



JAMES MENDES MIRANDA MARTINS

DISPOSITIVO OLFATIVO PARA EXPLORAÇÃO DE
AMBIENTES VIRTUAIS

CAMPO LIMPO PAULISTA
2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA
MESTRADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

JAMES MENDES MIRANDA MARTINS

**Dispositivo olfativo para exploração de ambientes
virtuais**

Orientador – Prof. Dr. Marcelo de Paiva Guimarães

**Dissertação apresentada ao
Programa de Mestrado em Ciência da
Computação do Centro Universitário
Campo Limpo Paulista para obtenção de
mestre em Ciência da Computação.**

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

CAMPO LIMPO PAULISTA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca Central da Unifaccamp

M343d

Martins, James Mendes Miranda

Dispositivo olfativo para exploração de ambientes virtuais /
James Mendes Miranda Martins. Campo Limpo Paulista, SP:
Unifaccamp, 2019.

Orientador: Prof^o. Dr. Marcelo de Paiva Guimarães

Dissertação (Programa de Mestrado em Ciência da
Computação) – Centro Universitário Campo Limpo Paulista –
Unifaccamp.

1. *Display* olfativos. 2. Sentidos humanos. 3. Olfato. 4.
Realidade virtual. I. Guimarães, Marcelo de Paiva. II. Campo
Limpo Paulista. III. Título.

CDD – 006.68

Agradeço primeiramente a Deus por mais uma oportunidade, ao meu paciente e sábio orientador Dr. Prof. Marcelo Guimarães, à minha dedicada esposa Tirza Martins, meu abençoado filho Daniel, revisora Jéssica Manfrim e amigos.

RESUMO

A visão e a audição são os sentidos humanos comumente usados em aplicações de realidade virtual para fornecer imersão aos usuários. Este trabalho tem como um dos objetivos apresentar uma solução de *hardware* e *software* para construir aplicações de realidade virtual usando estímulos olfativos. Para isso, foi desenvolvido um dispositivo olfativo e uma biblioteca para o desenvolvimento do ambiente virtual com o uso do sentido olfativo. Para medir a experiência um estudo de caso foi realizado por meio de um experimento. O resultado foi um equipamento customizado, construído com componentes de baixo custo, código aberto e de fácil uso. Com base nas técnicas de pesquisa experimental, também observou-se que todas as médias dos participantes do grupo que navegaram no ambiente com aroma, independentemente de gênero, idade e treinamento, tiveram um *feedback* positivo e significativo.

Palavras-chave: *Display* olfativos, sentidos humanos, olfato, realidade virtual.

ABSTRACT

Vision and hearing are the human senses commonly used in virtual reality applications to provide immersion to users. This paper aims to present a hardware and software solution to build virtual reality applications using olfactory stimuli. For this, an olfactory device and a library were developed for the development of the virtual environment using the olfactory sense. To measure the experience a case study was conducted through an experiment. The result was custom-made equipment built with low-cost, open-source, easy-to-use components. Based on the experimental research techniques, it was also observed that all means of the group participants who sailed in the aroma environment, regardless of gender, age and training, had positive and significant feedback.

Keywords: *Display smells, human senses, smell, virtual reality.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do tempo dos trabalhos relacionados.....	25
Figura 2 – Sensorama: equipamento projetado por Heilig (HEILIG, 1962).....	25
Figura 3 – Dispositivo gerador de aroma FriendPark (SHIGENO, 2001)	26
Figura 4 – Dispositivo olfativo gerador de aroma do tipo canhão (YANAGIDA et al., 2003).....	27
Figura 5 – iSmell, à esquerda, e o Osmooze, à direita (KAYE, 2004)	28
Figura 6 – Frascos de perfume ativados por solenoide (KAYE, 2004)	28
Figura 7 – Sistema integrado olfativo (BODNAR, 2004)	29
Figura 8 – Autosampler: sistema integrado de difusão com mistura de diversos tipos de aromas (NAKAMOTO; MINH, 2007)	30
Figura 9 – Sistema de ejeção olfativa que gera aroma a cada inspiração (SATO, 2009) .	30
Figura 10 – Sistema de apresentador visual-olfativo (NAMBU et al., 2010)	31
Figura 11 – Sistema de apresentador visual-olfativo-gustativo (NARUMI 2011)	32
Figura 12 – Sistema de apresentador visual-olfativo-gustativo (FERNANDES 2015)	33
Figura 13 – Arquitetura do Ambiente	36
Figura 14 – Arquitetura do Raspberry PI + AndroidThings OS.....	37
Figura 15 – Esquema do difusor de aroma.....	41
Figura 16 – Esquema entre a placa Raspberry PI e o acionador	41
Figura 17 – Circuito da bateria do tipo LiPo	42
Figura 18 – Esquema do Circuito Regulador de Tensão	42
Figura 19 – Protótipo final do equipamento customizado.....	43
Figura 20 – Utilização do protótipo customizado com difusor de aroma	44
Figura 21 – Esquema da estrutura da biblioteca de comunicação.....	45

Figura 22 – Biblioteca: caso de uso do módulo cliente	46
Figura 23 – Biblioteca: diagrama de classe do módulo cliente	46
Figura 24 – Biblioteca: diagrama de classe do módulo server	47
Figura 25 – Aplicação RV projetada e integrada ao display olfativo	48
Figura 26 – Aplicação RV: momento que o usuário deverá receber o aroma.....	49
Figura 30 – Escala de cores em direção às extremidades positivas e agradáveis das escalas de resposta, mesmo que suas experiências sejam negativas.....	58
Figura 28 – Grupo A: Resultado com aroma	59
Figura 29 – Grupo B: Resultado sem aroma.....	61
Figura 30 – Avaliação da experiência Grupo A x Grupo B	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas executadas no experimento	54
Tabela 2 – Questionário	56
Tabela 3 – Resultado Questionário Grupo A	60
Tabela 4 – Respostas Questionário Grupo B	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Program Interface</i>
ARM	<i>Advanced Risc Machine</i>
CAVE	<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>
GPIO	<i>General Purpuse Input/Output</i>
H ₀	Hipótese Nula
H ₁	Hipótese Alternativa
HAL	<i>Hardware Abstraction Layer</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
HMD	<i>Head Mounted Display</i>
HTTP	<i>HiperText Transfer Protocol</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LiPo	Lítio-Polímero
REST	<i>Representational State Tranfer</i>
RV	Realidade Virtual
SAW	<i>Surface Acoustice Wave (Onda de Superfície Acústica)</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SoC	<i>System on Chip</i>
TSL	<i>Things Support Library</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VR	<i>Virtual Rality</i>
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Objetivos.....	10
1.2 Estrutura do texto.....	11
2. A REALIDADE VIRTUAL E A EXPLORAÇÃO DOS SENTIDOS	12
2.1 Introdução	12
2.2 Dispositivos de Realidade Virtual	13
2.2.1 Olfato.....	14
2.2.2 Visão	18
2.2.3 Audição.....	18
2.2.4 Tato.....	19
2.2.5 Paladar.....	20
2.3 Aplicações de Realidade Virtual.....	21
2.4 Considerações finais	23
3. TRABALHOS RELACIONADOS	24
3.1. Projetos e desenvolvimento dos <i>displays</i> olfativos	24
3.2 Considerações finais	34
4. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO	35
4.1 Arquitetura do Ambiente Virtual.....	36
4.1.1 <i>Raspberry PI3</i>	37
4.1.2 Placa reguladora de tensão	38
4.1.3 Difusor de aroma	39
4.1.4 Óculos de visualização	39

4.1.5 Aplicação de RV	39
4.1.6 Biblioteca de comunicação (camada de serviço)	40
4.2 Funcionamento do <i>hardware</i> no ambiente virtual.....	40
4.3 Arquitetura e funcionamento da biblioteca	44
4.4 Considerações finais	49
5. EXPERIMENTO E DISCUSSÕES.....	50
5.1 Experimento	50
5.1.1 Métodos	50
5.1.2 Participantes	53
5.1.3 Materiais.....	53
5.1.4 Procedimentos.....	54
5.1.5 <i>Design</i> do experimento	57
5.2 Resultados	57
5.2.1 Resultados do teste com aroma (Grupo A)	59
5.2.2 Resultados do teste sem aroma (Grupo B).....	61
5.2.3 Resultados do Experimento e Discussões.....	63
6. CONCLUSÕES	66
7. REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE.....	77

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos estão aumentando cada vez mais o nível de imersão dos usuários nas aplicações de Realidade Virtual (RV). Para isso, comumente são estimulados os sentidos da visão e audição (HASHIMOTO, 2016; HERRERA e MCMAHAN, 2014). Em poucas aplicações, outros sentidos como o tátil e olfato são estimulados (CHEN, 2006) (LINDEMAN; NOMA, 2007).

Contudo, visto que o olfato desempenha um importante papel na experiência dos usuários no mundo real, também pode ser utilizado nos ambientes virtuais para aumentar o nível de imersão. Por exemplo, o olfato é importante para os seres humanos sentirem a presença de objetos, perceberem as estações e a atmosfera de um lugar. Assim, o olfato influencia nosso comportamento, aumenta a possibilidade de sobrevivência potencial, por exemplo, detectando perigos nos alimentos e no meio ambiente (DANTHIIR et al., 2001). Barfield e Danas (2006) comentam que o estímulo olfativo, muitas vezes ignorado nas aplicações de RV, pode fornecer uma rica fonte de informações para os participantes.

Para o uso de estímulos olfativos em ambientes de RV é necessária a utilização de dispositivos que produzem aromas (*scents*). Barfield e Danas (2006) definem estes tipos de dispositivos como *displays* olfativos, que basicamente são uma coleção de *hardware*, *software* e compostos químicos. Esses dispositivos são classificados como dispositivos não convencionais, podendo ser combinados com outros equipamentos, como luva de dados, óculos estereoscópicos, capacetes e dispositivos hápticos. Essa combinação pode favorecer a imersão dos usuários nos ambientes virtuais.

Ao longo do tempo tem sido feito um esforço em incorporar o olfato em ambientes virtuais (CHEN, 2006; NAKAMOTO; MINH, 2007). Entretanto, sabe-se que os *displays* olfativos ainda representam um grande desafio e que existem diversas limitações nas implementações disponíveis. Tais limitações estão ligadas ao fato de que, nesse tipo de sentido, se baseia em sinais químicos, enquanto que os sentidos da visão, audição e tato provêm de sinais físicos (NAMBU et al., 2010). Então, uma solução para inserção de aroma em um ambiente virtual deve considerar problemas como, por

exemplo, dissipação lenta do aroma, a qualidade do aroma, a duração e até a frequência de apresentação (HERRERA e MCMAHAN, 2014).

Outro problema relacionado ao aroma é o fato de o mecanismo de reconhecimento e recepção de substâncias ser desconhecido em detalhes, tornando complicada a definição dos “aromas primários” e, conseqüentemente, a mistura e reprodução dos vários tipos de aromas. Além disso, de acordo com Sugiyama (2006) o sentido olfativo é variável quando comparado com os sentidos da visão e audição.

Este trabalho tem como motivação desenvolver um *hardware* e *software* para explorar o senso olfativo a fim de aumentar o grau de imersão dos usuários em ambientes virtuais. O projeto do *hardware* envolve um equipamento customizado que tem difusor de aromas de baixo custo acoplado com óculos para aplicações de RV. O *software* desenvolvido é uma biblioteca que possibilita a integração do equipamento desenvolvido com as aplicações de RV.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar, investigar e validar uma solução de *hardware* e *software* para explorar estímulos olfativos em aplicações de RV.

Especificamente, pode-se detalhar nos seguintes objetivos:

- Um *hardware* que integra um circuito difusor de aroma acoplado a óculos para aplicações de RV e que gerencia a alimentação de cada componente.
- Uma biblioteca (*software*) de comunicação que acessa os elementos do *hardware* e também serve para integração com aplicações externas. Como, por exemplo, aplicações de RV, a fim de aumentar o grau de imersão dos usuários em ambientes virtuais.
- Realizar um experimento com usuários para a validação da solução.

1.2 Estrutura do texto

O restante do texto está organizado da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta o embasamento teórico para contextualizar a RV, os conceitos principais de ambientes virtuais multissensoriais, equipamentos e implementações.

No Capítulo 3 são mostrados os estudos relacionados com esta proposta. No capítulo 4 estão descritos a arquitetura de hardware e software desenvolvidas neste trabalho.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados e discussões dos testes, contendo a metodologia utilizada, relação dos materiais, procedimentos e resultados do experimento.

No Capítulo 6 são descritas as conclusões e trabalhos futuros.

Finalizando o texto será apresentado o apêndice com mais detalhes sobre a implementação.

2. A REALIDADE VIRTUAL E A EXPLORAÇÃO DOS SENTIDOS

Este Capítulo descreve os principais fundamentos de RV. Além disso, considerando cada um dos sentidos fundamentais humanos, é apresentada uma descrição dos dispositivos utilizados. No caso do sentido olfativo, é apresentado os principais trabalhos realizados, os desafios que foram percorridos, conceitos dos *displays* olfativos e classificações existentes.

2.1 Introdução

Realidade Virtual é uma interface computacional avançada que envolve simulação em tempo real e interações, através de canais multissensoriais (BURDEA; COIFFET, 2003). Conforme Guimarães (2004), ela fornece novos caminhos que melhoram a interface e a interação dos usuários com sistemas computacionais, permitindo a imersão e a interação dos usuários com sistemas sintéticos gerados por computador, através da exploração de sentidos fundamentais do corpo humano como visão, audição, o tato e olfato.

Kirner e Kirner (2011) citam que a RV e suas variações representam técnicas de interface computacional considerando o espaço tridimensional. O usuário, por sua vez, explora esse espaço de forma multissensorial por meio de visão, audição e tato. É possível também, de acordo com a disponibilidade da tecnologia explorar os sentidos do olfato e paladar.

As principais características de uma aplicação de RV são (GUIMARÃES, 2004) (KIRNER e KIRNER, 2009) (KIRNER e KIRNER, 2011):

- **Alta qualidade:** interface projetada com alta qualidade. Ou seja, deve oferecer uma interação amigável e mais intuitiva possível do usuário com o computador.
- **Interatividade:** prioriza a interação com o usuário. O ambiente deve permitir que as interações dos usuários aconteçam em tempo real com o mínimo de consciência possível que estejam utilizando uma interface.

- **Imersão:** a aplicação deve ser capaz de permitir que o usuário se sinta dentro do ambiente virtual. A RV pode ser classificada de duas maneiras, dependendo do senso de presença do usuário. Quando o usuário é induzido parcialmente ao ambiente virtual, através de uma janela (monitor ou projeção) chama-se de RV não imersiva. Quando o usuário é induzido completamente ao ambiente virtual por meio de dispositivos multissensoriais (capacete, caverna, luvas) a RV é imersiva.
- **Novos aspectos ao mundo real:** adiciona aspectos que não existem no mundo real em paralelo à interação do usuário.
- **Uso de computação gráfica:** promove a interação do usuário em um espaço 3D.
- **Alta capacidade de processamento:** exige alta capacidade de processamento gráfico, sonoro e háptico.
- **Usa o espaço 3D e funciona com dispositivos especiais:** utiliza dispositivos especiais, conhecidos como não convencionais, para a interação multissensorial do usuário.

2.2 Dispositivos de Realidade Virtual

Conforme Kirner e Kirner (2011), antes do surgimento da RV, as interfaces computacionais se restringiam ao espaço bidimensional da tela do monitor, viabilizando aplicações multimídia com textos, imagens, sons, vídeos e animações. Nessa época, existia poucos dispositivos que ajudavam na interação dos usuários com o computador de forma natural, então usava-se basicamente ações elementares como, por exemplo, acionar um botão ou uma alavanca, para realizar as interações.

Entretanto, a evolução dos computadores serviu de grande influência para os dispositivos ou equipamentos de RV. Para Kirner e Kirner (2011), a evolução da computação nos aspectos de *hardware* e *software* modernizou as definições e conceitos por meio das diversas plataformas e da construção de *softwares* com capacidade de tratar elementos multissensoriais.

Nesse contexto, classificam-se três fases dessa evolução (KIRNER; KIRNER, 2009): a primeira fase, antes dos computadores quando os recursos eram mais simples. A comunicação era direta em um ambiente com informações reais. A segunda fase correspondeu à interação com o apoio explícito dos computadores – nela os usuários precisaram conhecer para usufruir dos benefícios dos computadores; criaram-se os ambientes virtual e real, e a comunicação remota. A terceira fase, em andamento, ocorre quando os computadores passam a atuar de forma transparente e onipresente. Nessa última fase, existem os ambientes virtual e real, comunicação remota e o uso de dispositivos multissensoriais. Para isso, os mecanismos de interação, como interface física de um equipamento real, são elementos fundamentais para a percepção e ações dos estímulos sensoriais. Cabe ressaltar que a construção de ambientes de RV depende também de outras questões além da interação, como a modelagem dos objetos com alta qualidade e consideração de aspectos realistas da cena, personagens e objetos (GNECCO et al., 2003).

A RV envolve o estímulo dos sentidos humanos em um ambiente virtual gerado pelo computador que são implementados usando dispositivos de entrada e saída. Esses dispositivos compreendem, por exemplo, rastreadores, luvas, mouses 3D, teclado, *joystick*, reconhecedores de voz, *displays* visuais, de áudio, hápticos e olfativos.

Sendo assim, de acordo com a temática deste trabalho, serão apresentados, de maneira mais detalhada, primeiramente os dispositivos que exploram o sentido olfativo, suas classificações, limitações e desafios desta tecnologia. Logo após, serão apresentados os projetos relacionados a outros sentidos.

