *middleware* capaz de facilitar a troca de informação entre tais aplicações e uma rede de sensores e atuadores integrada via IoT.

Conforme mencionado na seção anterior, o trabalho de Lee et al. (2005), será também analisado e com o objetivo de indicar como o uso de atuadores pode aprimorar a forma com que um usuário interage com uma aplicação multimídia. Em seu trabalho, o autor propõe o uso de uma interface vibro-háptico acoplada ao braço de um usuário para que, durante uma transmissão esportiva, seja possível aumentar o grau de imersão do usuário e aumentar também sua capacidade de percepção em casos de estímulos visuais ambíguos. No estudo citado, o autor usa como exemplo um jogo virtual de futebol em que a posição da bola é mapeada por esta interface, conforme ilustrado na figura 3.1.

Fazendo com que a matriz de atuadores tácteis reflita o caminho percorrido pela bola, o estudo citado indica que 80% dos usuários foram capazes de distinguir corretamente este caminho no campo, dados os estímulos visuais ambíguos. Tendo à disposição apenas o conteúdo em vídeo, a taxa de acerto da trajetória da bola cai para 60%. Este estudo exemplifica a relevância que o uso de uma rede de atuadores pode assumir durante a

exibição de conteúdo multimídia.

O último trabalho relacionado a ser apresentado é o referente à pesquisa de Timmerer et al. (2009), que introduz o conceito de “mundo virtual” como sendo uma representação virtual de elementos da realidade integrando tecnologias de mídia existentes e/ou emergentes. A partir disso, o trabalho estabelece uma proposta de padronização da integração entre estes “mundos virtuais” e os meios em que estes são representados, desde a criação do conteúdo até sua reprodução. A arquitetura proposta como *framework* para o padrão, chamado MPEG-V, consiste de quatro partes, divididas em duas áreas de padronização, a área de controle de informações e a área de informações sensoriais. A Figura 3.3 ilustra a arquitetura deste *framework*. No que se refere à padronização das informações sensoriais, a proposta da adoção de uma linguagem específica para a descrição de efeitos sensoriais será de notável importância para o escopo deste trabalho.

A proposta do padrão MPEG-V advém da necessidade de padronizar a criação, distribuição, e reprodução de conteúdo *multimedia*, passando também pela forma de representação dos dados, que serão intercomunicados durante todos estes passos. Ou seja, o padrão busca promover a integração destes processos afim de contribuir para o amadurecimento das tecnologias de reprodução de conteúdo multi sensorial. Esta proposta é relevante, uma vez que é necessário, por exemplo, que no momento da criação de conteúdo multi sensorial, a forma com que cada efeito sensorial deverá ser reproduzido, levando em consideração sua natureza, intensidade, duração e demais atributos, seja expresso de forma clara e abrangente o suficiente. O padrão propõe que este objetivo específico seja alcançado a partir da habilitação da criação de arquivos chamados SEM, que seriam capazes de expor ao ambiente de reprodução todas as informações necessárias para a reprodução do conteúdo *multimedia* através de um vocabulário sensorial, o SEV. Sendo assim, o padrão MPEG-V, considera que a soma entre o conteúdo multimídia, que é a representação do chamado “mundo virtual” e o SEM, compõem a base necessária para que este conteúdo seja reproduzido da mesma maneira em diversos ambientes, dadas as limitações de cada um. Este processo é ilustrado pela Figura 3.2.

Para entrar mais em detalhes sobre o padrão MPEG-V, é apresentada a Figura 3.3. Em conjunto com a mesma, os autores expõem os principais elementos do padrão. O

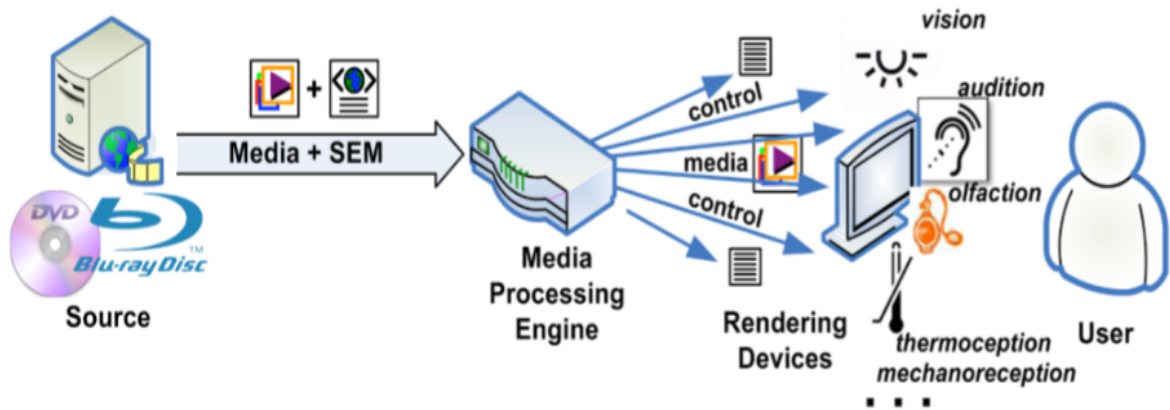


Figura 3.2: Cenário de uso de aplicações *multimedia* de acordo com o padrão MPEG-V (TIMMERER et al., 2009)

primeiro deles, são os provedores de conteúdo digital, que farão parte do escopo do padrão ao proverem conteúdo digital, em tempo real ou não, e de diversas naturezas, tais quais, ambientes simulados, video-games multi usuários, produções de mídia para *broadcast* ou conteúdo em pacotes como DVDs. Outros dois elementos do padrão correspondem a representação de dados de mundos virtuais e reais. Com relação ao primeiro, estes dados são transmitidos ao mundo real ou ainda a outros mundos virtuais. Já quanto ao segundo, estes são dados cuja representação são consideradas nativas ao mundo real. É previsto pelo padrão que a necessidade de realizar conversões entre estes dois tipos de informação (de mundos reais e virtuais), será extremamente corriqueira, portanto, o padrão sugere, na área de padronização relacionada á informações sensoriais, que os dados do mundo real sejam sujeitos à um mapeamento de acordo com o vocabulário proposto pelo padrão, o SEV, conforme mencionado anteriormente. Ainda dentro dos elementos do padrão, os autores chamam atenção aos dispositivos do mundo real, que podem ser compostos por qualquer combinação entre sensores e atuadores.

Para a construção do SEM, o padrão MPEG-V propõe a utilização do SEDL (ISO/IEC, 2013a), que faz uso de um vocabulário sensorial, o SEV, e é expresso através de um documento XML. Um exemplo da utilização do SEDL para expressar um efeito sensorial pode ser visto na Figura TAL. Dentro da proposta deste trabalho, o SEDL e o SEV são adotados como referência para a construção de uma base semântica a ser utilizada pelo *middleware* proposto, salvo algumas adaptações relacionadas ao fato de