2.2.1 Olfato

Já faz algum tempo que existe um esforço para incorporar o olfato em aplicações de RV (CHEN, 2006; NAKAMOTO, 2007). Em geral, os dispositivos pertencentes a essa categoria são chamados *olfactory displays* ou difusores de aroma. Para este trabalho convencionou-se denominá-los *displays* olfativos. Esse tipo de dispositivo representa

ainda grandes desafios tecnológicos e diversas limitações nas implementações atuais, como é descrito pontualmente a seguir:

- O sentido olfativo baseia-se em sinais químicos, enquanto os sentidos da visão, da audição e do tato provêm de sinais físicos (NAMBU et al., 2010);
- O mecanismo de reconhecimento e recepção de substâncias do aroma depende de muitos detalhes desconhecidos, tornando complicada a definição dos “aromas primários” e, conseqüentemente, a mistura e reprodução dos vários tipos de aromas;
- O olfato tem maior instabilidade e variabilidade em relação aos sentidos da visão e audição. Um usuário em condições normais pode sentir o aroma dos materiais em 50% de seu tempo (CAIN, 1979; SUGIYAMA et al., 2006).

Os *displays* olfativos podem ser classificados conforme seu tipo de funcionamento. Dessa forma, os principais tipos se definem por: a) ejeção olfativa, b) visual-olfativo, c) evaporação, d) jato de tinta e e) bomba miniaturizada.

Os dispositivos com base em sistemas de ejeção olfativa são a forma mais simples deste tipo de mecanismo. Sato et al. (2009) comentam que essa abordagem baseia-se na ação de disparar uma quantidade de aroma no momento da inspiração do usuário. Exemplos de projetos com esses tipos de dispositivos são o “*Let’s cook curry*”, de Nagahama et al. (2008), e o “*Wearable olfactory display*”, de Yamada (2006). Entretanto, esses dispositivos só são capazes de produzir aromas combinados por meio de uma pré-seleção de produtos químicos aromáticos. Portanto, não é possível a produção de vários tipos de aromas com base na combinação de compostos químicos elementares.

Existem também os dispositivos que têm por base sistemas visual-olfativos que consistem em um gerador de perfume, um controlador, interface de exibição e um computador com monitor. O gerador de perfume tem bombas de ar. Cada bomba é conectada a um filtro perfumado cheio de substâncias químicas aromáticas. O controlador dirige as bombas de ar no gerador de perfume de acordo com o comando do computador. Os filtros perfumados adicionam aromas ao ar das bombas e, em seguida, a interface ejeta ar nas proximidades do nariz do usuário (NAMBU, 2010). Um

conceito utilizado para construção é o de mapas sensoriais (*Sensor Map*). Para isso, parte-se da premissa de que o sentido do olfato tem mais ambiguidade do que a visão ou a audição. Por exemplo, é difícil distinguir o nome de flores ou alimentos apenas pelos aromas, ao contrário das imagens visuais, comenta Sugiyama et al. (2006). Um fato igualmente importante é que o olfato é facilmente afetado pelo conhecimento do aroma em conjunto com outras sensações (HERZ; CLEF, 2000; GOTTFRIED; DOLAN, 2003).

Além disso, a sensação olfativa interage e é influenciada por outros sentidos, especialmente o da visão. Portanto, pode-se considerar que o sentido do olfato possa ser usado para apresentar informações mais eficazes pela aplicação conjunta de outros sentidos (ZELLNER; KAUTZ, 1990; GRIGOR et al., 1999; SAKAI et al., 2005). O resultado dessa modalidade de dispositivo é uma experiência “pseudo-olfativa”, utilizando o efeito *cross-modal* entre visão e olfato. Quando o estímulo visual, que contradiz o estímulo olfativo, é apresentado, o estímulo visual influencia o olfato. O que ocorre é a sensação olfativa correspondente não ao aroma gerado, mas sim à informação visual, apresentando uma imagem conflitante com o aroma produzido.

O efeito *cross-modal* entre visão e olfato é definido como *drawing effect* ou “efeito de desenho”. Um exemplo desse tipo de dispositivo foi desenvolvido por Nambu et al. (2010), constituído com um *display olfativo* com base em um mapa que classifica por níveis de similaridade, a capacidade de sentir o aroma ou de ser influenciado pelo *drawing effect*.

No caso dos sistemas fundamentados em evaporação, Ariyakul e Nakamoto (2011) desenvolveram dispositivos olfativos capazes de misturar aromas a fim de criar um elemento de odor. No dispositivo desenvolvido, o fluxo de ar é usado para evaporar os odorantes e entregá-los nas válvulas solenoides para controlar a intensidade, e depois levá-los ao nariz do usuário. Nakamoto (2007) descreve que a utilização de válvulas solenoides tem propriedades de fácil integração, baixo custo e um aspecto muito importante: a comutação de alta velocidade para qualquer tipo de concentração de aroma. Isso é fundamental para apresentar aromas com um sentido vívido. A exposição olfativa deve possibilitar a apresentação de uma variedade de aromas com velocidade suficiente. Segundo Ariyakul e Nakamoto (2011), a apresentação do odor deve começar

e parar o mais rapidamente possível. No entanto, no caso da evaporação natural, os aromas de compostos de baixa volatilidade são difíceis de ser apresentados dentro de um tempo aceitável.

Existem também *displays* olfativos que funcionam com base de jato de tinta, no qual esse mecanismo é usado para injetar as minúsculas gotas de odorante em um aquecedor de malha, forçando a vaporização do aroma. Embora esse método possa apresentar aromas de baixa volatilidade, um dispositivo de jato de tinta requer uma capacidade maior de manipulação. Além disso, torna-se mais difícil quando o número de odorantes aumenta. O desempenho da injeção do aroma é também afetado pela radiação de calor do aquecedor de malha que está próximo (ARIYAKUL; NAKAMOTO, 2011).

Entretanto, como resolução para apresentar aromas com baixa volatilidade em tempo aceitável, foi desenvolvido o *olfactory display* constituído de uma bomba miniaturizada (*Electroosmotic pump*) em conjunto com um dispositivo de onda de superfície acústica (*SAW – Surface Acoustice Wave*). Segundo Ariyakul e Nakamoto (2011), nesse sistema o composto do aroma é dissolvido em etanol e depois colocado na bomba miniaturizada. Ao aplicar tensão elétrica à bomba, as amostras do composto são injetadas silenciosamente sobre o substrato piezoelétrico do dispositivo SAW que, por sua vez, usa a potência de propagação do SAW que pode vazar as gotículas atomizadas, transformando-as em aroma sem radiação de calor. Em seguida, o aroma é enviado para o nariz do usuário por um pequeno ventilador. A capacidade de misturar os aromas fica a cargo de um sistema detector de aromas (*odor sensing system*), que foi implementado pelos pesquisadores.

A solução apresentada neste trabalho é fundamentada no princípio de bomba miniaturizada integrada por *software* e *hardware* a um par de óculos de RV. No Capítulo 4 serão apresentados os detalhes.

A seguir, nas próximas seções, os dispositivos que exploram os outros sentidos também são abordados. É necessário salientar que a abordagem dos dispositivos relacionados aos sentidos da visão e audição, fazem parte do projeto de forma inerente pois são os mais comumente utilizados.

2.2.2 Visão

Como o sentido da visão é o mais dominante nas pessoas e a evolução dos computadores privilegiou o dispositivo do monitor como principal elemento de apresentação, então é comumente usado nas aplicações de RV. Porém, o grau de imersão dos usuários das aplicações de RV baseadas em monitor é baixo (KIRNER; KIRNER, 2011).

Existem outros equipamentos de visualização com maior grau de imersão, como é o caso dos HMD (*Head Mounted Display*), que são dispositivos binoculares que apresentam imagens estereoscópicas. A evolução tecnológica da última década permitiu que os celulares sejam atualmente usados como equipamento de processamento e apresentação desses dispositivos. HMD com celulares oferece mobilidade aos usuários, contudo uma menor qualidade gráfica, visual e de interação quando comparado com os acoplados em computadores com placas gráficas (LINDEMAN e NOMA, 2007) (KIRNER; KIRNER, 2009). Nos últimos anos observou-se modelos mais acessíveis e sofisticados como, por exemplo, *Google Cardboard* e *Oculus Rift*.

Outro dispositivo de visualização é o CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), também conhecido no Brasil como Caverna Digital. Esse tipo de equipamento é formado por telas que ficam ao redor do usuário, incluindo acima e abaixo. Existem algumas variações, por exemplo, os denominados mini-CAVEs, que são compostos por 3 telas. A execução das aplicações em CAVEs demanda um alto poder de processamento, que pode ser realizado utilizando *clusters* gráficos ou supercomputadores. A vantagem dos CAVEs é o alto grau de imersão e a mobilidade dos usuários. Contudo, o custo deles é alto quando comparado, por exemplo, com os HMDs (BOWMAN e MCMAHAN, 2007).

2.2.3 Audição

De acordo com Nordahl (2006), embora o áudio seja uma das modalidades fundamentais no sistema perceptivo humano, os pesquisadores de RV ainda têm muito espaço para crescer. Mesmo assim, com o intuito de aumentar o sentido de presença

dos usuários de ambientes virtuais, existem equipamentos de *feedback* auditivo que adicionam ao domínio espacial do usuário no ambiente informações temporais ou espaço-temporais. Um exemplo, são os rastreadores acoplados aos *HMDs* que podem rastrear a posição e a orientação em 3D do usuário. Segundo Nordahl e Nilsson (2014), a percepção visual pode ser superior em termos de resolução espacial. Mas é inerentemente direcional, enquanto a percepção auditiva é omnidirecional.

Nordahl et al. (2010) descreve também a combinação do estímulo auditivo e háptico para aumentar a sensação do usuário ao andar num ambiente de RV. Nesse caso, foi utilizado um par de sandálias customizadas com solas contendo dois atuadores vibrotáteis. Para cada impacto da sandália com o chão, o sistema sintetizava o áudio dos passos para o usuário em um fone de ouvido.

2.2.4 Tato

Em aplicações de RV, as luvas de dados (*gloves*), de acordo com Ku *et al.* (2003) devem acompanhar com precisão e confiabilidade a postura da mão e posicionar em tempo real a apresentação realista de uma mão virtual em um ambiente virtual.

Dispositivos como as luvas dão aos usuários a impressão de que a aplicação esteja funcionando no ambiente real, permitindo a exploração e a manipulação natural dos objetos com uso das mãos, por exemplo, para apontar, pegar e realizar outras ações. A exploração e manipulação do ambiente requerem alto desempenho computacional para que os usuários se sintam imersos em um ambiente real (GUIMARÃES, 2004).

Em um ambiente virtual, os efeitos táteis de uma luva podem aumentar a sensação, por exemplo, tornando a superfície de uma mesa mais áspera em determinados pontos. Esse recurso pode ser útil em algumas aplicações, como fornecer uma sugestão adicional de que um objeto virtual esteja em um local específico em uma mesa real. Um exemplo de produto comercial foi o lançamento em 1985 da luva *Dataglove*, pela empresa *VPL Research* (KIRNER; KIRNER, 2011).

Existem também outros tipos de dispositivos que exploram a sensação tátil dos usuários em ambientes virtuais ou imersivos. Nunez *et al* (2015) descreve o projeto

HapHing que fornece um *feedback* dinâmico através de sinais vibro-táteis de acordo com a posição dos dedos do usuário e o objeto 3D. Esse dispositivo é projetado para usar nos dedos, evita o uso de cabos, utiliza-se de uma tecnologia sem fio de baixa energia, composto por um elemento vibracional gerenciado e controlado por um *software* que possibilita o *feedback* háptico em diferentes frequências de acordo com os sinais recebidos do computador.

2.2.5 Paladar

Segundo Narumi (2016), os seres humanos recebem entradas gustativas através de órgãos sensoriais chamados papilas gustativas, que são concentrados na superfície superior da língua. O sabor é definido fisiologicamente como uma modalidade sensorial menor, compreendendo um número limitado de sensações: doçura, acidez, amargura, salinidade e umami. Assim, um sabor pode ser duplicado se os componentes constituintes básicos do sabor forem combinados nas quantidades certas.

O ato de comer é uma experiência perceptiva que explora várias sensações, como a visão, a audição, o olfato e as sensações trigêmeas. Diferentes sabores e palatabilidade são experimentados por diversas pessoas ao consumir o mesmo alimento ou mesmo pela mesma pessoa em momentos diferentes (NARUMI, 2016). Além disso, a percepção do paladar e do sabor tem por base não apenas os ingredientes de um alimento, mas também vários fatores, como estados fisiológicos, ambiente alimentar, compreensão do alimento e experiências anteriores relacionadas aos alimentos.

Auvray *et al.* (2008) concluíram que o sabor não é definido como uma modalidade sensorial separada, mas como uma modalidade perceptual que é unificada pelo ato de comer, e deve ser usada para descrever a combinação de gosto, cheiro, toque, sinais visuais e o sistema trigeminal (DELWICHE, 2004). Essas definições sugerem que a experiência do sabor pode ser modificada mudando os estímulos recebidos por meio de modalidades diferentes do sentido do paladar.

Iwata *et al.* (2004) desenvolveram um sistema de simulação de sabores chamado *Food Simulator*. Esse sistema funciona como uma interface que integra e simula força de

mordedura, informação auditiva e sensação química de gosto. Nela, a sensação química do gosto é evocada pela liberação de componentes preparados do gosto usando um micro-injector.

Outro exemplo de dispositivo apresentando por Hashimoto (2008), que permite aos usuários experimentem as sensações de beber através de uma palha comum com vibrações, sons e pressões reais por representação de dados.

Na próxima seção serão apresentadas as principais características das aplicações de RV, os tipos de interação e desafios de *hardware* e *software*.

2.3 Aplicações de Realidade Virtual

Para a classificação de um sistema como uma aplicação de RV deve-se considerar a coexistência de três aspectos: interação, imersão e envolvimento (TORI et al., 2006). A construção delas deve, primeiramente, considerar os requisitos necessários para implementar adequadamente esses aspectos em função do objetivo a ser alcançado. Em seguida, devem ser definidos parâmetros de investimento possível e realismo necessários a fim de que se possa obter uma relação viável entre benefícios e custos.

Ao mesmo tempo em que a RV demanda recursos de hardware, ela também impõe desafios de software, na medida em que são desenvolvidas aplicações mais complexas e potentes. Os *softwares* de RV são usados na fase de preparação do sistema, por meio de ferramentas de autoria, e na fase de execução, como um suporte em tempo real (KIRNER; KIRNER, 2011).

Os sistemas de RV são complexos e envolvem interações em tempo real entre muitos componentes de *hardware* e *software*. O *software* de RV atua na fase de preparação do sistema, como *software* de autoria de ambientes 3D, e na fase de execução como suporte em tempo real. As linguagens e plataformas principais para o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual podem ser: *ogre3D* e *Unity*; bibliotecas gráficas, como *OpenGL*; toolkits, como *WorldToolkit* e *Vizard*; e toolkits gráficos como *Vivaty*, *SketchUp* e *EonStudio*. A preparação dos ambientes virtuais envolve modelagem

3D, preparação e manipulação de texturas, manipulação de som e elaboração de animações (KIRNER; KIRNER, 2009).

A interação deve ser cuidadosamente planejada a fim de que o usuário atinja níveis de imersão e envolvimento desejados, devendo considerar tanto os objetivos a ser atingidos quanto as características e limitações do usuário. É o caso, por exemplo, de algumas aplicações de simulação para treinamento de procedimentos. Em um simulador de voo, a interação é um fator primordial, visto que as reações que o sistema oferece ao usuário determinam o grau de imersão e motivação que, por sua vez, determinam a continuidade da interação.

De acordo com Kirner e Kirner (2009), as principais técnicas de interação do usuário com aplicações de RV são: **navegação, seleção e controle**. A **navegação corresponde** a todos os movimentos do usuário como exploração, busca e manobras dentro do ambiente virtual. A **seleção** está relacionada diretamente à escolha de um objeto no ambiente virtual com a possibilidade de interagir com o objeto em três aspectos: manipulação, posicionamento e rotação. A técnica de **controle** corresponde às operações representadas pelos comandos visuais, comandos por voz, gestos e dispositivos específicos como, por exemplo, pedais e rodas (BOWMAN *et al*, 2001b) (FLASAR, 2000).

Mine (1995) descreve também que os usuários podem atuar dentro do ambiente virtual por meio de controles físicos e virtuais determinando assim a direção dos movimentos e velocidade. Define também que a navegação pode ser classificada considerando dois elementos denominados **travel** e **wayfinding**. O elemento **travel** está diretamente relacionado ao movimento do ponto de vista do usuário de um lugar para outro como, por exemplo, o movimento do corpo ou mãos do usuário que podem definir a direção, o caminho e o destino a ser percorrido. Golledge (1999) e Hamid (2016) comentam que **wayfinding** é a capacidade do usuário aprender um caminho e memorizá-lo. Para isso, por exemplo, utilizam-se mapas, placas indicadoras, setas e bússolas.

Mine (1995) e Corrêa (2009) adicionam também que, para manipular um objeto e modificar sua posição e rotação, os controles físicos como *joysticks*, controles virtuais

e até menus também podem ser empregados. Outro ponto a ser definido é o local do centro de rotação do objeto selecionado, que geralmente é aquele localizado na mão do usuário.

Em resumo, as técnicas de interação compreendem: interagir com os dispositivos especiais; cuidar da interface com o usuário; tratar da visualização e interação; controlar a simulação/animação do ambiente virtual; e implementar a comunicação em rede para aplicações colaborativas remotas.

2.4 Considerações finais

A utilização da tecnologia de RV, em conjunção com toda a infraestrutura de comunicação, sistemas de computação transparentes ao usuário e objetos e anotações virtuais inteligentes e personalizados, está consolidando uma nova tecnologia, denominada hiper-realidade. Ela deverá promover grandes mudanças na sociedade, na medida em que proporcionará, aos usuários, informações interativas personalizadas em quase todos os lugares, senão todos. Além disso, a hiper-realidade tem condições de integrar várias aplicações móveis e incorporar novas aplicações, acionadas por meio de interações multimodais, envolvendo voz, gestos, ações tangíveis em objetos virtuais sobrepostos no mundo real e outras ações específicas (KIRNER; KIRNER, 2009).

Sendo assim, no próximo capítulo, será colocada cronologicamente a evolução dos projetos e trabalhos relacionados a ambientes que tinham como proposta explorar o sentido olfativo em ambientes virtuais.

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Neste Capítulo serão apresentadas propostas e projetos que refletem a evolução ao longo dos anos do desenvolvimento de soluções de dispositivos que exploram o sentido olfativo em ambientes virtuais.

A evolução dos *displays* olfativos envolve, principalmente, as funcionalidades de propagação, captura/detecção e sintetização de aromas (HASHIMOTO, 2016; YOKOSHIKI, 2012; NAGAHAMA, 2008; NAKAMOTO, 2007). Mesmo com todos os avanços nesse ramo, ainda existem muitos desafios. Para Yanagida (2005), esses desafios são originados principalmente na questão de que o mecanismo do sentido olfativo humano não tem uma base de elementos primários de odor ou aroma. Outras pesquisas se concentram no controle espacial e temporal do aroma em vez de sintetizar o próprio aroma (YANAGIDA et al., 2004, 2005).

Existem também trabalhos com base em difusores de aroma, o que não permite o controle espaço-temporal do olfato. No entanto, vários pesquisadores desenvolveram *displays* olfativos que injetam ar perfumado sob o nariz do usuário através de tubos (NAMBU, 2010). Fazendo uma analogia com os *displays* visuais, esses sistemas correspondem a HMDs, que produzem um modo sólido de alcançar o controle espaço-temporal do olfato, mas exigem que o usuário tenha um dispositivo em seu rosto.

3.1. Projetos e desenvolvimento dos *displays* olfativos

Os projetos descritos a seguir fazem parte de um levantamento cronológico dos principais trabalhos que exploraram a experiência dos usuários e, como eles se sentiam em ambientes virtuais que continham mecanismos integrados a dispositivos difusores de aroma (*displays* olfativos). A Figura 1 apresenta a linha do tempo dos avanços e abordagens utilizadas. Logo a seguir, o detalhamento de cada projeto será descrito.

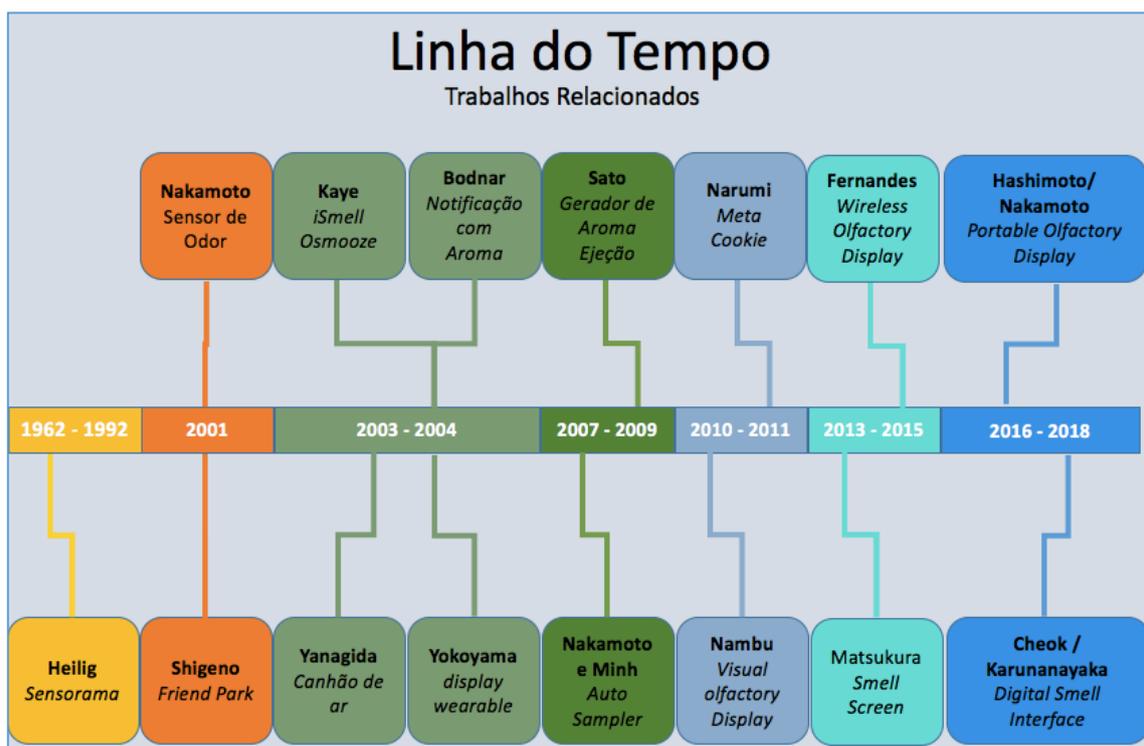


Figura 1 – Linha do tempo dos trabalhos relacionados

O *Sensorama* foi um dos primeiros projetos a incorporar informações olfativas com informação audiovisual em um ambiente virtual, embora não fosse interativo (HEILIG, 1962). Os usuários podiam assistir a um filme com a sensação de uma brisa com aroma paralelo às imagens e ao áudio (Figura 2).



Figura 2 – Sensorama: equipamento projetado por Heilig (HEILIG, 1962)

Mais à frente, Shigeno et al. (2001) apresentou o projeto *FriendPark*, que proporcionava aos usuários um maior senso de realidade, gerando o aroma ou fragrância específica de acordo com o ambiente virtual projetado. Existiam quatro ambientes no quais o usuário poderia interagir: uma sala de estar (*living room*), uma floresta, uma sala japonesa e um bar com um *avatar* feminino. Para gerar o aroma, foi construído um dispositivo (Figura 3) que usava um compressor de ar e se conectava a um computador através de porta serial.



Figura 3 – Dispositivo gerador de aroma FriendPark (SHIGENO, 2001)

Nakamoto et al. (2001) desenvolveram um dispositivo sintetizador de aromas estimulando o olfato de um objeto virtual remotamente. O algoritmo do sistema analisa os aromas a ser transmitidos e apresenta os dados analisados com a composição dos referidos elementos. Do lado do receptor, um controle de realimentação muda a proporção dos meios de leitura dos aromas ao receptor para reproduzir o aroma final.

Outro tipo de *display* olfativo proposto, segundo Yanagida et al. (2003), implementou um sistema que controla um canhão de ar para ejetar informação olfativa,

e tem como objetivo remover a necessidade de que os usuários usem algum dispositivo na cabeça e gerar um aroma para um lugar restrito e determinado. A Figura 4 apresenta o modelo desse dispositivo.



Figura 4 – Dispositivo olfativo gerador de aroma do tipo canhão (YANAGIDA et al., 2003)

Kaye (2004) descreveu sistemas que adicionam perfume ao conteúdo da web e *displays* olfativos controlados pelo computador, como o *iSmell* (Figura 5), construído pela *DigiScents*, e o *Osmooze* (Figura 5). Outras soluções são apresentadas para gerar aromas artificiais em grandes ambientes como os museus de História Natural, de Londres, e o Jorvik Viking Centre, de York, Inglaterra. Dessa forma, o objetivo era fazer o usuário se lembrar do conteúdo exibido por meio da difusão de aroma por frascos de perfume ativados por mecanismos de solenoide (Figura 6).

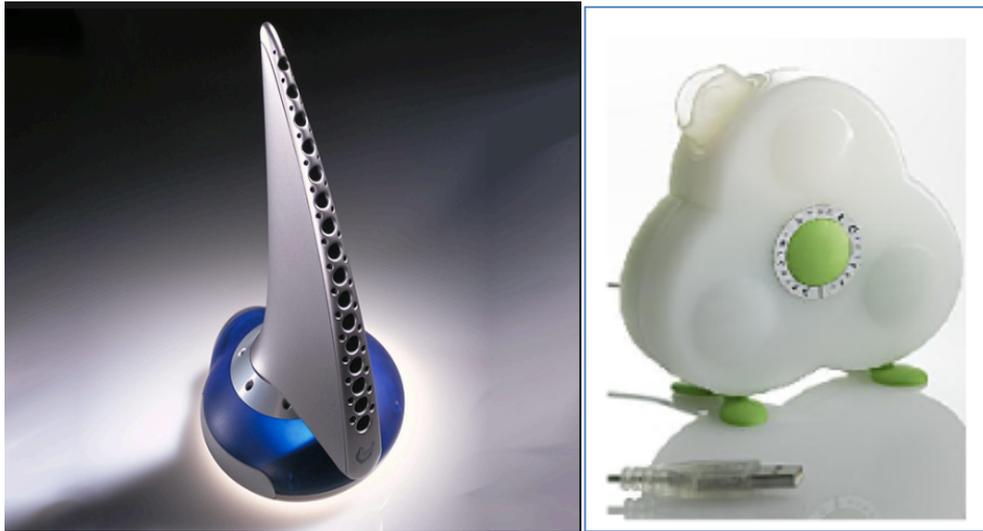


Figura 5 – iSmell, à esquerda, e o Osmooze, à direita (KAYE, 2004)



Figura 6 – Frascos de perfume ativados por solenoide (KAYE, 2004)

Yokoyama (2004) propôs um dispositivo *wearable* como *display* olfativo com um sensor de posição. Esse projeto tinha por base o conceito de densidade de moléculas do odor, que podia apresentar espacialidade olfativa de cenários fora do ambiente. O mecanismo de transmissão de informação olfativa, nesse *display* olfativo, era composto por um sistema de detecção com três sensores de gás sincronizados com um banco

de dados. O usuário podia experimentar o senso real do cheiro por meio do sistema que traduz a informação olfativa obtida.

Bodnar (2004) introduziu o conceito da modalidade olfativa integrada a um sistema de entrega de notificações de mensagens como uma alternativa potencial em relação às modalidades visuais e auditivas. No experimento com usuários executando uma tarefa primária, a entrega de notificações através de *displays* olfativos demonstrou ter um efeito menos disruptivo nos usuários, embora tenha se mostrado menos eficiente do que outras modalidades. A Figura 7 mostra esse dispositivo.



Figura 7 – Sistema integrado olfativo (BODNAR, 2004)

Nakamoto e Minh (2007) propuseram um *display* olfativo chamado *Autosampler*, que tem um sistema que controla e integra de forma sincronizada a mistura de diversos tipos de aromas através de controladores de fluxos de ar, dispositivos de jato de tinta e válvulas de solenoides. Esse projeto tinha a capacidade de misturar os elementos químicos dos aromas, produzindo outros aromas. A Figura 8 apresenta a implementação desse conceito.



Figura 8 – Autosampler: sistema integrado de difusão com mistura de diversos tipos de aromas (NAKAMOTO; MINH, 2007)

Sato et al. (2009) desenvolveram um sistema de ejeção olfativa (Figura 9), que gera aroma a cada inspiração do usuário. O objetivo desse sistema era medir a quantidade necessária de aroma que o usuário deve receber para melhorar a adaptação e percepção. A cada expiração detectada, o sistema diminuía a quantidade de ejeção. Depois, o sistema mede as características olfativas do usuário para determinar o método mais adequado para apresentação do aroma para cada inspiração do participante.



Figura 9 – Sistema de ejeção olfativa que gera aroma a cada inspiração (SATO, 2009)

Já Nambu et al. (2010) apresentaram o conceito do apresentador visual-olfativo (*Visual-Olfactory Display*). Esse projeto consiste em um sistema que integrava e controlava simultaneamente um computador com monitor, mostrando imagens, e um gerador de aroma (*display* olfativo) com quatro bombas de elemento químico. O sistema controlava a saída de ar das bombas de acordo com as imagens que passam no monitor do computador. A Figura 10 apresenta esse tipo de apresentador visual-olfativo.

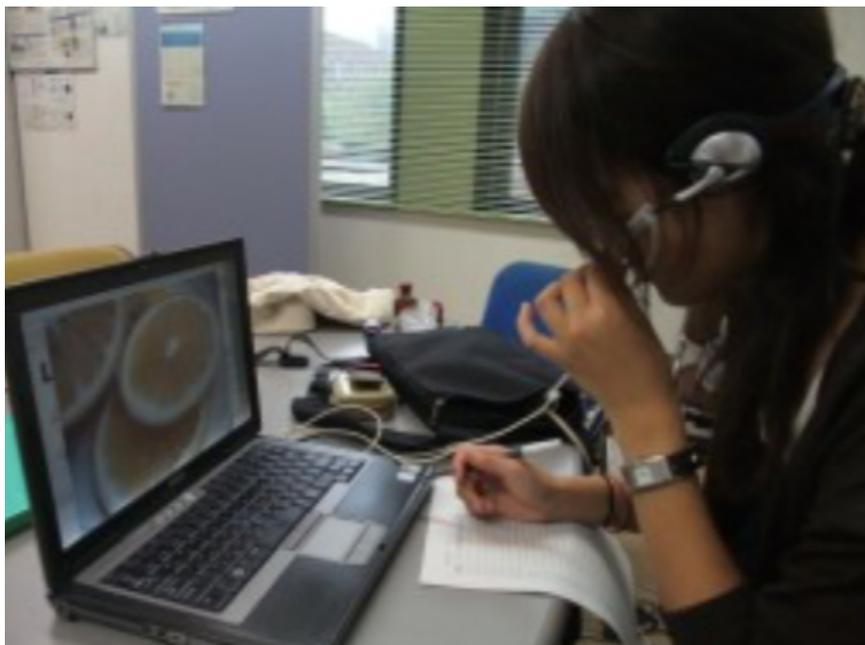


Figura 10 – Sistema de apresentador visual-olfativo (NAMBU et al., 2010)

Narumi (2011) desenvolveu o projeto "Meta Cookie +" que explorou o senso olfativo como também o gustativo em um ambiente virtual. O projeto tinha por base o conceito de que, dentre todos os sentidos o olfato está mais intimamente relacionado com nossa percepção do gosto. Essa relação entre sensações gustativas e olfativas é comumente conhecida e ilustrada pelo fato de apertamos nossas narinas quando comemos alimentos que achamos desagradáveis. Para esse projeto foi desenvolvido um sistema que altera o sabor de um *cookie* real por sobreposição de informações visuais e olfativas sobre ele. A seguir, a Figura 11 apresenta o display olfativo-gustativo.



Figura 11 – Sistema de apresentador visual-olfativo-gustativo (NARUMI 2011)

Os resultados de um estudo conduzido pelos usuários indicaram que o sistema podia alterar o gosto percebido, com mais de 70% de seus participantes, associando vários sabores a um *cookie* simples. Isso foi obtido simplesmente mudando de informação visual e olfativa sem mudanças nos ingredientes químicos do *cookie*. Embora essas simulações pseudogustativas nos permitam experimentar vários sabores, mudando apenas os estímulos visuais e olfativos, as simulações convencionais requerem um estímulo olfativo para cada sabor, o que impõe um limite no número de sabores que podem ser estimulados. Nas simulações, eles construíram um mapa de semelhanças percebidas entre aromas e selecionaram alguns produtos químicos aromáticos como o conjunto de substâncias químicas aromáticas fundamentais no agrupamento de aromas.

Na avaliação experimental, várias imagens foram mostradas e, ao selecioná-las, os produtos químicos aromáticos primários foram apresentados aos usuários, solicitados, em seguida, a identificar o perfume. Os resultados demonstram que os participantes experimentaram maior número de aromas do que o número real de substâncias químicas aromáticas selecionadas, devido aos efeitos da estimulação visual. Embora eles tenham usado somente quatro principais produtos químicos aromáticos, os participantes identificaram 13 tipos de aromas em média. Com base nesse conhecimento, foi proposto um método de simulação visual-olfativa que pode apresentar mais padrões de aromas do que o número real de componentes de um

aroma-chave por causa do efeito visual-olfativo *cross-modal* e da similaridade com base em substituição de perfume, com eficácia comprovada (NARUMI et al., 2014).

Fernandes (2015) apresentou um projeto de display olfativo wireless composto por dois elementos principais: um display olfativo e uma unidade de controle. O display olfativo consiste em tubo pelo qual o ar pode fluir. Dentro do display existe três tipos de funções: geração de aroma, seleção de aroma e entrega do aroma. A função de geração de aroma corresponde a liberação do aroma por um fluxo de ar criado por um ventilador através de cartuchos de aroma que ficam dentro de pequenos tubos de PVC. Assim, através do processo de erosão várias partículas de aroma são liberadas. Já na função de seleção de aroma, cada aroma é colocado em um tubo específico. Os tubos são colocados num cilindro rotativo o qual funciona usando um servo motor que gira o cilindro para selecionar o aroma específico. No caso da entrega, o aroma depois que passa pelo cilindro seletor segue por um tubo plástico flexível até a entrega ao usuário. Na Figura 12 é demonstrado o protótipo do display olfativo.