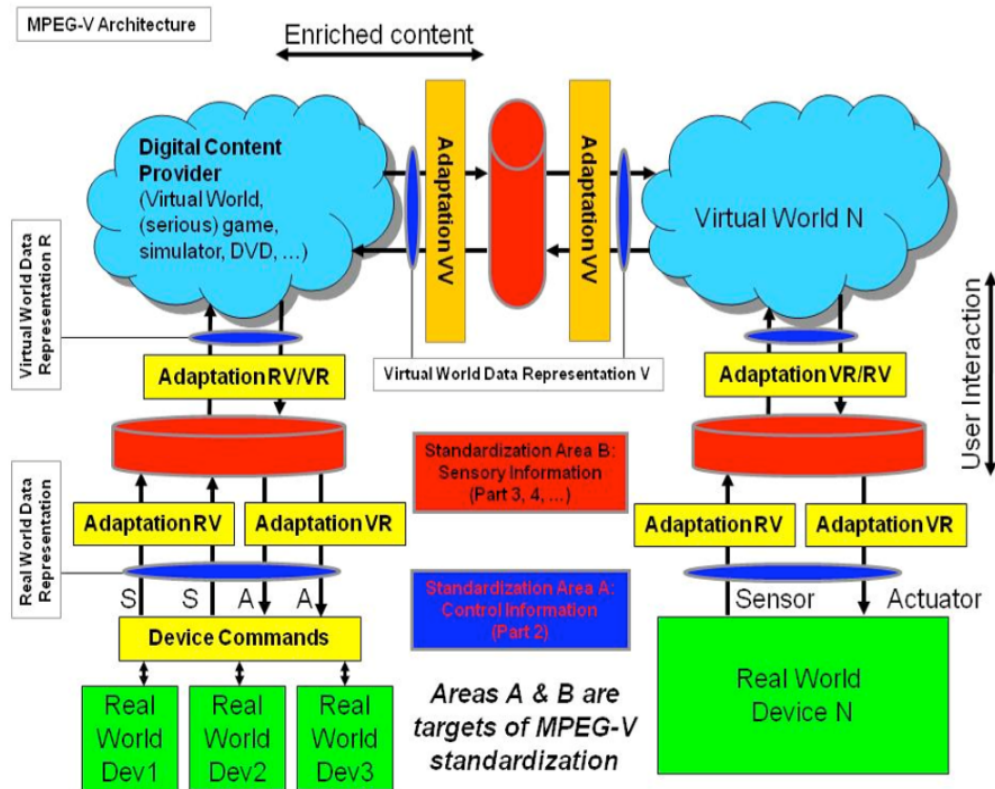


Figura 3.3: Arquitetura geral do padrão MPEG-V (TIMMERER et al., 2009)

que, por exemplo, o SEM refere-se apenas a reprodução de efeito sensoriais através de atuadores, e não à medição destes efeitos através de sensores. Mais a frente são discutidas as diferenças entre os resultados obtidos pelo trabalho e o escopo da padronização MPEG-V, tão bem quanto os detalhes do vocabulário utilizado.

## 3.2 Considerações sobre o Capítulo

Este capítulo buscou relacionar este trabalho ao contexto de alguns outros relevantes na área de aplicações multimídia enriquecidas com efeitos sensoriais. A partir das informações coletadas, poderemos introduzir a fonte de algumas ferramentas que são utilizadas no escopo deste trabalho. Também foi abordada validade dos possíveis resultados que poderiam ser obtidos através da conclusão do mesmo.

No capítulo a seguir, é apresentado o ponto central deste trabalho, que corresponde a modelagem do *middleware* proposto. Como é mostrado, tal modelo tem relações íntimas com o último trabalho visitado neste capítulo e, mais adiante, discorre-se sobre

```
<!-- ##### -->
<!-- SEV Light type -->
<!-- ##### -->
<complexType name="LightType">
  <complexContent>
    <extension base="sedl:EffectBaseType">
      <attribute name="color" type="ct:colorType" use="optional"/>
      <attribute name="intensity-value" type="sedl:intensityValueType"
        use="optional"/>
      <attribute name="intensity-range" type="sedl:intensityRangeType"
        use="optional"/>
    </extension>
  </complexContent>
</complexType>
```

Figura 3.4: Exemplo do uso do SEDL para a descrição de um efeito sensorial de luz (ISO/IEC, 2013b)

algumas comparações cabíveis entre os trabalhos.



## 4 Arquitetura de Middleware Para Mulsemidia

Conforme já mencionado, o objetivo deste trabalho será a apresentação de uma proposta que visa tornar mais facilmente estabelecida, a integração entre aplicações multimídia, que façam uso de recursos multi sensoriais (*mulsemidia*), e redes de sensores e atuadores, contextualizadas em um paradigma IoT. Também, o *middleware* habilitará que dispositivos forneçam dados ou executem tarefas relacionadas as suas capacidades de reprodução ou detecção multi sensorial. Desta forma, o modelo proposto possibilitará que aplicações *mulsemidia* não fiquem limitadas às capacidades de reprodução sensorial de hardwares contidos dentro daqueles oferecidos por fabricantes específicos. Fazendo assim, com que a possibilidade de reprodução multi sensorial das aplicações fique condicionada, de forma menos restritiva, a existência de qualquer hardware sensorial exposto a uma rede na qual o reprodutor da aplicação esteja inserido. O cenário de uso do *middleware* está expresso na Figura 4.1.

A seguir, é apresentada a modelagem de um *middleware* capaz de promover tal integração de forma a abstrair parte da complexidade de interação com redes IoT e fornecer ao usuário alguns recursos que considera-se contribuir para o aprimoramento geral da capacidade de estas aplicações aprimorarem sua qualidade de experiência e, além disso, habilitar que dispositivos simples possam estabelecer relações com estas aplicações. Dentre os recursos planejados para o *middleware* estão:

- Capacidade de oferecer reconhecimento da rede no qual a aplicação está sendo reproduzida e, a partir disso, oferecer capacidades de reconhecimento das capacidades de reprodução de efeitos sensoriais de atuadores presentes na rede, tão bem quanto oferecer o reconhecimento das capacidades de geração de informação dos sensores também presentes nesta rede. Ou seja, oferecer reconhecimento da rede e das capacidades sensoriais dos elementos inseridos na mesma, dando suporte a múltiplas interfaces de rede;

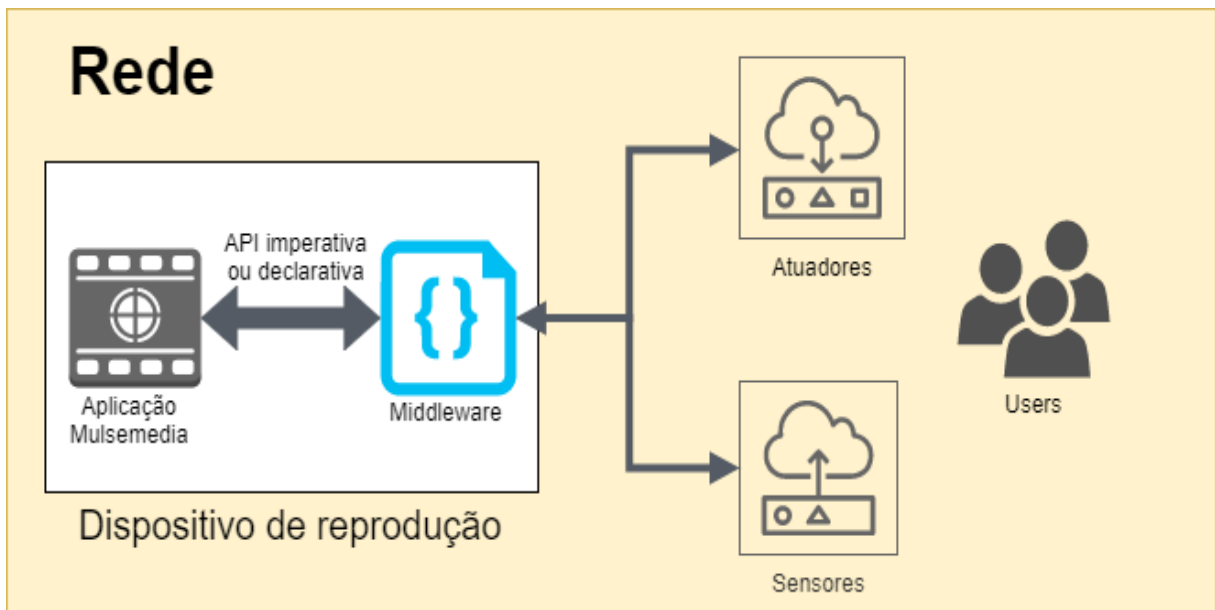


Figura 4.1: Cenário de uso do *middleware*

- Dar a um dispositivo na rede capacidade de expressar informações ou receber comandos relacionados às suas capacidades sensoriais;
- Oferecer recursos de adaptabilidade da reprodução de efeitos sensoriais, tão bem quanto da coleta de dados sensoriais a partir de redescoberta dinâmica da rede, e da associação entre os elementos desta rede aos diversos tipos de dados sensoriais que estes elementos são capazes de reproduzir ou detectar. Em outras palavras, o *middleware* deve ser capaz de entender o que cada elemento da rede é capaz de oferecer ou reproduzir, e assumir que a quantidade ou disponibilidade destes elementos pode variar durante a reprodução do conteúdo da aplicação, levantando assim a necessidade de uma certa adaptabilidade;
- Aliado ao recurso do item anterior, o *middleware* deve ser capaz de entregar a possibilidade de se configurar efeitos sensoriais substitutos àqueles originalmente requeridos pela aplicação, uma vez que há possibilidade de que a rede não possua, ou deixe de possuir, os elementos capazes de reproduzir ou coletar informações sobre determinado tipo de dado sensorial;
- Dar suporte padrão ao vocabulário sensorial estabelecido para o SEDL em ISO/IEC (2013a), juntamente com o suporte à expansão do vocabulário sensorial configurável

pelo usuário com a finalidade de atender às expansões e surgimento dos variáveis domínios de aplicação no qual este modelo possa estar inserido, mantendo, ainda assim, conformidade com os padrões que vem sendo estabelecidos pela comunidade acadêmica na área;

- Ainda relacionado ao item anterior, e à expansão do vocabulário sensorial da aplicação, o *middleware* deverá suportar que novos termos sejam adicionados ao vocabulário da aplicação e associados a um ou mais tipos de efeitos sensoriais a partir de uma composição com operadores lógicos e quantitativos.

## 4.1 Modelagem

Uma vez apresentados os requerimentos estabelecidos para este trabalho, apresenta-se a seguir o modelo do *middleware* a ser proposto.

Primeiramente, será introduzida a arquitetura geral para o modelo que pode ser observado na Figura 4.2. Nela é possível perceber a divisão do modelo em quatro partes fundamentais: o serviço de rede, de semântica, um elemento orquestrador e a API de comunicação com a aplicação.

### 4.1.1 Serviço de Rede

O serviço de rede, detalhado na Figura 4.3, tem como responsabilidade, lidar com as complexidades que se espera encontrar em uma rede de sensores e atuadores. No modelo, o serviço de rede tenta representar os elementos básicos de conectividade de um dispositivo, e também de uma entidade capaz de representar um elemento da rede.

O primeiro elemento do modelo do serviço de rede que será inspecionado é o “Thing”. Este elemento representa qualquer outro dispositivo que esteja conectado em uma rede na qual o dispositivo que esteja reproduzindo a aplicação também esteja. Ele possui informações básicas que permitem identificar um elemento de rede, como seu endereço físico e de rede, e informações sobre seu fabricante, que podem ser extraídas do seu endereço físico ou informadas diretamente pelo dispositivo no momento da conexão. Os detalhes da obtenção dessa informação, não serão abordados pelo modelo, e

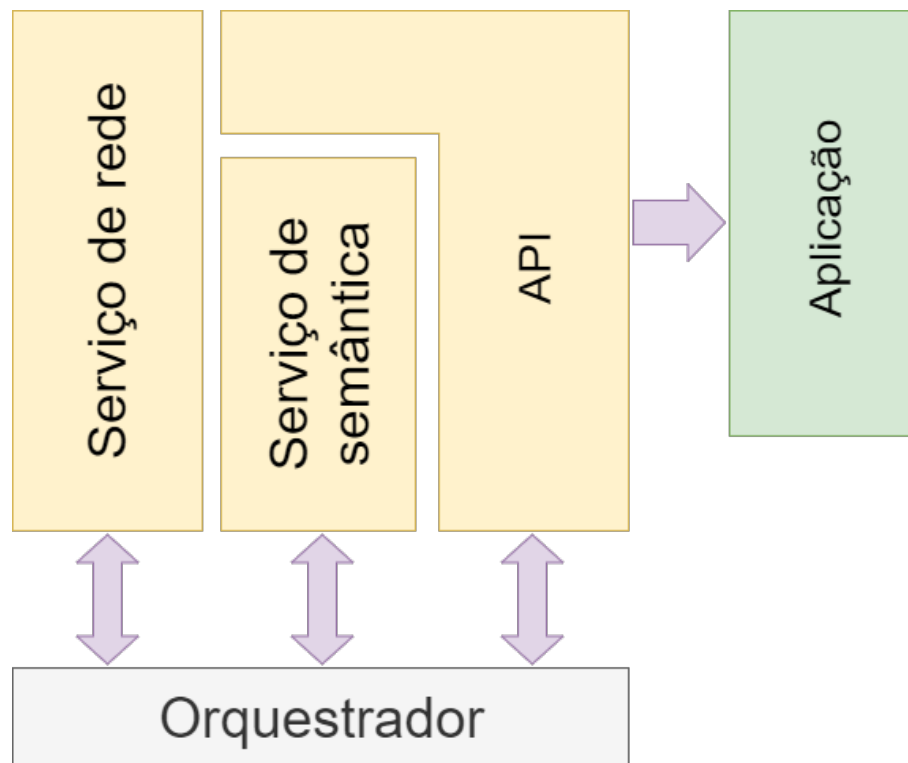


Figura 4.2: Arquitetura geral do *middleware* proposto

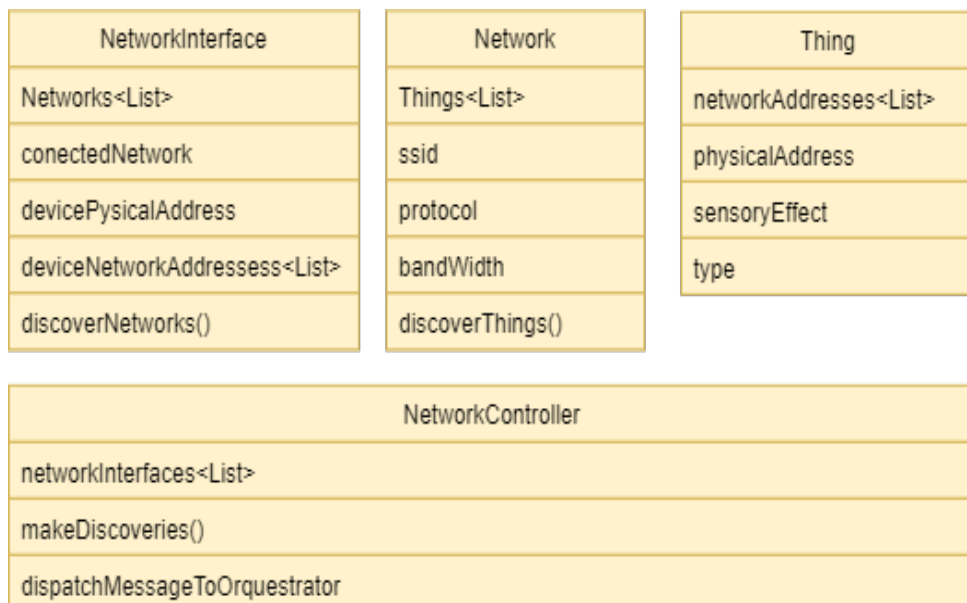


Figura 4.3: Arquitetura do serviço de rede

ficam a cargo de cada implementação. Também, ao elemento “Thing”, são dados atributos que permitem que o mesmo seja identificado quanto as suas capacidades sensoriais. O atributo “sensoryEffect” é, em essência, um atributo que permite ao *middleware* estabelecer a qual capacidade sensorial este elemento está relacionado dentro do vocabulário da aplicação. A metodologia de descoberta das capacidades sensoriais dos dispositivos da rede, também não são fixadas pela modelagem do *middleware* e também ficam a cargo da implementação podendo ser utilizados padrões de identificação como IEEE 1451 (IEEE, 2007). Ainda sobre o elemento “Thing”, é necessário também, dar capacidade a este elemento de receber mensagens, caso seja um atuador, e de enviar mensagens à aplicação, caso seja um sensor. Para tal, o modelo propõe que cada mensagem recebida pelo serviço de rede, seja associada ao “Thing” através de seu endereço de rede, e que tal mensagem seja propagada ao restante do *middleware* através do orquestrador (mais detalhes sobre este elemento serão fornecidas posteriormente). O mesmo vale para caso seja necessário enviar uma mensagem à este “Thing”, caso o mesmo seja um atuador. A discriminação entre sensores e atuadores é feita pelo atributo “type”.