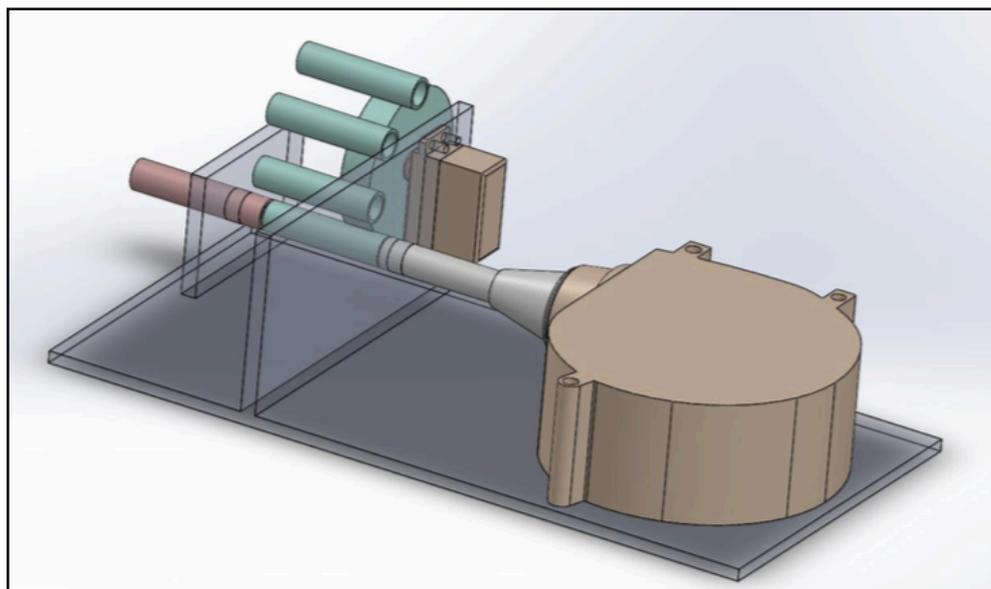


Figura 12 – Sistema de apresentador visual-olfativo-gustativo (FERNANDES 2015)

No caso da unidade de controle, é um sistema que controla o display olfativo e consiste em duas partes principais: um computador conectado e um circuito integrado (Arduino). O computador é responsável por receber a informação de entrada do usuário através de uma interface e a transmissão do sinal para o circuito integrado. Já o circuito integrado controla a manutenção do ventilador e do servo motor.

Diferentemente dos projetos anteriores, que são baseados em estímulo químico, Cheok e Karunanayaka (2018) apresentaram um projeto baseado num sistema de estímulo elétrico com o objetivo dos usuários terem a sensação de um aroma. O dispositivo proposto tem três elementos principais: um Arduino, um circuito controlador de corrente e um par de eletrôdos. O Arduino é responsável por gerar um pulso elétrico durante um intervalo de tempo e permite a escolha de outros tipos de conjuntos de frequência. Por sua vez, o circuito controlador de corrente é responsável pelo controle da corrente transformando o pulso elétrico do Arduino em uma corrente constante para estimulação. No caso dos eletrôdos, são usados para fazer contato com a parede interna do nariz do usuário durante a estimulação.

3.2 Considerações finais

Os trabalhos observados anteriormente apresentaram soluções tecnológicas ao longo dos últimos anos. Portanto, é importante colocar algumas considerações importantes:

- As soluções para *displays* olfativos e técnicas de como implementá-los estão crescendo gradualmente, mas ainda é um campo com vários desafios a serem superados.
- Não existe uma solução comum ou padrão para a implementação e integração desses tipos de dispositivos com aplicações de RV.

4. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

Baseado na observação e estudo dos modelos mostrados anteriormente e o que existe no mercado, foi realizado um estudo das tecnologias de *hardware* e *software* existentes para construção da proposta do dispositivo para a pesquisa corrente. A solução apresentada neste trabalho é fundamentada basicamente no princípio de bomba miniaturizada integrada por *software* e *hardware* a um par de óculos de RV.

Diferencia-se dos outros principalmente na facilidade proporcionada aos desenvolvedores para construir novas funcionalidades como, integrar com um jogo ou aplicação de RV e até adicionar novos componentes a solução. Além disso, destaca-se também que por ser desenvolvido com componentes comumente encontrado no mercado, pode ser reproduzido com um bom custo-benefício. Também possui a característica ser *wearable* e *mobile*. Então, pode-se executar as aplicações em um *smartphone*. principais descrições, os conceitos, a arquitetura projetada e os principais módulos relacionados à construção do dispositivo desenvolvido neste trabalho.

O desenvolvimento de aplicações de RV na atualidade ocorre geralmente usando ferramentas como o *Ogre3D*(ogre3d.org) e a *Unity 3D*(unity3d.com), que permitem a programação em um alto nível e, além disso, já disponibilizam recursos para integração com os dispositivos externos. Por exemplo, é comum a integração com dispositivos como como luvas de dados, equipamentos hápticos, óculos estereoscópicos e capacetes.

A seguir é descrito os principais conceitos, a arquitetura projetada e partes que compõem o projeto, começando por uma visão geral da arquitetura do ambiente virtual. Logo depois, todos os componentes que fazem parte da proposta de dispositivo serão descritos, como também, as partes de *software* como a aplicação cliente e bibliotecas de comunicação que proporcionam a integração e exploração do sentido olfativo.

4.1 Arquitetura do Ambiente Virtual

A Figura 13 ilustra o ambiente de RV deste projeto, que é composto principalmente por um **display olfativo** e um **display visual/auditivo**. O display olfativo consiste em uma camada de serviço (*software* de comunicação baseada em *Rest Services*) e um circuito eletrônico. O circuito eletrônico é composto por um *Raspberry PI3* (www.raspberrypi.org), com *AndroidThings OS* (developer.android.com/things) instalado, e difusor de aroma alimentados por um regulador de tensão elétrica. Já o display visual/auditivo é composto por um par de óculos do tipo *Google Cardboard* (arvr.google.com/cardboard) para aplicações de RV e um *smartphone* rodando uma aplicação de RV projetada para dispositivo móvel. Esta aplicação se comunica com a camada de serviço do display olfativo através de uma rede *wireless*.

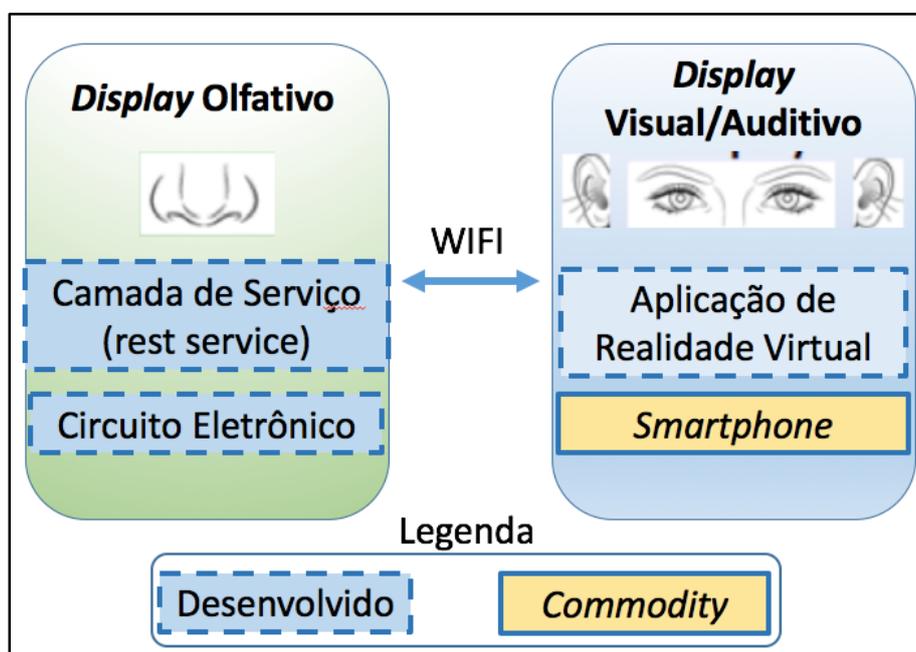


Figura 13 – Arquitetura do Ambiente

A seguir será descrito detalhadamente todos os componentes que fazem parte da arquitetura: Raspberry PI3, placa reguladora de tensão, difusor de aroma, óculos de visualização RV, aplicação de RV e biblioteca (*software*) de comunicação. Logo depois, o funcionamento de todos estes componentes será apresentado.

4.1.1 Raspberry PI3

Para realizar o processamento e a integração de todos os componentes foi utilizada uma placa mini-microcomputador (SoC – *System on Chip*) composta por um processador *QuadCore Broadcom BCM2837* de 64bits ARM (*Advanced Risc Machine*), 1.2GHz, 1G RAM, que vem com interfaces USB, HDMI, WIFI, *Bluetooth 4.1* e um adaptador de cartão de microSD. Nesse dispositivo existe um conjunto de portas programáveis de entrada e saída (GPIO – *General Purpuse Input/Output*), utilizadas para prover diversas funcionalidades e comunicação entre outros tipos de circuitos. Para esse *hardware* foi adicionada a instalação de um sistema operacional com base em Linux voltado para IoT (*Internet of Things*), chamado *AndroidThings OS*. A Figura 14 mostra uma visão da pilha dessas duas arquiteturas.

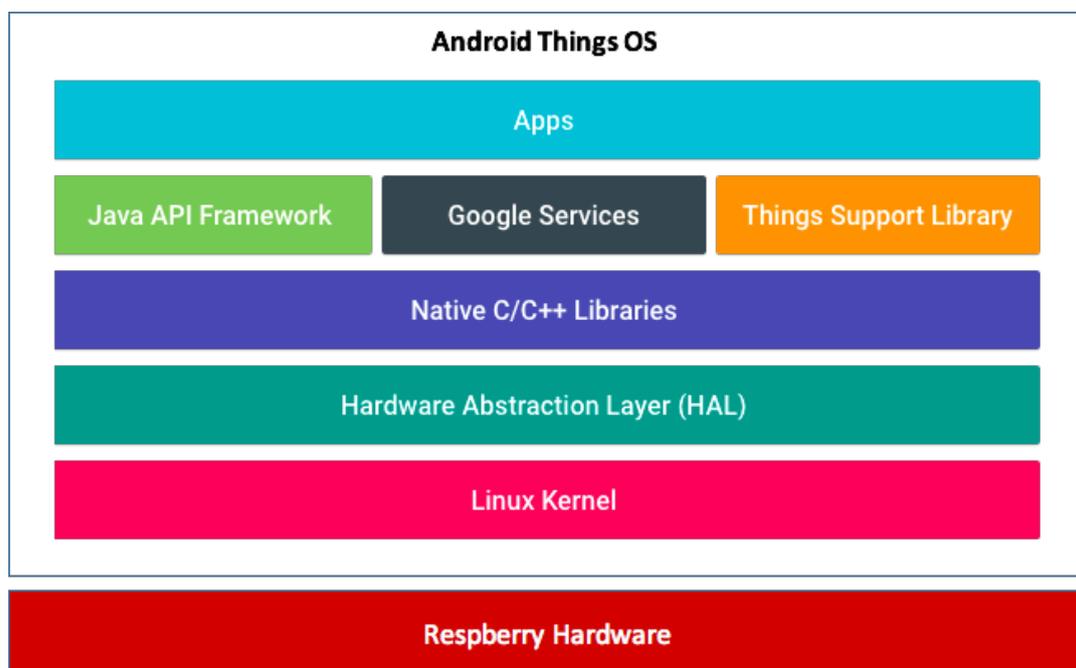


Figura 14 – Arquitetura do Raspberry PI + AndroidThings OS

No caso do *AndroidThings OS*, as camadas que constituem sua arquitetura são:

- **Kernel Linux**: camada baseada numa versão simplificada do sistema operacional linux.

- **HAL** (HAL – *Hardware Abstraction Layer*): camada de abstração de *hardware* que é requisitada pela camada de Java API *Android framework*.
- **Bibliotecas nativas**: nessas bibliotecas estão todas as classes de acesso à camada de HAL. Todas estão escritas em C/C++.
- **API's**: essa camada corresponde à mesma Java API (*Application Program Interface*) do *Android Framework*, com exceção das classes e serviços específicos para dispositivos móveis. Também conta com os serviços do *Google Services* que possibilita a integração ao *Google Cloud*. A parte que corresponde diretamente aos dispositivos é uma biblioteca TSL (*Things Support Library*), que capacita o desenvolvedor a criar um driver para algum dispositivo.
- **Aplicações**: a camada de aplicações aproxima os desenvolvedores de periféricos e *drivers*, ao invés de *tablets* e *smartphones*, dando aos usuários experiências com dispositivos incorporados.

4.1.2 Placa reguladora de tensão

Para o suprimento de energia suficiente para o funcionamento do dispositivo foi necessário construir uma placa para regular a tensão e alimentar os principais circuitos do projeto: o difusor de aroma e a placa controladora *Raspberry PI3*.

Para isso, essa placa possui os elementos a seguir: um regulador de tensão LM317, dois circuitos elevadores *step/up*, que gerenciam a passagem de tensão da bateria para os outros circuitos, e um relê que funciona como chave liga/desliga do acionamento do *display* de aroma. Nas Figuras 19 e 20 pode-se ter um vislumbre desse *hardware*.

4.1.3 Difusor de aroma

Para armazenamento e emissão do aroma foi necessário um *hardware* composto por três sub-componentes: (1) um recipiente para armazenar líquidos com capacidade de até 8 ml; (2) um nebulizador de cristal de cerâmica piezoelétrico ultrassônico que funciona em alta frequência de vibração, chegando a 140 mil vezes por segundo, cuja função é quebrar as moléculas de água, gerando uma suave névoa de aroma; e (3) um circuito que alimenta o nebulizador com tensão nominal até 3.7V e potência de 1.2W, permitindo atomizar o líquido armazenado. Mais na frente, na Figura 19 pode-se ter um vislumbre desse componente.

4.1.4 Óculos de visualização

Para visualização da aplicação do ambiente virtual, um par de óculos de RV construído com material de baixo custo, feito em papelão, seguindo as especificações de padrão aberto do *Google Cardboard*. Esse dispositivo é projetado para o desenvolvimento de aplicações de RV para dispositivos móveis. Tem duas lentes que produzem uma visão 3D estereoscópica da cena exibida na tela do dispositivo móvel. É compatível com as plataformas *Android*, *Unity*, entre outras.

4.1.5 Aplicação de RV

Pode-se construir a aplicações de RV utilizando engines como o *Unity3D* e ou *Ogre3D*, desde que tenha suporte para o *Android SDK*. Uma vez rodando em um dispositivo móvel *Android*, coloca-se esse dispositivo dentro dos óculos de RV *Google CardBoard*. A aplicação fará todas as comunicações necessárias com o *display* olfativo via a camada de serviço.

4.1.6 Biblioteca de comunicação (camada de serviço)

De forma geral, para integração da aplicação RV com a placa controladora (*Raspberry PI3*), foi desenvolvida uma biblioteca que está instalada no sistema operacional que está rodando nessa placa. Baseada na linguagem Java, essa biblioteca é composta por dois módulos, um destinado para a aplicação cliente e outro destinado à aplicação *server*, com as devidas chamadas para atender às requisições de aplicações clientes que desejam acionar alguma operação na placa controladora.

Na seção 4.3 será apresentado mais detalhes do funcionamento e arquitetura dessa biblioteca. Logo a seguir, será apresentado de forma mais específica o funcionamento e estrutura de cada componente de *hardware* utilizado na arquitetura do ambiente virtual.

4.2 Funcionamento do *hardware* no ambiente virtual

Para o funcionamento da placa *Raspberry PI* é necessário a alimentação em corrente contínua de 5V (tensão), por 2.5A (corrente). Já a interface sensorial do difusor opera em 3.3V (tensão) por 363mA (corrente), na frequência de 1MHz. O nebulizador funciona como um transdutor, transformando a energia elétrica em mecânica. O cristal tem a particularidade de flexionar quando submetido à corrente elétrica. O circuito do difusor possui um oscilador que opera na frequência de 1MHz (1 milhão de pulsos por segundo), fazendo com que o cristal vibre nessa mesma frequência, fragmentando as partículas de água e provocando nebulização do líquido sem calor. A Figura 15 apresenta o esquema eletrônico do difusor de aroma.

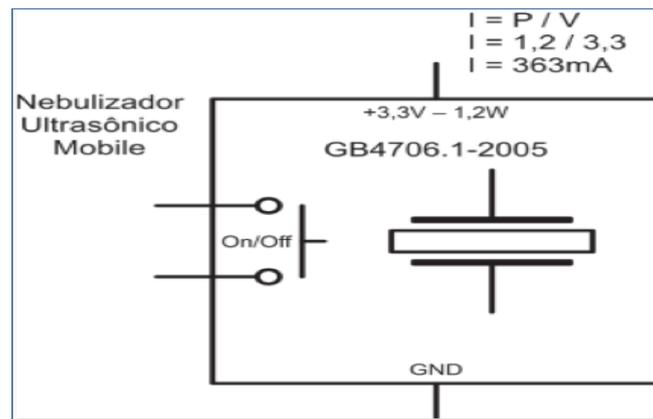


Figura 15 – Esquema do difusor de aroma

Para acionar o circuito do difusor, foi necessária a inclusão de um relê eletromecânico, acionado pela aplicação servidora que está executando no *AndroidThings* instalado na placa Raspberry PI. Quando a condição for verdadeira, a porta de uso geral escolhida é acionada, colocando tensão de 5V. Como a corrente dessa porta é muito baixa, foi adicionado um transistor para servir de chave de acionamento para o relê. A chave evita a sobrecarga advinda da porta da placa *Raspberry PI*.

A Figura 16 mostra o esquema eletrônico entre o relê de acionamento e a porta GPIO da placa *Raspberry PI*.

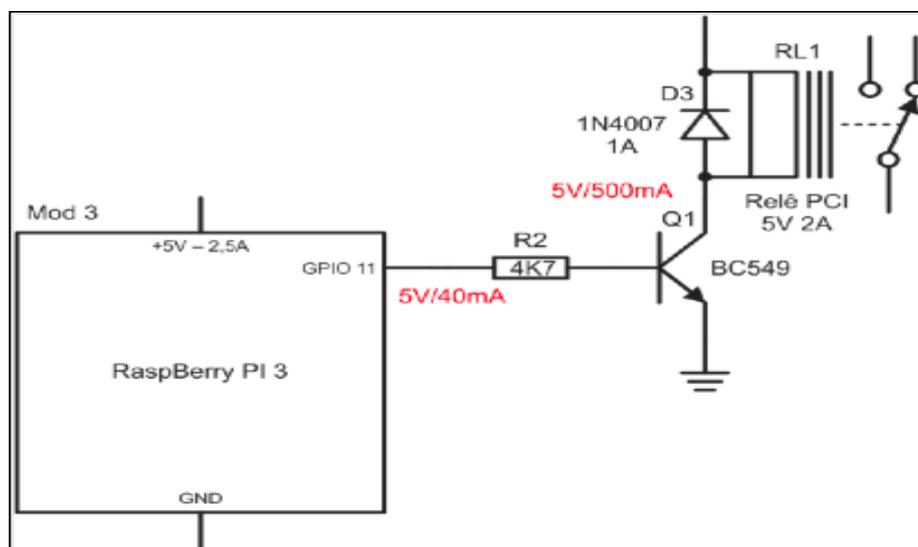


Figura 16 – Esquema entre a placa Raspberry PI e o acionador

Para atender a necessidade de mobilidade, foi adotada uma bateria recarregável. A bateria é do tipo LiPo (lítio-polímero) de 3.7V por 5A e tem características bastante satisfatórias em fornecer alta corrente, recarga rápida, ser compacta e leve. Seu objetivo é alimentar a placa *Raspberry Pi* e o difusor de aroma. A Figura 17 mostra o esquema eletrônico de uma bateria LiPo.

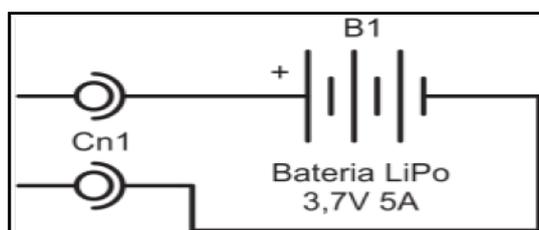


Figura 17 – Circuito da bateria do tipo LiPo

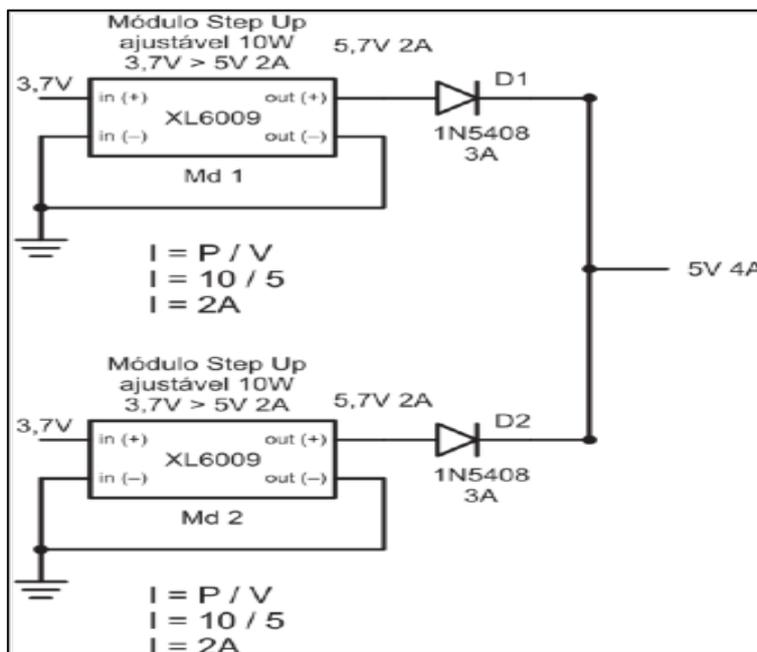


Figura 18 – Esquema do Circuito Regulador de Tensão

Como a placa *Raspberry Pi* (5V/2.5A) e o circuito difusor (3.3V/363mA) precisam, juntos, de basicamente 3A para operarem, foram inseridos no sistema dois módulos elevadores ajustáveis de 2A de tensão (*Step Up*), totalizando até 4A, para que a bateria seja aumentada a um nível adequado ao módulo controlador. Também foi necessária a

inclusão de um regulador de tensão para ajustar a tensão de 5V para os 3.3V usados pelo difusor de aroma. Na Figura 18 pode ser visto o mapa eletrônico do circuito.

A seguir, nas Figuras 19 e 20, são apresentadas as imagens reais do protótipo do equipamento para o ambiente virtual e seu uso.

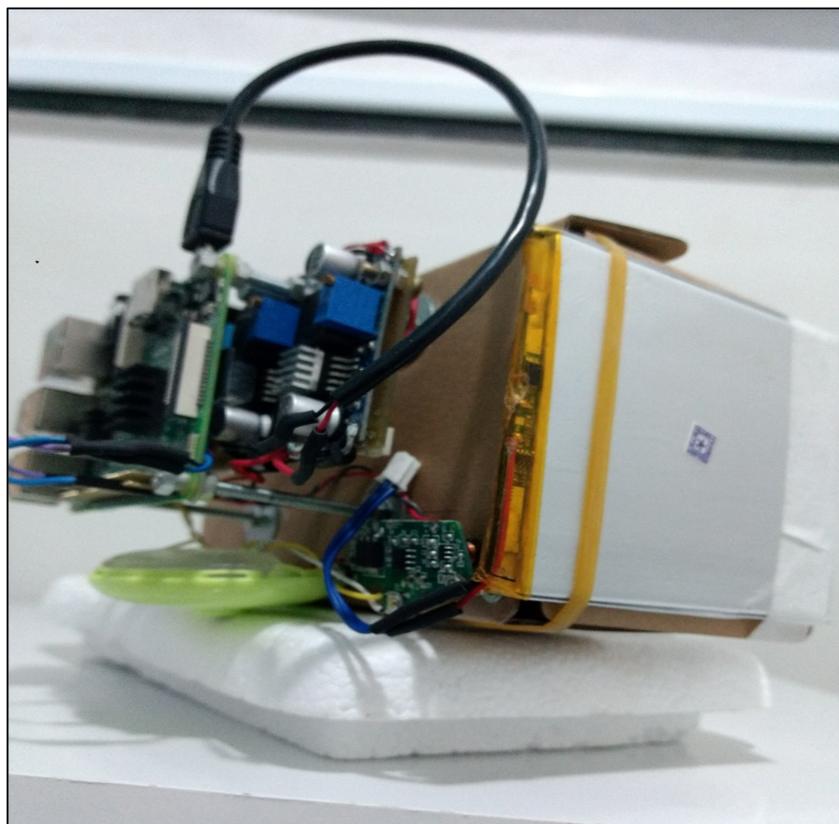


Figura 19 – Protótipo final do equipamento customizado

Todos esses circuitos foram montados ou agregados junto aos óculos *Google Cardboard* na parte frontal. A *Raspberry Pi3* está acima da placa reguladora. A placa reguladora com os seus subcomponentes está entre a placa *Raspberry Pi3* e o *Google CardBoard*. No mesmo plano está o circuito controlador do difusor de aroma, no canto perto da bateria. O circuito só controla o difusor de aroma e está conectado ao comando de acionamento da placa reguladora.

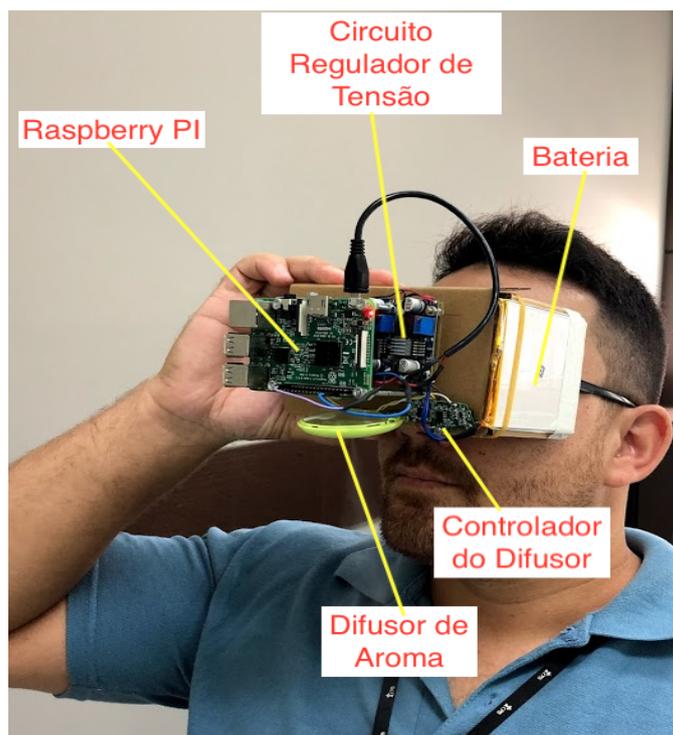


Figura 20 – Utilização do protótipo customizado com difusor de aroma

O difusor de aroma está numa posição abaixo, em um ângulo de de 90 graus em relação à *Raspberry* e a placa reguladora, justamente para direcionar a saída do aroma para o mais próximo do nariz do usuário que está com os óculos. No caso da bateria, por questão de espaço, foi colocada ao lado dos óculos e tem capacidade para fornecer energia a todos os componentes do projeto durante uma hora de uso contínuo aproximadamente.

4.3 Arquitetura e funcionamento da biblioteca

O funcionamento do *display* de aroma neste ambiente depende integralmente da biblioteca de comunicação que foi construída nos moldes de uma arquitetura de serviços web. Basicamente, o cliente, que é a aplicação, envia os comandos para a biblioteca, que é o servidor o qual aciona uma porta de saída (*GPIO* da placa *Raspberry PI*) previamente configurada disparando um sinal elétrico para uma porta de entrada/saída. No caso *hardware* desenvolvido para esta pesquisa o sinal é disparado

para um circuito que controla o difusor de aroma. Sendo assim, quando uma aplicação precisa se comunicar com o *hardware* do dispositivo envia uma requisição para essa biblioteca que está sendo executada no *AndroidThings OS* na *Raspberry Pi*.

Portanto, para se agregar uma nova funcionalidade ao *hardware* basta apenas adicionar um novo serviço a camada de serviços da biblioteca de comunicação e determinar em qual porta de entrada/saída (*GPIO wrapper*) e conectar o novo componente (*hardware* ou circuito externo), ou seja, o desenvolvedor não precisa se preocupar com os detalhes do serviço. A Figura 21 apresenta um esboço da estrutura da biblioteca.

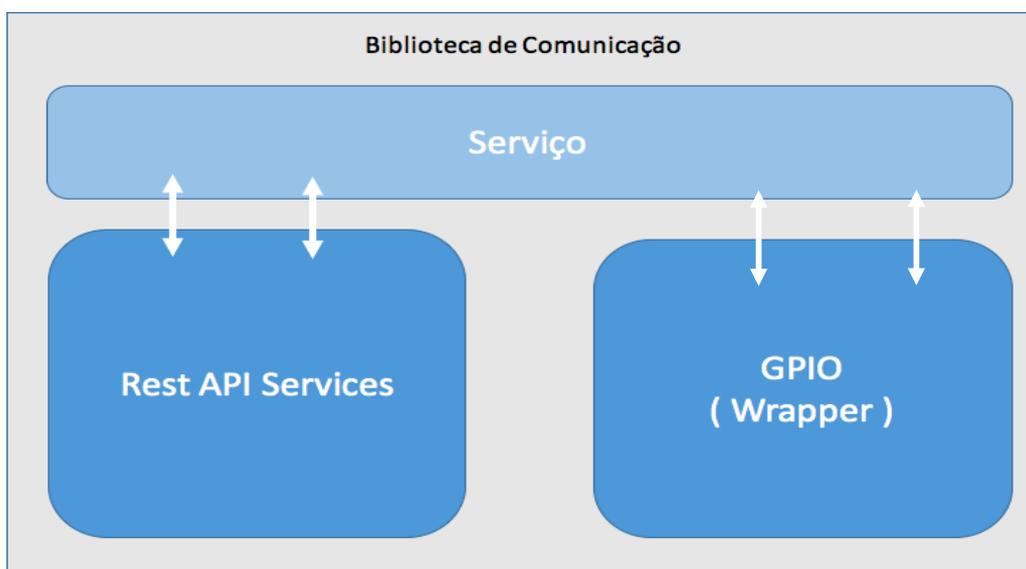


Figura 21 – Esquema da estrutura da biblioteca de comunicação

Quando o usuário realiza uma ação na aplicação referente ao disparo do aroma, um evento é enviado para o módulo cliente (cliente) da biblioteca de comunicação e, então, dispara o aroma associado. O *Use Case* chamado “Conectar Serviço” representa recursos referentes à comunicação da aplicação com o módulo cliente e o *Use Case* “Disparar Evento” é o responsável pelo acionamento do aroma. A Figura 22 mostra o diagrama do caso de uso das aplicações.

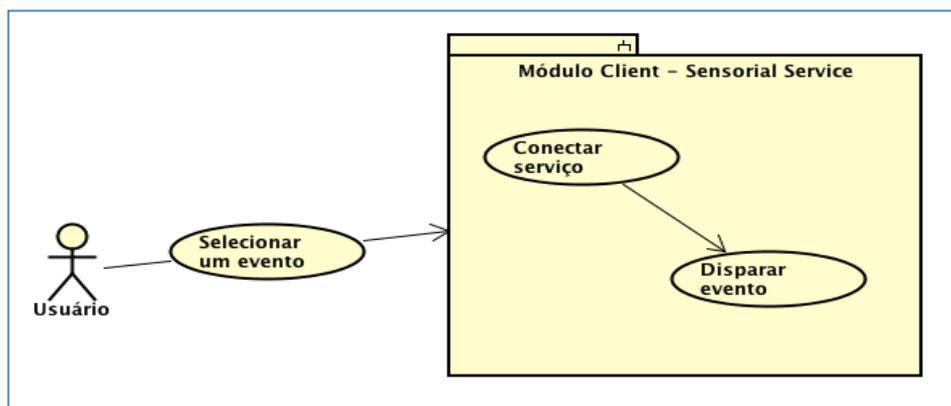


Figura 22 – Biblioteca: caso de uso do módulo cliente

A classe *SensorialServiceClient* fornece os métodos utilizados para conexão com o servidor, e a classe *ActionListener* disponibiliza os métodos referentes aos eventos. As Figuras 23 e 24 mostram os diagramas de classe do módulo cliente e do módulo *server*.

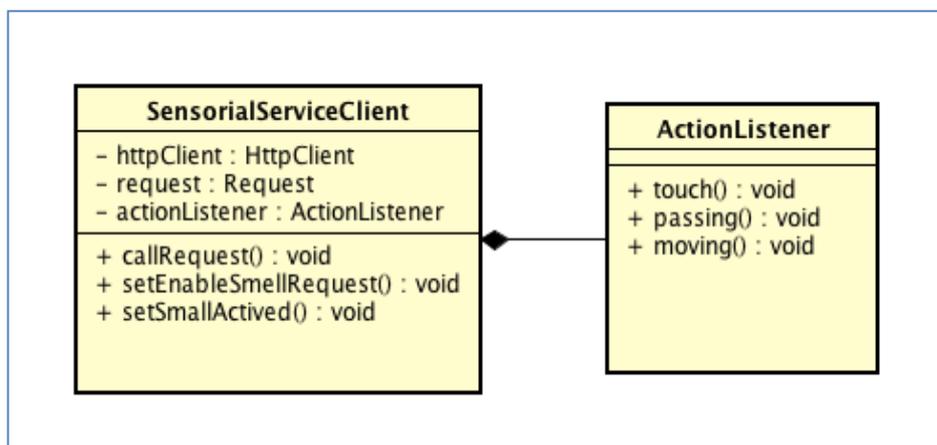


Figura 23 – Biblioteca: diagrama de classe do módulo cliente

O módulo servidor (biblioteca de comunicação), que é instalado na placa *Raspberry PI3*, é composto por três classes:

- *GpioResource*: classe que encapsula a manipulação do estado das portas (GPIOs) de entrada/saída da placa *RaspBerry* e simultaneamente expõe os recursos baseados no padrão REST (*Representational State Transfer*) para requisições GET e POST via protocolo HTTP. O tráfego de informações é baseado no formato JSON (*JavaScript Object Notation*).

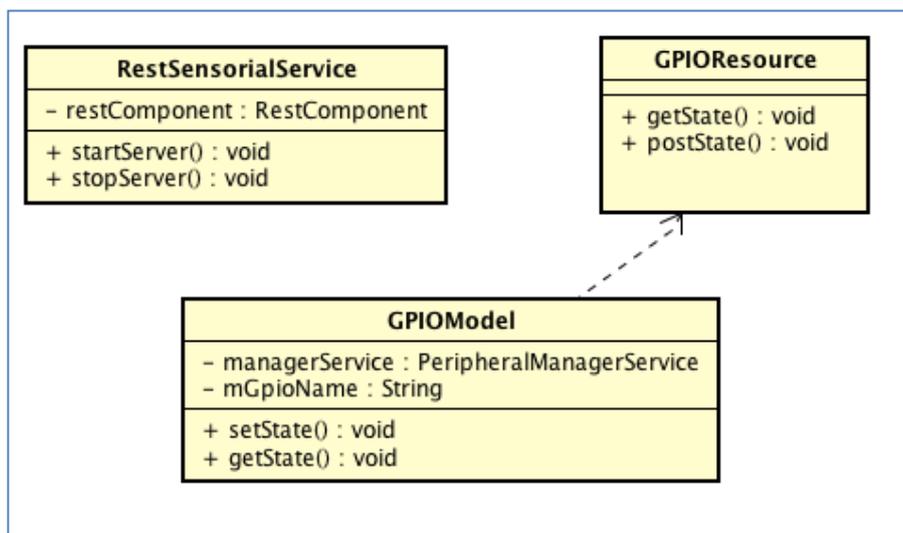


Figura 24 – Biblioteca: diagrama de classe do módulo server

- *RestSensorialService*: classe que controla as requisições de forma assíncrona por demanda. O construtor dessa classe é responsável por iniciar as configurações iniciais necessárias para o serviço como registro, rota, o protocolo HTTP, porta 80, caminho padrão e a url final (*endpoint*) de acesso. Esta classe é uma subclasse da *IntentService* que é invocada na *thread* principal da aplicação.
- *GPIOModel*: classe que abstrai (*wrapper*) as funcionalidades da classe *PeripheralManagerService()* adicionando uma camada de acesso às portas GPIO da *Raspberry PI3*. Foi construída baseada no padrão de projeto *Singleton* (padrão que garante a existência de apenas uma instância de uma classe).