Quanto ao elemento “Network”, este é uma representação da rede na qual determinada interface do dispositivo esteja conectada. Este elemento reúne informações de controle como, identificadores, protocolo, segurança e largura de banda que, em uma possível implementação poderiam ser utilizadas como meios de prover QoS à aplicação. Também, este elemento é responsável por armazenar as “Things” que estão disponíveis em sua rede. É importante que este serviço seja capaz de prover uma descoberta dinâmica da rede, e que seja capaz de avaliar e reavaliar durante a execução da aplicação, a disponibilidade de cada “Thing” sob sua observação.

O elemento “NetworkInterface” representa as diversas interfaces de rede que podem ser suportadas pelo dispositivo e, além de também armazenar informações de controle, como endereçamento do dispositivo, também fica responsável por implementar a descoberta de redes conectáveis através daquela interface. Assim como na descoberta dinâmica de “Things” é importante que este elemento seja capaz de reconhecer redes conectáveis e reavaliar suas disponibilidades durante a execução da aplicação.

O último elemento do serviço de rede é o “NetworkController”. Como o nome

sugere, este elemento é responsável por realizar o controle dos recursos do serviço de rede, tão bem quanto lidar com a entrada e saída de dados deste serviço utilizando o intermédio do orquestrador. Mais especificamente, este elemento deve prover as seguintes funcionalidades: armazenar o conjuntos de interfaces de rede do dispositivo, gerenciar a descoberta de interfaces de rede, redes e dispositivos dentro destas redes (que correspondem aos elementos citados anteriormente) e ser capaz de fazer uso do orquestrador para recolher dados de entrada do serviço de rede e disparar eventos de descobertas de elementos sensoriais, tão bem quanto analisar e atribuir autoridade aos dados sensoriais que chegarem da rede. Ou ainda, requisitar ao orquestrador, o envio de algum comando a um atuador da rede. Também, este elemento deve entregar como funcionalidade a oferta de um conjunto de métodos que permitam à API fornecer ao usuário informações sensíveis ao controle da rede. Embora, a intenção do *middleware* seja de oferecer aos usuários simplicidade ao lidar com as complexidades da rede, faz-se necessário também, que sejam ofertadas para consulta as às propriedades armazenadas nos demais elementos do serviço (interfaces, redes e elementos da rede). Dessa forma, o “NetworkController” oferece uma API própria para consultas externas.

### 4.1.2 Serviço de Semântica

Já o serviço de semântica, ilustrado na Figura 4.4, é responsável por realizar a tradução dos comandos sensoriais dados ao *middleware* pela aplicação, em comandos que possam ser interpretados e despachados pelo serviço de rede. Também, o serviço de semântica, é responsável por armazenar todas as informações configuráveis relacionadas aos efeitos sensoriais do domínio da aplicação. Por exemplo, caso o usuário expanda o vocabulário sensorial, será necessário realizar a definição destes novos termos do vocabulário em função dos antigos ou, caso esta relação não possa ser feita, ficará a cargo do usuário fornecer a relação entre os elementos da rede e os novos termos inseridos.

O primeiro elemento deste serviço é o “SensoryEffect”. Apesar do nome, este elemento não está relacionado apenas a efeitos sensoriais a serem executados pela aplicação, mas sim, se refere a um informação sensorial genérica. Por exemplo, dois elementos da rede, digamos, um termômetro e um aparelho de ar condicionado, estariam relacionados

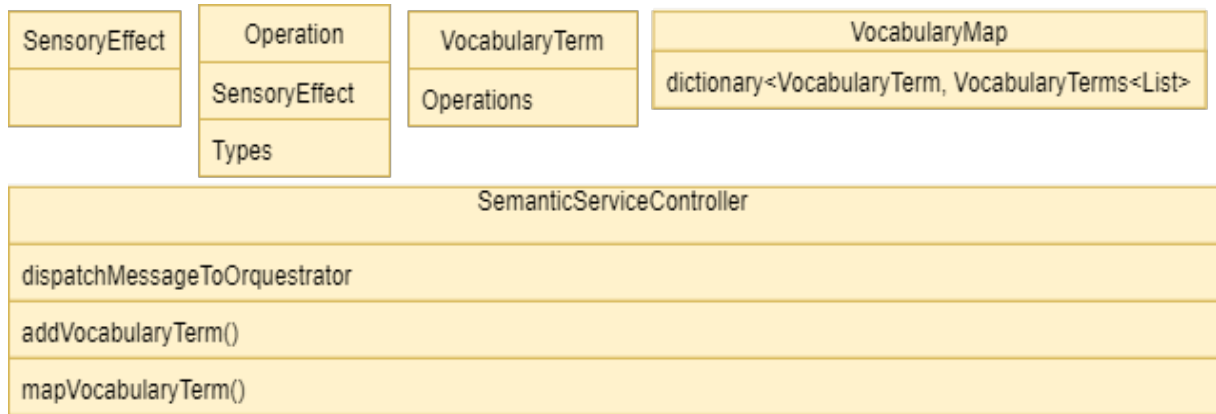


Figura 4.4: Arquitetura do serviço de semântica

ao “SensoryEffecttemperatura”, mesmo que um seja um sensor e o outro um atuador. O vocabulário de efeitos sensoriais e seus atributos são compostos por aqueles estabelecidos no capítulo 5 de ISO/IEC (2013a) e envolvem efeitos como luz, flash, temperatura, vento, odor e outros, além de seus atributos.

“SensoryEffects” precisam ser relacionados a “VocabularyTerms”, neste caso, um termo do vocabulário pode ser composto de um ou mais efeitos sensoriais. Tais efeitos sensoriais são agrupados através de “Operators”, que podem ser lógicos ou operacionais. Por exemplo, é possível que se possa incluir no vocabulário do domínio da aplicação, o termo “x” e declarar que este termo se refere ao efeito sensorial “a” mais “b” seguidos de “c” ou somente “d”, algo que poderia ser externalizado, por exemplo, da seguinte forma “ $x = (a+b \rightarrow c) \parallel d$ ”. Desta maneira, o *middleware* deve ser capaz de dar suporte a composição de efeitos com operadores lógicos acrescidos dos operadores de “condição”, que permite que dois efeitos sejam relacionados a partir de uma condição de leitura de um efeito sensorial, de “sequencia”, que se refere a executar um efeito logo após outro, “paralelo” ou “com atraso”. O modelo não abrange exatamente como deverão ser expressas estas declarações, deixando assim, a cargo da implementação. Também, vale notar que a forma com que o modelo é proposto deixa aberta também, a possibilidade de expansão das operações ofertadas pelo *middleware*.

Ainda sobre as atribuições do serviço de semântica, o mesmo deve dar suporte para que o usuário tenha a possibilidade de configurar efeitos substitutos, para a eventualidade de o efeito sensorial requisitado pela aplicação não esteja ou deixe de estar disponível nas diversas redes em que a aplicação possa estar inserida. O suporte a este recurso é for-

nechido pelo elemento “VocabularyMap”. Este elemento se trata de um dicionário cuja sua chave se refere a um “VocabularyTerm” que representa determinado efeito sensorial e no qual seu valor, é expresso por uma lista contendo outros termos do vocabulário ordenados em ordem de prioridade. Dessa forma, caso a aplicação requirite a execução do efeito de determinado termo do vocabulário, se um dos efeitos que compõem este termo não estiver disponível, o *middleware* terá a opção de executar os efeitos do termo explicitado no valor do dicionário (cuja a chave é o efeito solicitado).

Por fim, o último elemento do serviço de semântica é o seu controlador, expressado pelo elemento “SemanticServiceController”, este elemento fica responsável por receber e despachar comandos ao orquestrador. O serviço deve receber as instruções solicitadas pela aplicação através da API e, utilizando sua lógica interna, traduzir estes comando para instruções que possam ser interpretadas pelo serviço de rede, que por sua vez, propagará estas instruções para a rede de sensores e atuadores.

### 4.1.3 Orquestrador

Para finalizar a discussão sobre os elementos da modelagem do *middleware* proposto, será apresentado agora o detalhamento do funcionamento do Orquestrador. Tal elemento, fica com a atribuição de responsabilidade de ser o intermediário entre as trocas de mensagens entre os diversos módulos do modelo e também, por extensão, intermediar o recebimento e envio de mensagens para a rede na qual o dispositivo estiver inserido.

O funcionamento interno do Orquestrador neste modelo é tal qual, que este realiza a propagação de mensagens entre os serviços do *middleware* seguindo um paradigma *publish/subscribe*. Desta forma, os serviços trocam informações entre si publicando mensagens no Orquestrador e se inscrevendo em canais de mensagens de interesse para o funcionamento do serviço. Conforme ilustrado na Figura 4.5, o orquestrador é composto de diversas filas onde são armazenadas as mensagens pertinentes a determinado serviço. No início da execução da aplicação, cada serviço disponível no *middleware* deve ser capaz de instanciar filas pertinentes ao seu funcionamento no Orquestrador além de terem a responsabilidade de registrarem a sua própria existência, dando ao Orquestrador o conhecimento de quais serviços estão disponíveis. Desta maneira, o *middleware* adquire a



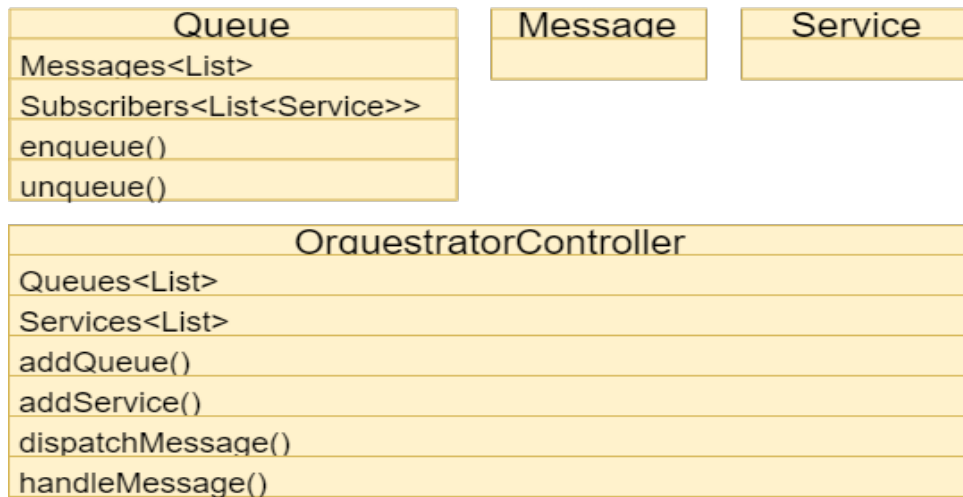


Figura 4.5: Arquitetura do Orquestrador

capacidade de ser um elemento modularizado onde serviços podem ser adicionados ou removidos conforme a necessidade da implementação.

Para exemplificar o funcionamento do Orquestrador, suponhamos o seguinte cenário: ao se iniciar a reprodução da aplicação, os diversos serviços do *middleware* precisarão ser instanciados e, neste processo, terão a oportunidade de se registrarem e declararem que estão à disposição dos demais serviços. Neste momento, o Serviço de rede, que terá a necessidade de enviar e receber mensagens das diversas redes disponíveis ao dispositivo, deve requisitar a instanciação de duas filas ao Orquestrador, uma referindo-se ao envio de mensagens na rede e outra referente ao recebimento destas mensagens. Após isso, o serviço de rede será responsável por requisitar sua inscrição na fila de recebimento de mensagens e também de realizar a publicação na fila de envio de mensagens à rede. Assim como neste exemplo foi explicitado como poderia se dar o funcionamento da interação dos serviços com um meio externo, que é a rede, o mesmo processo pode ser estabelecido para intermediar a comunicação entre os diversos serviços presentes no *middleware*.

#### 4.1.4 Demais aspectos do *middleware*

Vale notar, que dentro do funcionamento do modelo proposto, seria possível incluir, de forma a complementar seu escopo, um serviço dedicado a questões relacionadas à QoS para a representação dos efeitos sensoriais. Tal serviço poderia abordar tanto questões relacionadas à comunicação com a rede quanto a reprodução dos efeitos sensoriais. Porém,

em relação ao serviço de QoS, acredita-se que propostas para a resolução do seu funcionamento poderiam compor integralmente o escopo de outro trabalho e, explorar estas possibilidades, fugiria ao propósito deste. Portanto, assim como o anterior, a exposição de técnicas de QoS aplicadas à IoT ou a aplicações *multimedia*, não será abordada neste trabalho.

O elemento que resta ser exposto para completar o escopo da modelagem do *middleware* proposto é a API. Este elemento se trata de um componente que tem como responsabilidade exercer o papel de intermediário entre a aplicação que fará uso desta ferramenta e os serviços que compõem o mesmo. O modelo não estabelece de forma pré-fixada se a API deverá ser implementada de forma imperativa ou descritiva, o que dá um ponto de comparação com o MPEG-V, uma vez que sua linguagem de descrição de efeitos, o SEDL, é necessariamente declarativa. A adoção desta API se justifica pela intenção de tornar transparente ao usuário do *middleware* os detalhes do funcionamento interno do mesmo, fornecendo assim, apenas o ferramental de alto nível para a aplicação. Tal ferramental se expõe nas seguintes funcionalidades:

- Fornecer ao usuário que deseje fazer uso, meios de acesso aos dados dos demais serviços do *middleware*, uma vez que informações, por exemplo, da rede na qual o *middleware* está inserido podem ser de serventia a usuários avançados;
- Executar efeito sensorial explicitando o "VocabularyTerm" e seus parâmetros, conforme definidos em ISO/IEC (2013a);
- Requisitar valor da informação de um sensor explicitando o "VocabularyTerm" a qual o sensor está relacionado;
- Inserir manualmente um elemento "Thing" na rede explicitando o tipo da rede em que se encontra este elemento, o identificador desta rede, seu endereço de rede e a qual "SensoryEffect" e "VocabularyTerm" este "Thing" está associado;
- Verificar disponibilidade de execução de efeito ou coleta do valor de determinado "VocabularyTerm" dentre as redes nas quais o dispositivo está inserido;

- Configurar se a instância do *middleware* é o elemento mestre da rede, ou seja, se é o responsável pela execução da aplicação *mulsemedia*;
- Fornecer ao usuário métodos para de sincronização de tempo da reprodução do conteúdo *mulsemedia* com um cronômetro mantido pelo *middleware* a fim de que a reprodução dos efeitos sensoriais possa ser feito de forma síncrona.

## 4.2 Considerações Sobre o Capítulo

Neste capítulo foram expostos os elementos considerados blocos construtores para a realização do objetivo deste trabalho, que é a integração entre aplicações multimídia e redes de sensores e atuadores. No capítulo seguinte, é exibido uma prova de conceito que busca mostrar a validade da modelagem exibida neste capítulo.

## 5 Prova de Conceito

A fim de realizar uma validação e dar validade prática ao modelo proposto neste trabalho, são apresentados a seguir, a implementação e os mecanismos de funcionamento de uma prova de conceito do *middleware* proposto no capítulo anterior. Tal prova de conceito, consiste em uma aplicação com o propósito de demonstrar as capacidades do modelo de disponibilizar a principal funcionalidade da qual o mesmo se propõe promover, que é a interação com elementos de uma rede de sensores e atuadores, possibilitando-os executar processos de reprodução multi sensorial e de obter informações sensoriais do ambiente no qual uma aplicação multimídia é executada.

### 5.1 Cenário

Como cenário para a aplicação da prova de conceito do modelo proposto, foi aplicado o ilustrado na Figura 5.1. Nela, podemos perceber que o mesmo consiste de três dispositivos conectados à uma rede WLAN. O dispositivo A, corresponde à uma máquina Linux Ubuntu 18.04 LTS onde é executada a implementação da prova de conceito e que estabelecerá conexão com os outros dois elementos da rede. A máquina A possui a sua disposição 8 GB de memória RAM e um processador Intel Core™ i7-4510. Os elementos B e C, correspondem à máquinas virtuais cujo anfitrião é o elemento A. Ambas foram configuradas para terem à sua disposição 1024 MB de memória RAM.