O Apêndice A apresenta em detalhe as implementações das classes *GPIOResource*, *GPIOModel* e *RestSensorialService*.

O ambiente de RV desenvolvido como prova de conceito funciona da seguinte maneira: a aplicação cliente simula um ambiente virtual que, ao chegar a um determinado ponto, envia uma requisição para uma aplicação *server* que está executando no *Android Things OS*, na *Raspberry PI3*. Essa aplicação, por sua vez, aciona a porta GPIO da placa *Raspberry PI3*, que foi previamente configurada para disparar um sinal para o circuito periférico do difusor de aroma. Portanto, para desenvolver novas

aplicações basta utilizar a biblioteca de comunicação desenvolvida e acionar a porta GPIO da placa *Raspberry PI3*.

As figuras 28 e 29 mostram o ambiente de RV desenvolvido, que oferece suporte de estímulos olfativos. O difusor de aroma é disparado conforme algum evento pré-determinado que ocorra no ambiente. Nesse caso, é estimulado o sentido da visão e audição. Para o desenvolvimento dessa aplicação foi utilizada a plataforma do *Unity3D* integrado com o SDK do *Google VR Cardboard*. A aplicação funciona como um jogo, no qual o usuário é conduzido por um píer sobre o mar. Em um determinado ponto da travessia, algumas flores aparecem. É nesse momento que o difusor de aroma é acionado soltando o aroma perto do nariz do usuário.

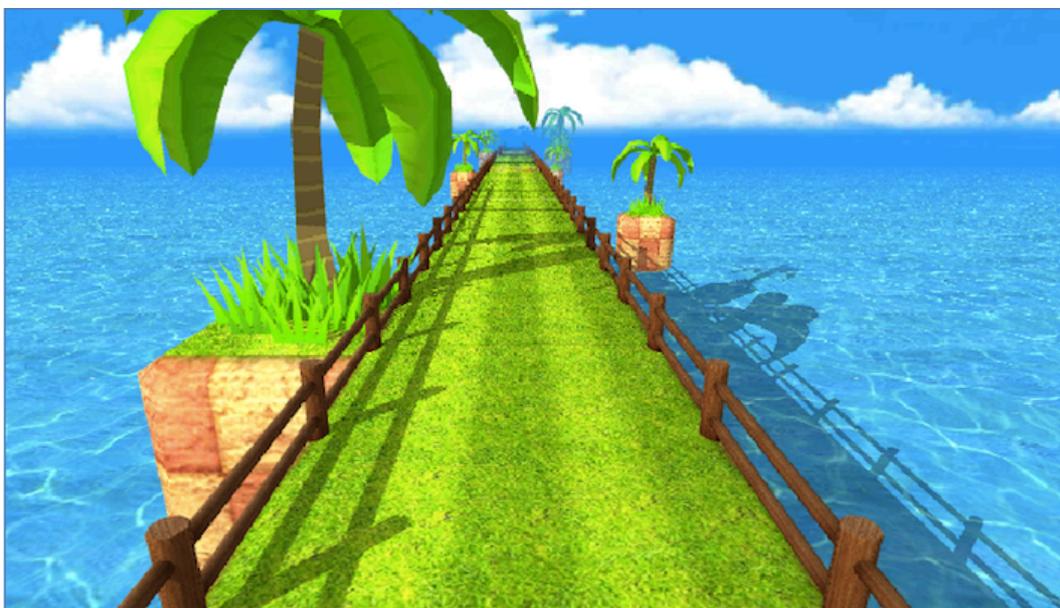


Figura 25 – Aplicação RV projetada e integrada ao display olfativo



Figura 26 – Aplicação RV: momento que o usuário deverá receber o aroma

4.4 Considerações finais

O resultado da construção dos módulos de *software* adicionados aos componentes de *hardware* permite a execução de aplicações de RV em um dispositivo móvel, sendo que toda a solução foi criada utilizando componentes disponíveis no mercado e com baixo custo, quando comparado com equipamentos não convencionais usados comumente nas aplicações de RV. O *software* foi construído utilizando plataformas abertas, como o *Google VR*, *Java* e *Android*, permitindo fácil manutenção, criação de novas funcionalidades e a implementação de recursos de *software* para produtos embarcados sem muita complexidade. Existe também a abertura para a utilização não somente para aplicações de RV.

A seguir, no capítulo 5, o experimento e os resultados da experiência do usuário com a solução desenvolvida serão explanados.

5. EXPERIMENTO E DISCUSSÕES

Foi aplicado um estudo experimental para análise da experiência com a solução desenvolvida. Para contemplar o estudo experimental, foram realizados os seguintes passos: definição do experimento, levantamento das hipóteses de pesquisa, apresentação dos procedimentos e materiais usados, escolha dos participantes e, finalmente, a análise dos resultados.

5.1 Experimento

O experimento realizado teve como intuito avaliar a influência do aroma em uma aplicação de RV. A Figura 29 mostra a aplicação desenvolvida. Quando um usuário alcança as flores no caminho, uma corrente de ar é liberada com aroma de flores (aroma agradável para a maioria dos nossos usuários) ou água. No experimento a corrente de ar é liberada durante 6 segundos. Foi definido esse período para superar a possibilidade de não detecção, uma vez que um aroma agradável leva mais tempo para ser detectado que o desagradável (BAUS e BOUCHARD, 2017; JACOB e WANG, 2006). Esse tempo de reação diferenciado pode estar relacionado à importância do aroma desagradável para a sobrevivência (isto é, a identificação de alimentos estragados). Para reduzir o viés potencial dos usuários, não foi revelado aos participantes antes do experimento se ele / ela receberia um fluxo de ar com aroma de flores ou somente água.

5.1.1 Métodos

A metodologia para esta seção é do tipo experimental, que é frequentemente usada no campo da Interação Humano-Computador. De acordo com Lazar et al. (2010), a pesquisa experimental procura identificar o relacionamento causal de uma situação ou um conjunto de eventos. Existem três tipos de estudo experimental: verdadeiro experimento, semi-experimento e não experimento. Este trabalho se qualifica como um verdadeiro experimento, pois envolve mais de uma condição, e os participantes foram

recrutados aleatoriamente. A partir de então, considerou-se, primeiramente, a definição das hipóteses de pesquisa e logo depois a especificação das variáveis independentes e dependentes. O número e valores das variáveis independentes determinaram diretamente quantas condições o experimento tem.

Portanto, nas seções a seguir, refere-se ao grupo que utilizou o *display* olfativo com aroma de flores como AROMA e com água como ÁGUA. O experimento desta pesquisa tem como objetivo responder formalmente as seguintes perguntas de pesquisa para que os testes estatísticos possam ser realizados:

Pergunta de pesquisa 1 (P1): O uso do *display* olfativo com aroma de flores aumenta a imersão do usuário do que com água? Essa questão serviu de base para compor o estudo estatístico com as seguintes hipóteses:

- **H₀ (hipótese nula)**: não há diferença significativa de eficiência quando é apresentada uma corrente de ar com aroma de flores e água (medida em termos de pontuação do usuário), que pode ser formalizada da seguinte forma:

$$\circ \quad H_0 = \mu^{I-AROMA} = \mu^{I-ÁGUA}$$

- **H₁ (hipótese alternativa)**: há uma diferença significativa de eficiência quando é apresentada uma corrente de ar com aroma e água de flores, que pode ser formalizada da seguinte forma:

$$\circ \quad H_1 = \mu^{I-AROMA} \neq \mu^{I-ÁGUA}$$

Pergunta de pesquisa 2 (P2): O uso do *display* olfativo com aroma de flores aumenta a satisfação do usuário do que com a água? Essa questão serviu de base para compor o segundo estudo estatístico com as seguintes hipóteses:

- **H₀ (hipótese nula)**: não há diferença significativa de eficiência quando é apresentada uma corrente de ar com odor de flores e água (medida em termos de pontuação do usuário), que pode ser formalizada da seguinte forma:

$$\circ H_0 = \mu^{S\text{-AROMA}} = \mu^{S\text{-ÁGUA}}$$

- **H₁ (hipótese alternativa):** há uma diferença significativa de eficiência quando é apresentada uma corrente de ar com odor e água de flores, que pode ser formalizada da seguinte forma:

$$\circ H_1 = \mu^{S\text{-AROMA}} \neq \mu^{S\text{-ÁGUA}}$$

Pergunta de pesquisa 3 (P3): A exibição olfativa com aroma de flores tem melhor eficácia do que com água? Essa questão serviu de base para compor o segundo estudo estatístico com as seguintes hipóteses:

- **H₀ (hipótese nula):** não há diferença significativa de eficiência quando é apresentada uma corrente de ar com odor de flores e água (medida em termos de pontuação do usuário), que pode ser formalizada da seguinte forma:

$$\circ H_0 = \mu^{E\text{-AROMA}} = \mu^{E\text{-ÁGUA}}$$

- **H₁ (hipótese alternativa):** há uma diferença significativa de eficiência quando é apresentada uma corrente de ar com odor e água de flores, que pode ser formalizada da seguinte forma:

$$\circ H_1 = \mu^{E\text{-AROMA}} \neq \mu^{E\text{-ÁGUA}}$$

Os detalhes do recrutamento dos participantes, materiais utilizados, procedimentos da pesquisa e o tipo de *design* do experimento estão descritos na próxima seção.

5.1.2 Participantes

Para esse experimento foram selecionados 32 indivíduos brasileiros e na faixa etária de 18 e 60 anos. Nenhuma compensação foi oferecida em troca de participação. Os usuários não tiveram nenhum tipo de treinamento para não causar nenhum tipo de resposta com base no efeito de aprendizado na percepção sensorial olfativa ou no uso do equipamento. Os seguintes critérios foram definidos:

- Independentemente do sexo.
- Com experiência na interação com computadores.
- Independentemente da experiência com ambientes virtuais.
- Independentemente da experiência com ambientes virtuais com aroma.
- Independentemente do grau de instrução.
- Independentemente da experiência com jogos eletrônicos.

O local da escolha dos participantes foi uma empresa editora CASA PUBLICADORA BRASILEIRA de aproximadamente 700 funcionários na cidade de Tatuí, São Paulo.

5.1.3 Materiais

Os materiais usados neste estudo foram:

- **Configuração do Ambiente:** um roteador wireless, um protótipo e um computador para testar se os dispositivos estão respondendo corretamente dentro da rede local.
- **Hardware e Software:** protótipo customizado de um par de óculos padrão *Google Cardboard*, equipado com uma placa modelo *Raspberry PI3* e difusor de aroma acoplado. Na placa *Raspberry* está instalado o sistema operacional *AndroidThings OS*. Dentro dos óculos têm um *smartphone* modelo *Google Pixel* instalado com o sistema operacional Android 9.
- **Aplicação do Experimento:** Aplicativo *testeAroma*, desenvolvido na plataforma *Unity3D* especialmente para esta pesquisa, com uma versão para rodar na plataforma Android.

5.1.4 Procedimentos

Os procedimentos realizados neste estudo foram divididos em quatro etapas principais e sequencias, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Etapas executadas no experimento

Etapa	Descrição	Tempo
Perfil do Usuário	Cada usuário respondeu a um questionário de perfil (por exemplo, idade, sexo, conhecimento de realidade virtual) e assinou um termo de consentimento informado	livre
Divisão dos Usuários	Os usuários foram divididos aleatoriamente em dois grupos de 16 usuários	livre
Avaliação	<ul style="list-style-type: none"> Grupo 1: esse grupo foi exposto ao aplicativo de realidade virtual com odorante de flores no repositório Grupo 2: esse grupo foi exposto ao aplicativo de realidade virtual com água no repositório 	5 minutos
Pós-Teste	Os usuários responderam a um questionário pós-teste	15 minutos

- **Etapa 1:** Primeiramente todo o ambiente de *hardware* e *software* foi preparado. O *smartphone*, com o aplicativo *testeAroma* já instalado, é colocado dentro do *cardboard*. Logo depois, cada participante, escolhido de forma aleatória, foi instruído sobre qual era o objetivo da pesquisa e alocado em um local em que usufrísse de concentração e sem muito ar

sendo ventilado. Adiante, foi dado ao participante o documento de assinatura do “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e o formulário Perfil do usuário.

- **Etapa 2:** Como o grupo de cada participante foi escolhido anteriormente de forma aleatória, o protótipo foi configurado nesse momento para executar de acordo com o critério do grupo escolhido para aquele participante. O critério dos grupos para o experimento foi definido da seguinte forma: dois grupos, **A** e **B**, sendo que o **grupo A** utiliza essência de flores no recipiente do protótipo, e o **grupo B** não utiliza essência de flores dentro do recipiente, preenchido somente com água.
- **Etapa 3:** O protótipo é ligado, a aplicação de RV no *smartphone* é inicializada e o participante coloca nos olhos o protótipo para navegar no ambiente virtual. O teste é realizado. Em média o tempo de duração do teste ficou 5 minutos. Foi solicitado que o participante permanecesse navegando no ambiente virtual mesmo depois do tempo de propagação do aroma e até acabar a cena, visando a um melhor *feedback* e uma melhor imersão.
- **Etapa 4:** Depois do término do teste é solicitado que o participante preencha um questionário com nove questões. A Tabela 2 apresenta o questionário pós-teste.

Tabela 2 – Questionário

Pergunta	Variável	Pergunta Pesquisa
1. Senti estar imerso no ambiente.	Imersão	P1
2. Senti o aroma das flores.	Imersão	P1
3. O aroma interfere negativamente ou distrai a visualização/navegação no ambiente.	Satisfação do Usuário	P2
4. O aroma é agradável.	Satisfação do Usuário	P2
5. O equipamento incomoda.	Satisfação do Usuário	P2
6. O fluxo de ar (aroma) diretamente no nariz incomoda.	Satisfação do Usuário	P2
7. A experiência foi abaixo das minhas expectativas.	Satisfação do Usuário	P2
8. O olfato deveria fazer parte das aplicações de Realidade Virtual.	Satisfação do Usuário	P2
9. O dispositivo demora para expelir o fluxo de ar depois que encontra as flores.	Eficiência do Dispositivo	P3

Atualmente, os usuários alcançam as flores em torno de 5 segundos a partir do momento em que a aplicação é iniciada, quando atingem o aroma da flor ou é apresentada água. Cada pergunta foi classificada de acordo com as seguintes variáveis: (1) imersão - mede o quanto o usuário realmente sente no mundo simulado; (2) Satisfação dos usuários - mede o grau em que os usuários estão livres de desconforto e sua atitude em relação ao uso de nosso aplicativo; e (3) eficácia do dispositivo - mede

com que precisão e completamente os objetivos podem ser alcançados. Cada variável foi projetada para responder a uma pergunta de pesquisa. Foi adotado uma escala de Likert, com graus de severidade para as respostas no questionário.

Assim, para cada questão, o participante deve assinalar com uma resposta de acordo com o grau de severidade e seus respectivos pesos: **discordo fortemente (1), discordo (2), neutro (3), concordo (4), concordo totalmente (5)**. No final do questionário também foi colocado um campo para o participante colocar algum comentário subjetivo sobre a utilização do protótipo.

5.1.5 *Design* do experimento

O experimento, conforme as hipóteses levantadas anteriormente, considerou uma variável independente: **tipo de percepção olfativa**. Para essa variável independente, duas condições configuradas no protótipo foram determinadas para a navegação no ambiente: **com aroma** e **sem aroma**.

Como nesse tipo de experimento o efeito aprendido é um ponto negativo, foi escolhido o modelo **entre-grupo** (*between groups*). Segundo Lazar et al. (2010), no modelo **entre-grupo** cada participante é exposto somente a uma condição, e o número de participantes corresponde diretamente ao número de experimentos. Portanto o total de amostra foi de 32 participantes, tendo cada participante experimentado somente uma condição. Portanto, 16 participantes em cada grupo. O grupo A fez o teste com o protótipo com aroma de essência de flores, e o grupo B fez o teste com o protótipo sem aroma (somente água). Optou-se por cada participante não ter nenhum tipo de treinamento para não causar nenhum tipo de resposta com base no efeito aprendizagem na percepção sensorial olfativa ou do uso do equipamento.

5.2 Resultados

A partir dos resultados do questionário pré-teste, foi possível determinar o perfil do participante: todos os usuários (100%) nunca usaram um aplicativo de realidade

virtual; 72% eram homens e 28% eram mulheres; os usuários tinham entre 16 e 59 anos; a idade mediana é 31; apenas um usuário usa o computador raramente, os outros o utilizam todos os dias; e um usuário não joga, 13 joga raramente, 7 joga uma vez por semana e 7 joga todos os dias.

Para efeito de análise, os resultados das respostas do questionário aplicado foram separados por grupo, de acordo com as condições determinadas para o experimento (com aroma e sem aroma). Com base na escala do grau de severidade para cada pergunta, classificou-se o grau de influência positiva ou negativa para cada participante em cada grupo. As perguntas 3, 5, 6, 7 e 9 refletem aspectos negativos da aplicação, ou seja, as respostas com gravidade negativa refletem um aspecto positivo. A Figura 30 mostra uma escala de cores em direção às escalas positivas e agradáveis das escalas de resposta, mesmo que suas experiências sejam negativas. Essa escala é usada nas Tabelas 3 e 4. Para calcular a média ponderada para realizar os testes estatísticos, cada cor tem um peso (-2 a 2). Um exemplo é a pergunta de número 5: O equipamento incomoda? Se a resposta for “discordo fortemente” mesmo sendo de grau negativo pode ser considerada de valor positivo para essa pergunta em questão. Para um melhor entendimento, também foi utilizada (Figura 30) uma legenda de cores para representar o grau de severidade aplicado no teste.