Quanto ao papel de cada elemento no cenário, o dispositivo A faz o papel do reprodutor de mídia. A tem como função abrigar a implementação do *middleware* e executará também um simulacro de aplicação multimídia que se comunicará via uma API com o mesmo. Também, A possui a sua disposição um *display* onde será exibido conteúdo audiovisual, vale notar que esta reprodução audiovisual não é, de fato, executada pela prova de conceito e serve apenas como exemplo pra ilustrar como poderia ser realizado o funcionamento da aplicação. O elemento B, faz o papel de um atuador na rede. O mesmo executa um código que permite com que o mesmo receba mensagens da rede, e

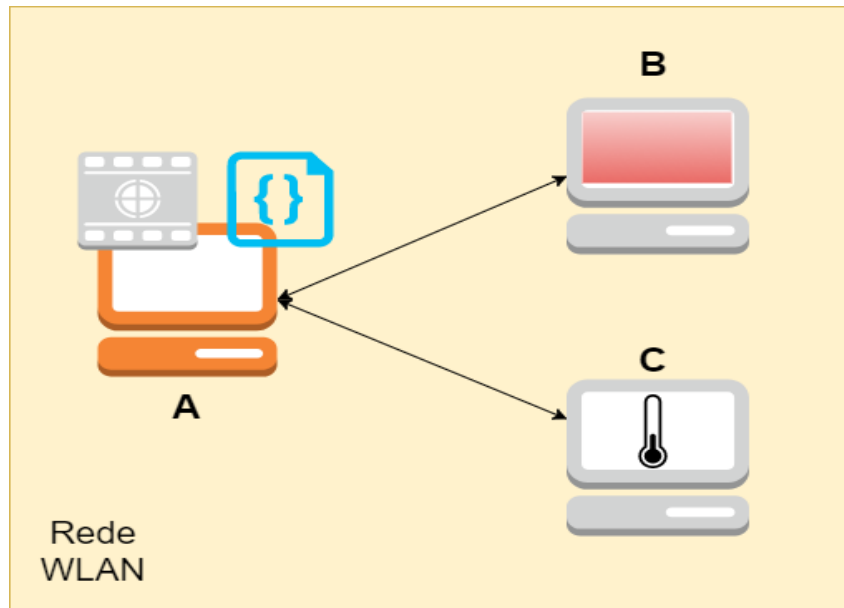


Figura 5.1: Esquemática da prova de conceito.

responda às instruções concedidas pelo elemento A. B atua no cenário como um atuador de luz e que expressa sua funcionalidade através de uma janela que pode ser colorida a partir de comandos recebidos através da rede. Já o elemento C faz o papel de um sensor de temperatura na rede. Nele, é executada a implementação de um código que permite com que o mesmo seja capaz de receber mensagens na rede e funcionar como um sensor de temperatura. As informações fornecidas por este simulacro de sensor, são adquiridas através de uma API REST fornecida pelo serviço OpenWeatherMap (OPENWEATHER-MAP, 2012) e configuradas para exibir a temperatura, em Celcius, da cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais.

## 5.2 Funcionamento

Para demonstrar o funcionamento do principal aspecto do *middleware*, a realização de operações com efeitos sensoriais, o simulacro de aplicação *mulsemedia* que foi implementado para ser executado no dispositivo A, tem o seguinte propósito: Primeiro, a aplicação tem por intenção criar um efeito de ambientação do usuário com o meio de reprodução, para tal, a aplicação gostaria de solicitar que a luz ambiente do meio seja adequada à temperatura do ambiente onde a aplicação é executada. Segundo, em determinado momento da execução da aplicação, a mesma gostaria de solicitar que um conjunto específico de

```
import API.APIController;

public class Main {

    public static void main (String[] args) {
        APIController api = new APIController();

        api.setConditionalEffect( name: "Calor", condition: "Temperature >= 20", consequence: "Light = #ff0000");
        api.setConditionalEffect( name: "Frio", condition: "Temperature < 20", consequence: "Light = #0000ff");

        String[] chainOfEffects = new String[]{"Light = #ff0000", "Light = #0000ff"};
        api.setSequenceEffect( name: "Festa", chainOfEffects);

        api.activateEffect( effectName: "Calor", instant: 0, duration: 0);
        api.activateEffect( effectName: "Frio", instant: 0, duration: 0);
        api.activateEffect( effectName: "Festa", instant: 5000, duration: 1000);

        if (api.readTemperature() > 20) {
            api.start( content: "ConteudoPraia");
        }
        else {
            api.start( content: "ConteudoNeve");
        }
    }
}
```

Figura 5.2: Instanciação de efeitos feito pela aplicação

atuações de luz fossem executadas no ambiente, independentemente do estado do mesmo. Além disso, a aplicação tem como pretensão, utilizar os dados da temperatura do ambiente para determinar, de forma reativa, como ocorrerá a execução da mesma. Mais especificamente, a aplicação deseja exibir cenas audiovisuais com imagens de um ambiente de neve, caso a temperatura local esteja baixa ou executar cenas ambientadas em uma ilha tropical caso a temperatura ambiente esteja alta.

Dadas as intenções da aplicação *mulsemedia*, a Figura 5.2 mostra a forma com que a API disponibiliza a configuração dos efeitos desejados ao criador da aplicação. Embora o modelo não especifique que a API tenha formato imperativo ou declarativo, para demonstração deste trabalho foi implementada uma API imperativa. Vale notar também nesta Figura, que é explicitado neste momento, outro elemento crucial para a reprodução dos efeitos requisitados pela API, a tempo no qual o efeito deve ser executado. No caso desta prova de conceito, foi adotado o padrão de marcação deste tempo em mili segundos.

### 5.2.1 Descoberta da Rede

A partir do momento da execução da aplicação, o *middleware*, instanciado no elemento A da Figura 5.1, inicia suas atividades através da descoberta da rede na qual o mesmo está inserido. O processo no qual esta descoberta é feita consiste no *broadcast* de uma

```
{  
  "seqNumber": "1"  
  "messageType": "recon"  
  "ipv4Address": "192.168.15.11"  
  "ipv6Address": "2804:7f2:2180:1aae:58bd:6e69:b880:9dc5"  
  "role": "master"  
}
```

Figura 5.3: Mensagem de reconhecimento da rede.

mensagem conforme ilustrada na Figura 5.3. Uma vez que o modelo não especifica uma metodologia específica para a descoberta da rede, esta mensagem foi constituída com a intenção de se mostrar como um simulacro de protocolo, conveniente para a demonstração do funcionamento geral do *middleware*. No caso de uma implementação mais aprofundada, se torna mais adequada a utilização de algum padrão específico para se estabelecer esta comunicação entre o *middleware* e os demais elementos da rede, um exemplo de protocolo que poderia ser utilizado é o COAP (SHELBY; HARTKE; BORMANN, 2014).

A partir do descobrimento da rede, o *middleware* tem a oportunidade de mapear as capacidades sensoriais de cada elemento presente na mesma. No caso do cenário exposto, é descoberto que o ambiente de reprodução possui à disposição um atuador de efeitos luminosos e um sensor de temperatura. Sendo assim, como os efeitos solicitados pela aplicação multimídia estão dentro das capacidades da rede, o *middleware* não terá de fazer uso de suas capacidades de adaptação, utilizando-se de seu dicionário de efeitos sensoriais, capaz de relacionar um efeito a outros em ordem de prioridade de substituição ou equivalência.

### 5.2.2 Instanciação de Efeitos Sensoriais

Uma vez iniciado o fluxo de execução da aplicação *mulsemedia*, a Figura 5.1 evidencia que se iniciam as instanciações de efeitos sensoriais. Nesta etapa, o usuário tem a oportunidade de se utilizar da funcionalidade de composição de efeitos sensoriais para criar efeitos complexos que podem ser definidos a partir da soma de outros efeitos sensoriais e um operador. Por exemplo, neste caso, foi criado um efeito complexo que relaciona os efeitos

“luz” e “temperatura” com o operador “condicional” para a composição de um efeito que altera a cor da luz ambiente de acordo com a temperatura do mesmo. Como o código expressa, a intenção é criar dois efeitos, um chamado “Calor” e outro chamado “Frio”, que expressam que, caso a temperatura do ambiente esteja maior que 20<sup>o</sup> Celcius, a luz ambiente deve ser de cor vermelha e, caso contrário, a luz deve ter coloração azul. Vale notar também, que tais efeitos são determinados a estarem vigentes desde o início da reprodução da aplicação. Ainda, a aplicação determina que aos cinco segundos desde o início da reprodução inicie-se um efeito sensorial, “Festa”, que consiste na execução de dois efeitos de luz em sequência e que devem ter a duração de um segundo cada. Após a instanciação dos efeitos a aplicação determina que deve-se dar início à reprodução do conteúdo. Uma vez iniciada a reprodução, a Figura 5.1 mostra também, que a aplicação requisita leituras constantes da temperatura ambiente para realizar tomadas de decisão durante a execução do conteúdo da aplicação.

### 5.2.3 Reprodução Dos Efeitos Sensoriais

Uma vez declaradas as necessidades da aplicação, e iniciada a reprodução do conteúdo *multimedia*, o *middleware* precisa garantir que os efeitos sensoriais requisitados sejam reproduzidos pelos elementos da rede e que as informações sensoriais requisitadas sejam entregues à aplicação. Para tal, o *middleware* opera da seguinte forma: uma vez feitos ativos os efeitos sensoriais declarados, ou seja, uma vez que se determine seus momentos de execução, estes entram para um lista de efeitos ativos do serviço de semântica, sobre a qual, o serviço itera constantemente com o intuito de determinar se existe necessidade de realizar alguma ação sobre este efeito. Por exemplo, os efeitos sensoriais declarados “Calor” e “Frio”, estão ativos e vigentes desde o início da execução da aplicação, portanto, a cada iteração sobre a lista, o *middleware* precisa realizar a leitura dos valores da temperatura do ambiente. Esta leitura é feita enviando ao serviço de rede uma requisição expressando-se a necessidade de se obter periodicamente as leituras de valores relacionados ao efeito do vocabulário referente à temperatura. Estas leituras são armazenadas numa fila instanciada dentro do serviço de rede e, sempre que existe uma requisição solicitando estes valores, é entregue a última leitura realizada do sensor.



Uma vez que o serviço de semântica, através de requisições ao serviço de rede (via o orquestrador), possui leituras sobre o valor da temperatura do ambiente, o mesmo obteve as informações necessárias para realizar o processamento da operação “Calor” e “Frio”, determinando se existe ou não a necessidade de realizar nova requisição ao serviço de rede pedindo a escrita de determinado valor ao efeito sensorial “luz”. Além disso, o serviço de semântica, ao iterar sobre a lista de efeitos ativos, realiza a comparação do tempo de reprodução, que é mantido pelo próprio serviço e determina se existe, ou não, a necessidade de requisitar ao serviço de rede a escrita de valores para “luz” capazes de reproduzir o efeito declarado como “Festa”. Também, a aplicação requisita, de forma síncrona, informações sobre os valores de temperatura durante a reprodução para realizar tomadas de decisão durante o processamento do conteúdo *multimedia* a ser exibido. Dessa forma, a API com a qual o usuário está em contato, também precisa ser capaz de requisitar ao serviço de semântica, informações referentes ao valor da temperatura detectada pelo sensor na rede. Uma vez que a aplicação tenha esta informação, o comando de início de execução do conteúdo pode ser feito, fornecendo ao *middleware* a fonte do conteúdo audiovisual que será reproduzido, a fim de que o relógio mantido pelo mesmo, esteja sempre em sincronia com o tempo de execução do conteúdo.

A Figura 5.4 ilustra o cenário de funcionamento da prova de conceito durante a reprodução do conteúdo.

## 5.3 Considerações Sobre o Capítulo

Neste capítulo são expostas, além de uma ilustração de um possível cenário de uso do *middleware* proposto, alguns detalhes de como se visiona o funcionamento interno do modelo para que sejam entregues as funcionalidades alvo da proposta.

Quanto à prova de conceito, vale notar que ela não representa um instanciação completa do *middleware*, tendo sido implementados apenas as peças necessárias para demonstrar a validade do modelo. Além disso, a prova de conceito não faz uso perspicaz das lacunas deixadas pelo modelo e que precisam ser preenchidas, idealmente, com padrões consolidados. Exemplo disso, é a metodologia de descoberta de rede.

No capítulo seguinte, serão expostas algumas considerações finais sobre este traba-

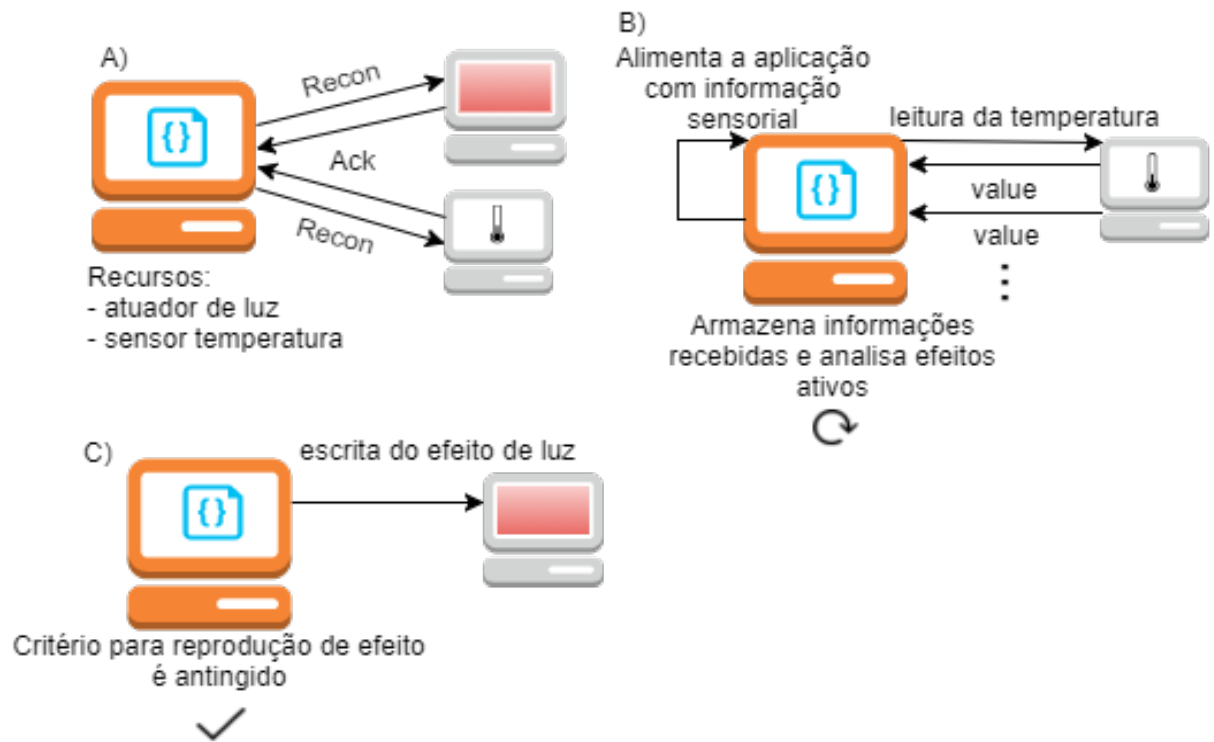


Figura 5.4: Esquemática do funcionamento da prova de conceito.

lho, a fim de denotar as principais contribuições oferecidas pelo modelo, as oportunidades de trabalhos futuros e uma breve comparação com o MPEG-V.

## 6 Conclusão

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi apresentado um cenário específico de aplicações multimídia que, conforme exposto, vai de encontro e se alinha com os paradigmas de Internet das Coisas. Primeiramente, foi exposto um conjunto de conceituações teóricas, capazes de introduzir os fundamentos da Internet das Coisas. Nesta parte, exibem-se seus principais preceitos e também definições. Foi abordado o fato de que, este novo paradigma busca promover a conexão dos mais variados tipos de dispositivos eletrônicos, principalmente aqueles com baixa capacidade computacional, numa rede unificada e de escala global. Foram expostas também, as principais tecnologias habilitadoras para a concretização deste paradigma tão bem quanto os principais desafios que precisam ser abordados para que esta visão seja concretizada.