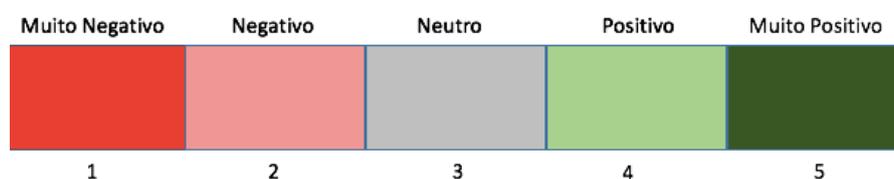


Figura 27 – Escala de cores em direção às extremidades positivas e agradáveis das escalas de resposta, mesmo que suas experiências sejam negativas

As cores para cada resposta são:

- Discordo fortemente (-2): vermelho-escuro.
- Discordo (-1): laranja.
- Neutro (0): cinza.
- Concordo (1): verde-claro.
- Concordo fortemente (2): verde-escuro.

Vale notar que as respostas para as perguntas 3, 5, 6, 7 e 9 foram consideradas com cores que representam um valor positivo como verde escuro para discordo fortemente e verde claro para discordo.

5.2.1 Resultados do teste com aroma (Grupo A)

No caso do **grupo A**, segue na Figura 31 o resultado das respostas dos participantes que fizeram o teste utilizando um aroma de flores no protótipo. Pode-se observar (Tabela 3) que, de modo geral, 88% das respostas dos participantes para as nove perguntas do questionário logo após o teste refletem um *feedback* positivo em concordar ou concordar fortemente com a aplicação no protótipo com liberação do aroma. Do restante, 8% dos participantes assinalaram uma percepção neutra nas questões referentes à distração negativa, agradabilidade do aroma, incômodo do aparelho, desempenho e expectativa na navegação. Para 4% dos pesquisados, a experiência com a aplicação foi negativa em relação ao incômodo do aroma diretamente no nariz, baixa expectativa e ao desempenho da ejeção do aroma durante a navegação.

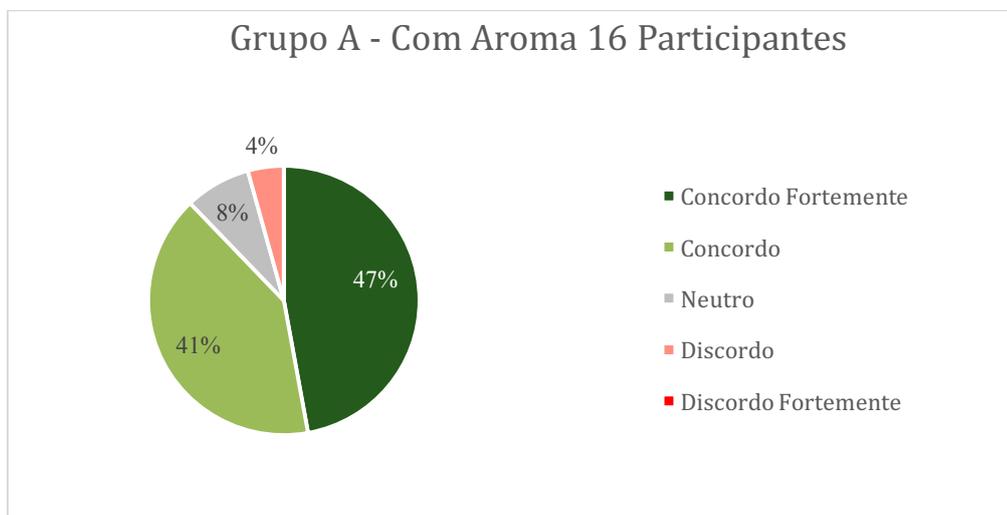


Figura 28 – Grupo A: Resultado com aroma

Tabela 3 – Resultado Questionário Grupo A

	Discordo Fortemente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo Fortemente
1. Senti estar imerso no ambiente.				50%	50%
2. Senti o aroma das flores			6%	38%	56%
3. O aroma interfere negativamente ou distrai a visualização/navegação no ambiente	56%	31%	13%		
4 - O aroma é agradável			6%	44%	50%
5 - O equipamento incomoda	25%	44%	31%		
6 - O fluxo de ar (aroma) diretamente no nariz incomoda.	38%	43%	6%	13%	
7 - A experiência foi abaixo das minhas expectativas.	50%	38%	6%	6%	
8 - O Olfato deveria fazer parte das aplicações de Realidade Virtual.			6%	38%	56%
9 - O dispositivo demora para expelir o fluxo de ar depois que encontra as flores.	31%	25%	25%	19%	
Comentários:				Muito bom estimular o olfato	Gostei muito

5.2.2 Resultados do teste sem aroma (Grupo B)

Para o grupo B, segue na Tabela 4 o resultado das respostas dos participantes que fizeram o teste utilizando um aroma de flores no protótipo. Pode-se observar (Figura 32), de forma geral, que 30% das respostas dos participantes logo após o teste refletem um *feedback* neutro com a navegação no ambiente virtual sem aroma (somente água) no recipiente do difusor do protótipo.

Entretanto, mesmo sem o aroma presente nos testes desse grupo, 51% dos participantes responderam que concordam ou concordam fortemente nas questões referentes à imersão do ambiente, percepção do aroma, apoio positivo ao uso dessa tecnologia. De forma geral, não sentiram incômodo no uso do aparelho ou do fluxo de ar que foi expelido.

Para 18% dos pesquisados, a experiência foi de baixa expectativa, o fluxo de ar demorou a liberar o aroma no momento que visualizou as flores, não sentiram o aroma, não se sentiram imersos no ambiente e se sentiram distraídos negativamente pelo aroma na navegação do ambiente.

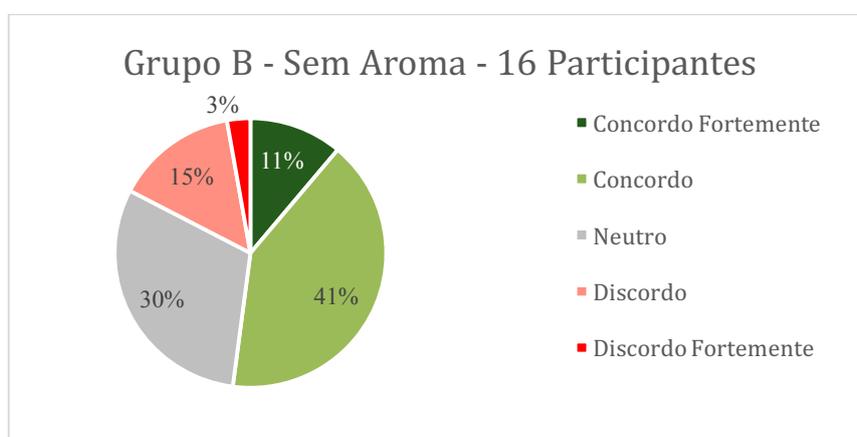


Figura 29 – Grupo B: Resultado sem aroma

Tabela 4 – Respostas Questionário Grupo B

	Discordo Fortemente	Discordo	Neutro	Discordo	Discordo Fortemente
1 - Senti estar imerso no ambiente.		6%		75%	19%
2 - Senti o aroma das flores?		25%	63%	6%	6%
3 - O aroma interfere negativamente ou distrai a visualização/navegação no ambiente?	6%	19%	62%	13%	-
4 - O aroma é agradável?	-	19%	56%	19%	6%
5 - O equipamento incomoda.	6%	56%	32%	6%	-
6 - O fluxo de ar (aroma) diretamente no nariz incomoda.	25%	56%	19%	-	-
7 - A experiência foi abaixo das minhas expectativas.	-	43%	19%	19%	19%
8 - O olfato deveria fazer parte das aplicações de Realidade Virtual.	-	-	19%	50%	31%
9 - O dispositivo demora para expelir o fluxo de ar depois que encontra as flores?	-	25%	25%	44%	6%
Comentários:					

5.2.3 Resultados do Experimento e Discussões

O resultado comparativo do grupo A e o grupo B apresentam, de forma geral, um resultado positivo na utilização ou exploração do sentido olfativo em ambientes virtuais. Tanto no grupo A como no grupo B (que tinha somente água como aroma) os *feedbacks* obtidos com relação à utilização e percepção do aroma durante a navegação do ambiente com o protótipo proposto foram positivos. A Figura 33 mostra os resultados do comparativo entre os grupos de participantes referentes ao grau de severidade. O resultado mostra a opinião (muito negativo, negativo, neutro, positivo ou muito positivo) considerando as respostas do questionário. Considerando os grupos A e B, o uso de odor durante a navegação foi positivo.

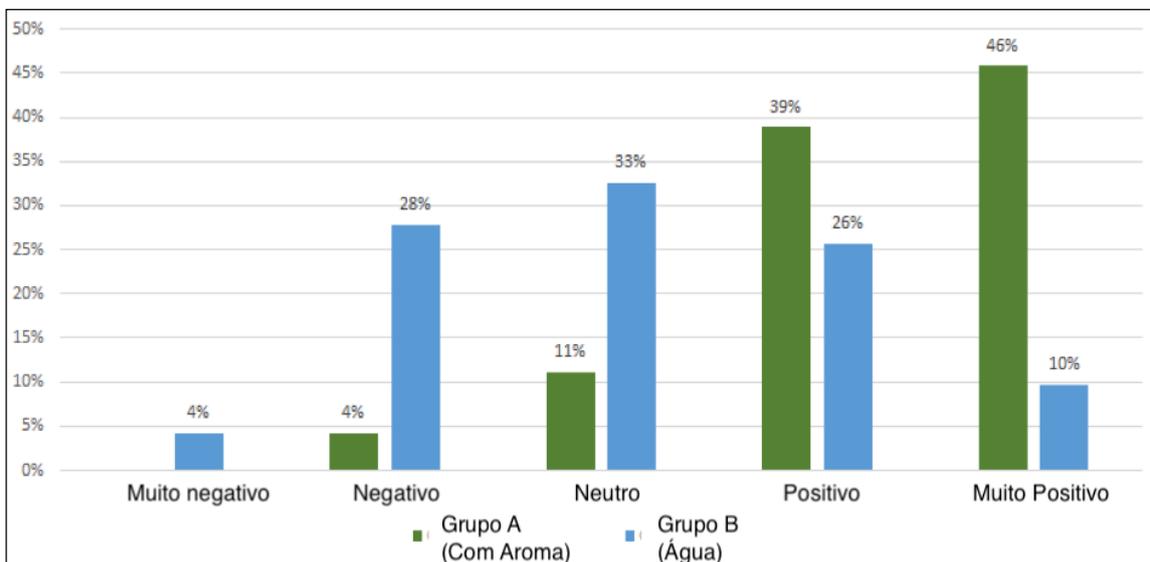


Figura 30 – Avaliação da experiência Grupo A x Grupo B

Observando os resultados obtidos de cada participante em cada grupo, faz-se necessário o levantamento das condições envolvidas em testes de significância. Para isso, será avaliado os resultados para cada variável a seguir.

Pergunta de pesquisa 1 (P1): Variável de imersão.

Os resultados não seguem uma distribuição normal. Para responder a P1, foi realizado um teste não paramétrico: *Wilcoxon rank-sum test*. Mais especificamente, comparou-se o uso do *display* olfativo com aroma de flores aumenta a imersão do usuário do que com a água (variável de imersão). A média para o AROMA foi de 4.5000, enquanto a da ÁGUA foi de 3.4688; o valor padrão para o AROMA foi de 0,4472; enquanto o da água foi de 0,5313. O valor de p (bilateral) foi $<0,0001$ (nível de significância 0,05). A hipótese nula foi rejeitada, pois os testes foram significativos; isto é, a alteração na pontuação do usuário não foi aleatória.

Pergunta de pesquisa 2 (P2): Variável de satisfação do usuário.

Os resultados não seguem uma distribuição normal. Para responder ao P2, foi realizado um teste não paramétrico: *Wilcoxon rank-sum test*. Mais especificamente, comparou-se o uso do *display* olfativo com aroma de flores aumenta a satisfação do usuário do que com a água (variável de satisfação do usuário). A média para o AROMA foi de 4,2875, enquanto a da ÁGUA foi de 3,4188; o valor padrão para o AROMA foi de 0,5136, enquanto o da água foi de 0,5764; o valor de p (bilateral) foi de 0,0004 (nível de significância 0,05). A hipótese nula foi rejeitada, pois os testes foram significativos; isto é, a alteração na pontuação do usuário não foi aleatória.

Pergunta de pesquisa 3 (P3): Eficácia do dispositivo.

Os resultados não seguem uma distribuição normal. Para responder ao P3, foi realizado um teste não paramétrico: *Wilcoxon rank-sum test*. Mais especificamente, comparou-se o uso do *display* olfativo com aroma de flores aumenta a eficácia do dispositivo do que com a água (variável de satisfação do usuário). A média do AROMA foi de 3,6875, enquanto a do ÁGUA foi de 2,6875. O valor de p (bilateral) foi de 0,0205 (nível de significância 0,05), para o AROMA de 1,1383, enquanto para o ÁGUA de 0,9465. A hipótese nula foi rejeitada, pois os testes foram significativos; isto é, a alteração na pontuação do usuário não foi aleatória.

Com base nos resultados da avaliação pode-se observar que existe uma significativa relevância para as variáveis de imersão, satisfação e eficácia do dispositivo. Ou seja, existe uma diferença na percepção sensorial olfativa dos participantes que navegaram no ambiente com aroma no *display* olfativo proposto, usando a aplicação de RV.

Sugere-se que o *display* olfativo apresentado neste trabalho pode ser uma adição positiva aos aplicativos de realidade virtual. No entanto, existem algumas considerações que devem ser colocadas. Foi utilizado um aroma agradável que o ser humano se adapta mais rapidamente do que os aromas desagradáveis. Por isso, em trabalhos futuros o mesmo estudo pode ser feito usando um aroma desagradável. Sendo assim, o efeito na imersão pode ser diferente.

O *display* olfativo proposto tem limitações, como a necessidade de reabastecimento, a versão atual suporta apenas um aroma e gera apenas fluxos retos que requerem um espaço muito limitado com uma configuração espacial específica. Isso leva ao problema da remoção do aroma, porque outro aroma não pode ser gerado sem a eliminação de um aroma anterior. Uma solução possível é incluir um sistema de ventilação. Hasegawa et al. (2018) apresentaram um mecanismo chamado Midair que visa controlar a distribuição espacial de aromas que geram fluxos de ar estreitos acionados por ultrassom eletronicamente orientáveis. Outro possível problema é a distribuição de moléculas de aroma no ambiente, que podem ser contornadas com a adição de uma máscara.

Na verdade, a maioria das soluções é baseada no uso de moléculas de odor (substâncias químicas) e, raramente, é a estimulação não química que estimula os receptores olfativos no nariz com pulsos elétricos fracos. Desenvolver uma solução não química é uma tarefa desafiadora que requer acionar os receptores olfativos dentro do epitélio olfativo (HARIRI et al., 2016; ISHIMARU et al., 1997), por exemplo, gerar pulsos elétricos nos receptores olfativos. Concha nasal (CHEOK e KARUNANAYAKA, 2018) ou implante de eletrodos no lobo frontal do cérebro (KUMAR et al., 2012). São abordagens interessantes, no entanto, não possuem a vantagem das interfaces naturais do usuário promovidas pela solução proposta.

Como vieses podem acontecer em qualquer experimento, alguns participantes sentiram tontura, gerando um desconforto durante os testes. Para amenizar tais efeitos, o avaliador sugeriu que os participantes se sentassem numa cadeira confortável.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma solução para projetos de RV, ampliando o aspecto multissensorial do usuário com a exploração do sentido olfativo. Também foram discutidos, em um primeiro momento, conceitos gerais das tecnologias que envolvem ambientes virtuais e, do ponto de vista histórico–evolutivo, a tecnologia de RV que implementa soluções semelhantes para exploração do sentido olfativo em ambientes virtuais.

À luz das principais características que um ambiente virtual deve ter, observaram-se propostas, conceitos e soluções de equipamentos e aplicações com o intuito de aumentar o nível de imersão do usuário, permitindo a exploração não somente dos sentidos da visão, audição, gustação e tato, mas também do sentido olfativo.

Conforme o objetivo da pesquisa, foi mostrada a implementação da proposta de solução com base em *hardware* customizado acoplado a um equipamento não convencional (óculos *Google CardBoard*), rodando uma aplicação de Realidade Virtual em um dispositivo móvel utilizado para se comunicar com uma biblioteca web escrita em linguagem de alto nível.

O resultado foi um equipamento customizado, construído com componentes de baixo custo, código aberto e de fácil acesso. O *software* foi construído sobre plataformas conhecidas, como *Unity3D/C#*, e de fácil acesso, como a API *Google VR Cardboard*, *Android Platform* e linguagem Java permitindo fácil manutenção, criação de novas funcionalidades e a implementação de recursos de *software* para produtos embarcados sem muita complexidade.

Também foi apresentado um estudo, fundamentado nas técnicas de pesquisa experimental, com dois grupos de participantes escolhidos de forma aleatória no intuito de analisar a relevância na exploração olfativa proposta para esta pesquisa. A tarefa para

operação pelos participantes era a mesma. Todas as médias dos participantes do grupo que navegaram no ambiente com aroma, independentemente de gênero, idade e treinamento, tiveram um *feedback* mais positivo.