Mais adiante, também busca-se conceitualizar aplicações *mulsemédia* e, além disso, mostrar como esta categoria de aplicações multimídia tem o potencial de aprimorar a QoE deste tipo de aplicação. Também, buscou-se no decorrer deste trabalho, apresentar alguns exemplos de trabalhos acadêmicos, que façam alguma abordagem destes temas anteriormente citados, de forma a dar validação para a relevância desta pesquisa. O último destes trabalhos, se refere à proposta de criação do padrão MPEG-V (TIMMERER et al., 2009). Tal trabalho, se relaciona de forma muito íntima a este, uma vez que ambos tratam da aproximação entre mundos virtuais e mundos reais através de *mulsemédia*.

### 6.1 Resultados

A partir deste estudo e das informações, tecnologias e ferramentas compiladas por este trabalho, foi possível traçar a importância de se estabelecer um ferramental mais adequado e passível de impulsionar a criação e propagação de conteúdo *mulsemédia*, que pode representar, futuramente, uma evolução na forma com que consumimos aplicações multimídia.

Também, o modelo proposto pode oferecer ferramental capaz de abranger os pon-

tos indicados como sendo seu requisitos finais, como pode apontar a prova de conceito. Dado este cenário, este trabalho é capaz de mostrar uma base para a criação de ferramentas de suporte à integração de redes de sensores e atuadores à aplicações multimídia e acredita-se que o mesmo seja capaz de apontar ou de, ao menos, reforçar a tendência da evolução das aplicações multimídia neste sentido.

Além do citado anteriormente, podemos traçar um paralelo entre os resultados obtidos por este trabalho e seu correspondente mais próximo, que é o padrão MPEG-V. Neste caso, este trabalho se relaciona com o MPEG-V, além de pelo compartilhamento das definições do vocabulário sensorial, pelo fato de que ambos buscam oferecer uma forma mais abstrata de se lidar com a transação de dados entre o que o padrão chama de "mundo real" e "mundo virtual". No caso do padrão MPEG-V, esta especificação de comunicação se dá de forma muito mais explícita do "mundo real" para o "mundo virtual", criando-se uma linguagem (SEDL), cuja funcionalidade é expressar a forma e o momento em que efeitos sensoriais precisam ser reproduzidos pelos atuadores. Já neste trabalho, busca-se oferecer uma forma mais ampla de comunicação entre estes dois mundos, dando suporte aos dois sentidos de fluxo de dados. Também, vale notar o fato de que dentro do padrão MPEG-V, embora fique explícita a capacidade de ampliação do vocabulário, certos tipos de operação não são suportadas pelo SEDL, como por exemplo, a composição de efeitos sensoriais a partir dos termos já existentes no vocabulário, o que abre a possibilidade de trabalhos voltados à expansão do padrão.

Sendo assim, embora o padrão MPEG-V trate de um escopo consideravelmente mais amplo dentro da criação e distribuição de aplicações *multimedia*, este trabalho traz contribuições para parte deste escopo. Mais especificamente, pode-se notar esta contribuição na expansão do suporte à expressões sensoriais que este *middleware* se propõe a apresentar, que são representados pelas operações com os efeitos sensoriais. Vale mencionar também, que outra contribuição deste trabalho é aquela oferecida pelo dicionário de efeitos sensoriais, que permitem um mapeamento, em ordem de prioridade, de efeitos sensoriais que habilita que a reprodução de conteúdo *multimedia* possa se adaptar a cenários em que nem todos os efeitos sensoriais requisitados pela aplicação estejam disponíveis.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Dado tudo que foi apresentado até este ponto, resta apenas que se apontem os principais pontos de melhoria e possibilidade de realizações de trabalhos futuros. Durante a própria apresentação do modelo, foi exposto o fato de que alguns dos serviços apresentados do mesmo, fugiriam o escopo deste trabalho, uma vez que estes poderiam ser tema de uma pesquisa completa. O primeiro deles foi o serviço de descoberta de capacidades sensoriais, tal serviço poderia ser abordado por um trabalho que analisasse as principais estratégias que poderiam habilitar a criação de padrões de comunicação a serem adotados por fabricantes ou até mesmo a proposta de criação de serviços que poderiam abordar este problema.

Também, outro serviço que abre a possibilidade de estudos futuros é o serviço de QoS. Por si só, um estudo de Qualidade de Serviço poderia mudar de forma significativa as funcionalidades ofertadas pelo *middleware* proposto. Tal estudo poderia ter como escopo a abordagem de técnicas para lidar com a enorme variedade de condições na qual uma rede IoT poderia estar submetida como, largura de banda, disponibilidade de energia, disponibilidade de capacidade de processamento, entre outros. Além disso, um serviço de QoS poderia abranger também a melhoria no comportamento dos elementos sensoriais da rede, uma vez que diversos efeitos sensoriais podem ter diversas formas mais adequadas de serem provistas. Um exemplo desta situação pode ser expresso no efeito sensorial de temperatura. Um atuador de temperatura, certamente precisaria ser administrado de forma tal que, sua atuação ocorra no momento exato em que ele é solicitado, requisito que pode ser desafiador, uma vez que transformações bruscas de temperatura necessitam de uma quantidade muito grande de energia.

Por fim, aponta-se também como uma das possibilidades de abordagens a serem feitas por trabalhos futuros, a ampliação dos serviços entregues pela API do *middleware*. Seria possível, por exemplo, expandir as funcionalidades do mesmo e alterar suas abstrações, para oferecer serviços que abrangessem outros tipos de domínios de aplicação que também possam extrair benefícios de redes de sensores e atuadores.

## Bibliografia

- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer networks*, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- DUNKELS, A.; VASSEUR, J. *IP for smart objects, internet protocol for smart objects (IPSO) alliance, white paper# 1*. 2010.
- GERSHENFELD, N.; KRIKORIAN, R.; COHEN, D. The internet of things. *Scientific American*, JSTOR, v. 291, n. 4, p. 76–81, 2004.
- GHINEA, G. et al. Mulsemedia: State of the art, perspectives, and challenges. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, ACM, v. 11, n. 1s, p. 17, 2014.
- IEEE802.15. Ieee standard for telecommunications and information exchange between systems - lan/man - specific requirements - part 15: Wireless medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications for wireless personal area networks (wpans). 2002.
- IEEE. The ieee 1451 standard for smart transducers. 2007. Disponível em: [https://standards.ieee.org/standard/1451\\_0-2007.html](https://standards.ieee.org/standard/1451_0-2007.html).
- INFSO, D. Networked enterprise & rfid info g. 2 micro & nanosystems, in co-operation with the working group rfid of the etp eposs, internet of things in 2020, roadmap for the future [r]. *Information Society and Media, Tech. Rep*, 2008.
- ISO/IEC. Iso/iec 18000-1: Radio frequency identification for item management – part 1: Reference architecture and definition of parameters to be standardized. 2008.
- ISO/IEC. *Information technology — Media context and control — Part 3: Sensory information*. Geneva, CH, 2013.
- ISO/IEC. Iso/iec 23005-3: Information technology – media context and control – part 3: Sensory information. 2013.
- ISO/IEC. Investigation on media-centric internet of things. 2015.
- ITU. The internet of things. In: . [S.l.: s.n.], 2005.
- ITU. Overview of the internet of things. In: . [S.l.: s.n.], 2012.
- LEE, B.-C. et al. Immersive live sports experience with vibrotactile sensation. In: SPRINGER. *INTERACT*. [S.l.], 2005. p. 1042–1045.
- OPENWEATHERMAP. *Current weather and forecast - Open Weather Map*. 2012.
- SHELBY, Z.; HARTKE, K.; BORMANN, C. *The constrained application protocol (CoAP)*. [S.l.], 2014.
- TIMMERER, C. et al. Interfacing with virtual worlds. *Network and Electronic Media Summit*, 2009.

TOMA, I.; SIMPERL, E.; HENCH, G. A joint roadmap for semantic technologies and the internet of things. In: *Proceedings of the Third STI Roadmapping Workshop, Crete, Greece*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 1.

VÁZQUEZ, I. Social devices: Semantic technology for the internet of things. *Week@ ESI, Zamudio, Spain*, 2009.

YUAN, Z.; GHINEA, G.; MUNTEAN, G.-M. Quality of experience study for multiple sensorial media delivery. In: IEEE. *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2014 International*. [S.l.], 2014. p. 1142–1146.