Esta pesquisa também contribui para projetos e implementações futuras com base em *hardware* ou em *software*. Uma ideia é a elaboração de *drivers* específicos para difusores de aroma, facilitando a integração e simplificando o módulo *server* da biblioteca. Existe também a possibilidade de construção de um *hardware* customizado com um difusor com mais recipientes de aromas e um controlador para disparar aromas diferentes ou até misturar substâncias. Outra ideia, baseada na solução corrente, é construir um difusor de aroma para ambientes de realidade aumentada sendo necessário contemplar soluções para os problemas de percepção do usuário referente ao tempo de exposição do aroma e espaço. A miniaturização de *hardware* baseada na solução corrente também é outra possibilidade apreciada para trabalhos futuros devido aos interesses de aumentar a viabilidade e custo-benefício.

Sendo assim, neste contexto, pode-se considerar que há grandes possibilidades da exploração do sentido olfativo em ambientes virtuais com soluções de baixo custo, inovação tecnológica e em grande escala.

7. REFERÊNCIAS

- ARIYAKUL, Y.; NAKAMOTO, T. Olfactory Display Using a Miniaturized Pump and a Saw Atomizer for Presenting Low-volatile Scents. *2011 IEEE Virtual Reality Conference*, Singapura, 29 abr. 2011, p. 193-194. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5759464/>>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- AUVRAY, M.; SPENCE, C. The multisensory perception of flavor: consciousness and cognition. *Department of Experimental Psychology*, Universidade de Oxford, 2008. Disponível em: <http://www.nstu.net/malika-auvray/files/malika-auvray-auvray_spence_2008_cc.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2017.
- BARFIELD, W.; DANAS, E. Comments on the Use of Olfactory Displays for Virtual Environments. Sensory Engineering Laboratory. Department of Industrial Engineering Seattle, Universidade de Washington, 1996. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/sci-hub.cc/doi/pdf/10.1162/pres.1996.5.1.109>>. Acesso em: 27 jul. 2016.
- BAUS, O.; BOUCHARTE, S. Exposure to an unpleasant odour increases the sense of Presence in virtual reality. *Virtual Reality* 21, 59 – 74, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10055-016-0299-3>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- BODNAR, A.; CORBETT, R.; NEKRASOVSKI, D. AROMA: Ambient awareness through olfaction in a messaging application. *ICMI 2004 Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces*, Universidade da Colúmbia Britânica, p. 183-190, 1990. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1027965&dl=ACM&coll=DL&CFID=900647377&CFTOKEN=94819703>>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- BOWMAN, D. A.; GABBARD, J.; HIX, D. Usability Evaluation in Virtual Environments: Classification and Comparison of Methods. *ACM Computer Science*, 2001a. Disponível em: <http://eprints.cs.vt.edu/archive/00000541/01/VE_usability_presence.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- BOWMAN, D. A.; KRUIJFF, E.; LAVIOLA, J. J.; POUPYREV, I. An Introduction to 3-D User Interface Design. *MIT Press Teleoperators and Virtual Environments*, v. 10, p. 96-108, 2001b. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1246693>>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- BOWMAN, D. A.; MCMAHAN, R. P. Virtual Reality: How Much Immersion is Enough, 2007. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4287241>>. Acesso em: 10 out. 2019.

- BROOKS, F. R.; OUH-YOUNG, M.; BATTER, J.; KILPATRICK, P. J. Project Grope – Haptic Displays for Scientific Visualization. *ACM Computer Graphics*. Universidade da Carolina do Norte, p. 177-185, 1990. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=97899/>>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- BURDEA, G.; COIFFET, P. *Virtual Reality Technology*. Nova York, 2003. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=829566>>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- CAIN, W. S. To know with the nose: Keys to odor identification. *Science*, v. 203, p. 467-470, fev. 1979. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/760202>>. Acesso em: 15 jan. 2016.
- CHALMERS, A.; DEBATTISTA, K.; RAMIC-BRKIC, B. Towards High-fidelity Multi-sensory. *The Visual Computer: International Journal the Computer Graphics*, Washington, p. 1101-1108, 2009. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1667558>>. Acesso em: 30 jul. 2016.
- CHEN, Y. Olfactory Display: development and application in virtual reality therapy. *Department of Computer Science*, Universidade Wuhan, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4089317/>>. Acesso em: 1 out. 2016.
- CHEOK, Y.; KARUNANAYAKA, K. Virtual Taste and Smell Technologies for Multisensory Internet and Virtual Reality. *University Of London and Imagineering Institute*, 2018. Disponível em: <<https://www.springer.com/gp/book/9783319738635>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- CORRÊA, C. G.; NUNES, F. L. S. Interação com dispositivos convencionais e não convencionais utilizando integração entre linguagens de programação. *SVR2009 IX Symposium on Virtual and Augmented Reality*, p. 61-103, 2009. Disponível em: <<http://www.ckirner.com/realidadevirtual/?%26nbsp%3B LIVROS E CAP%CDTULO S:Livros de RVA 2009>>. Acesso em: 25 dez. 2016.
- DELWICHE, J. F. The Impact of perceptual interactions on perceived flavor. *SVR2009 IX Symposium on Virtual and Augmented Reality*, p. 61-103, 2004. Disponível em: <<http://www.ckirner.com/realidadevirtual/?%26nbsp%3B LIVROS E CAP%CDTULO S:Livros de RVA 2009>>. Acesso em: 25 dez. 2016.
- DANTHIIR, V.; ROBERTS, R.D; PALLIER, G.; STANKOV, L. What the nose knows: olfaction and cognitive abilities. *Intelligence* 29, 337–361., 2001. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00061-7](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00061-7)>. Acesso em: 10 out. 2019.
- FERNANDES, P. L. Development of a Wireless Controlled Olfactory Display for AR/VR applications. *School of Industrial and Information Engineering*, 2015. Disponível em: <<https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/109222>>. Acesso em: 25 set. 2019.

- FLASAR, J. 3D Interaction in Virtual Environment. *4th Central European Seminar on Computer Graphics*, p. 21-31, 2000. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.15.9826>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- GNECCO, B. B.; DOMINGUES, R.; BRASIL, G. J. C.; DIAS, D. R. C.; TREVELIN L. C. Estratégias mistas de mecanismos para imersão em modelos de interação em ambientes virtuais de treinamento. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada. Sociedade Brasileira de Computação*, v. 3, p. 104-120, 2003. Acesso em: 10 jan. 2017.
- GOLLEDGE, R. G. *Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*. Baltimore; Maryland: Johns Hopkins University Press, 1999.
- GOOGLE THINGS, 2017. Android Things Overview. Disponível em: <<https://developer.android.com/things/sdk/index.html>>. Acesso em: 10 set. 2017.
- GOTTFRIED, J. A.; DOLAN, R. J. The Nose Smells What the Eye Sees: Crossmodal Visual Facilitation of Human Olfactory Perception. *Neuron*, v. 39, p. 375-386, 2003. Disponível em: <http://labs.feinberg.northwestern.edu/gottfried/pdfs/gottfried_neuron03.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- GRIGOR, J.; TOLLER S. V.; BEHAN J.; A. RICHARDSON. The effect of odour priming on long latency visual evoked potentials of matching and mismatching objects. *Chemical Senses*, v. 24, p. 137-144, 1999. Disponível em: <<http://chemse.oxfordjournals.org/content/24/2/137.full.pdf+html>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- GUIMARÃES, M. P. *Um Ambiente para o Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Virtual baseadas em Aglomerados Gráficos*. 2004. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-10032005-111137/publico/teseGuimaraes2004.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2016.
- HAMID, N. N. A. A.; ADNAN, W. A. W.; RAZAK, F. H. A.; EDWARDS, A. D. N. Understanding the Current Learning Techniques of Wayfinding: A Case Study at Malaysian Association for the Blind (MAB). *4th International Conference on User Science and Engineering*, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7857952/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- HARIRI, S.; MUSTAFA, N. A.; KARUNANAYAKA, K.; CHEOK, A.D. Electrical Stimulation of Olfactory Receptors for Digitizing Smell, in: *Proceedings of the 2016 Workshop on Multimodal Virtual and Augmented Reality*, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3001959.3001964>>. Acesso em: 10 out. 2019.

- HASEGAWA, K.; QIU, L. Midair Ultrasound Fragrance Rendering. *Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24, 1477–1485, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794118>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- HASHIMOTO, K.; NAKAMOTO, T. Tiny Olfactory Display Using Surface Acoustic Wave Device and Micropumps for Wearable Applications. *IEEE Virtual Reality 2016 Conference*. Tóquio, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7447720/?reload=true&arnumber=7447720>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- HASHIMOTO, Y.; INAMI, M.; KAJIMOTO, H. Straw-like User Interface(II): a new method of presenting auditory sensations for a more natural experience, p. 484-493, 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1310055/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- HEILIG, M. L. El cine del futuro: The cinema of the future. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, p. 279-294, 1992. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2870744>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- HEILIG, M. L. *Sensorama Simulator*. U. S. Patente 3.050.870, 1962. Disponível em: <<https://www.google.com/patents/US3050870>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- HERRERA, N. S.; MCMAHAN, R. P. Development of a Simple and Low-Cost Olfactory Display for Immersive Media Experiences, in: *Proceedings of the 2Nd ACM International Workshop on Immersive Media Experiences, ImmersiveMe '14*. ACM, New York, NY, USA, pp. 1–6, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2660579.2660584>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- HERZ, R. S.; CLEF, J. V. Multi-modal virtual environments for education with haptic and olfactory feedback. *SAGE Journals*, v. 30, n. 3, p. 381-391, 2000. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1068/p3179>>. Acesso em: 11 jan. 2017.
- ISHIMARU, T.; SHIMADA, T.; SAKUMOTO, M.; MIWA, T.; KIMURA, Y.; FURUKAWA, M. Olfactory Evoked Potential Produced by Electrical Stimulation of the Human Olfactory Mucosa. *Chemical Senses* 22, 77–81, 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/chemse/22.1.77>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- IWATA, H.; YANO, H.; UEMURA, T.; MORIYA, T. Food Simulator: A Haptic Interface for Biting. *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2004*, p. 51-57, 2004. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1310055/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- JACOB, T. J. C.; WANG, L. A new method for measuring reaction times for odour detection at iso-intensity: Comparison between an unpleasant and pleasant odour.

- Physiology & Behavior 87, 500–505, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.11.018>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- JONES, L.; BOWERS, C. A.; WASHBURN, D. *The Effect of Olfaction on Immersion into Virtual Environments*. Flórida: Institute of Simulation & Training, 2004. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA426023 - page=292>>. Acesso em: 1 set. 2016.
- KAYE, J. Making Scents: aromatic output for HCI. *ACM Interactions*, v. 11, p. 48-61, 2004. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=964333>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- KIRNER, C.; KIRNER, T. Evolução e Tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. *SVR 2011 XIII Symposium on Virtual and Augmented Reality*, p. 8-24, 2011. Disponível em: <http://www.de.ufpb.br/~labteve/publi/2011_svrps.pdf>. Acesso em: 30 out. 2016.
- KIRNER, C.; KIRNER, T. Realidade Virtual e Realidade Aumentada potencializando as ações do usuário no mundo real. *Revista Dialogo*, 2009. Disponível em: <http://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/artigos/dialogo/2009_n14/ckirner.pdf>. Acesso em: 30 out. 2016.
- KU, J.; MRAZ, R.; BAKER, N.; ZAKZANIS, K. K.; LEE, J. H.; KIM, I. Y.; Graham, S. J. A Data Glove with Tactile Feedback for fMRI of Virtual Reality Experiments. *CyberPsychology & Behavior*, 6(5), 497–508, 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/472559/>>. Acesso em: 8 jan. 2017.
- KUMAR, G.; JUHÁSZ, C.; SOOD, S., ASANO, E. Olfactory hallucinations elicited by electrical stimulation via subdural electrodes: Effects of direct stimulation of olfactory bulb and tract. *Epilepsy & Behavior* 24, 264–268, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2012.03.027>>. Acesso em: 8 out. 2019.
- LAZAR, J.; FENG, J. H.; HOCHHEISER, H. *Research Methods in Human-Computer Interaction*. Londres: John Wiley & Sons, 2010.
- LINDEMAN, R. W.; NOMA, H. A Classification Scheme for Multi-Sensory Augmented Reality. *2007 ACM Symposium on Virtual reality software and technology*, p. 175-178, 2007. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1315216&preflayout=tabs>>. Acesso em: 27 jul. 2016.
- LINDEMAN, R. W.; NOMA, H.; BARROS, P. G. An Empirical Study of Hear-Through Augmented Reality: Using Bone Conduction to Deliver Spatialized Audio. *2008 IEEE Virtual Reality Conference*, 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4480747/>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

- LOFTIN, R. B. Multisensory Perception: Beyond The Visual in Visualization. *IEEE Computer Society American Institute of Physics*, 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1208644/>>. Acesso em: 1 set. 2016.
- MAYNES-AMINZADE. D. Edible Bits: Seamless Interfaces Between People, Data and Food. *ACM 2005 Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2005. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.113.8352>>. Acesso em: 30 dez. 2016.
- MINE, M. R. Technical Report. *Virtual Environment Interaction Techniques*, 1995. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=897820>>. Acesso em: 30 dez. 2016.
- NAGAHAMA, M.; NAKAMOTO, T.; ISHIDA, T.; KINOSHITA, M.; OTAGURO, S.; OHINISHI, K. Cooking Up an Interactive Olfactory Game Display. *IEEE Computer Graphics and Applications Journal*, v. 28, p. 75-78, 2008. Disponível em: <<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MCG.2008.3>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- NAKAMOTO, T.; MINH, H. P. D. Improvement of olfactory display using solenoid valves. *IEEE VR Conference*, Tóquio, p. 179-186, 2007. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4161021/>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- NAKAMOTO, T.; NAKAHIRA, Y.; HIRAMATSU, H.; MORIIZUMI, T. Odor recorder using active odor sensing system. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 76, p. 465-469, 1 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400501005871>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- NAMBU, A.; NARUMI, T.; NISHIMURA, K.; TANIKAWA, T.; HIROSE, M. Visual-olfactory display using olfactory sensory map. *IEEE Virtual Reality Conference*, p. 39-42, 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5444817/>>. Acesso em: 1 nov. 2016.
- NARUMI, T. Multi-sensorial Virtual Reality and Augmented Human Food Interaction. *Proceedings of the 1st Workshop on Multi-sensorial Approaches to Human-Food Interaction*, 2016. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3007577.3007587>>. Acesso em: 1 nov. 2016.
- NARUMI, T.; KAJINAMI, T.; NISHIZAKA, S.; TANIKAWA, T.; HIROSE, M. Pseudo-gustatory display system based on cross-modal integration of vision, olfaction and gustation. *IEEE Virtual Reality Conference*, p. 127-130, 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5759450/>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

- NARUMI, T.; MIYAURA, T.; TANIKAWA, T.; HIROSE, M. Simplification of olfactory stimuli in pseudo-gustatory displays. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, p. 504-512, 2014. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2608159>>. Acesso em: 15 nov. 2016.
- NORDAHL, R. Increasing the motion of users in photo-realistic virtual environments by utilising auditory rendering of the environment and ego-motion. *Proceedings of the 9th International Workshop on Presence*, p. 57-63, 2006. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/11635150/nordahl_presence_2007.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2019.
- NORDAHL, R.; Nilsson, N. The Sound of Being There: Presence and Interactive Audio in Immersive Virtual Reality. *The Oxford Handbook of Interactive Audio*, chapter 13, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262223173_The_Sound_of_Being_There_Presence_and_Interactive_Audio_in_Immersive_Virtual_Reality>. Acesso em: 08 jul. 2019.
- NORDAHL, R., BERREZAG, A., DIMITROV, S., TURCHET, L., HAYWARD, V., & SERAFIN, S. Preliminary Experiment Combining Virtual Reality Haptic Shoes and Audio Synthesis. *Lecture Notes in Computer Science*, 123–129, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14075-4_18>. Acesso em: 08 jul. 2019.
- NUNEZ, O. J. A., LUBOS, P., STEINICKE, F. HapRing: A Wearable Haptic Device for 3D Interaction. *Mensch und Computer*, 421–424, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/299370013_HapRing_A_Wearable_Haptic_Device_for_3D_Interaction>. Acesso em: 20 jul. 2019.
- RICHARD, E.; TIJOU, A.; RICHARD, P.; FERRIER, J. L. 2006. Multi-modal virtual environments for education with haptic and olfactory feedback. *Virtual Reality*, v. 10, p. 207-225, dez. 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10055-006-0040-8>>. Acesso em: 15 jul. 2016.
- ROLLAND, J. P.; HOLLOWAY, R.; FUCHS, F. A. Comparison of Optical and Video See-Through Head-Mounted Display. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, jan. 1994. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228796737_Comparison_of_optical_and_video_see-through_head-mounted_displays>. Acesso em: 22 nov. 2016.
- SAKAI, S. I.; SAITO, S.; KOBAYAKAWA, T.; DEGUCHI, Y. The Effect of Visual Images on Perception of Odors. *Chemical Senses*, v. 30, suplemento 1, 2005. Disponível em:

- <<https://academic.oup.com/chemse/article-lookup/doi/10.1093/chemse/bjh205>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- SATO, S.; OHTSUT, K.; BANNAIT, Y.; OKADA, K. 2009. Effective Presentation Technique of Scent Using Small Ejection Quantities of Odor. *IEEE Virtual Reality*, 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4811015/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- SHIGENO, H.; HONDA, S.; OSAWA, T.; NAGANO, Y.; OKADA, K.; MATSUSHITA, Y. FriendPark – A virtual space expressed the scent and wind. *Journal of Information Processing Society of Japan*, v. 42, p.1922-1932, 2001. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/969706/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- SUGIMOTO, S.; SEGAWA, R.; NOGUUCHI, D.; BANNAI, Y.; OKADA, K. Presentation Technique of Scents Using Mobile Olfactory Display for Digital Signage. *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011*, p. 323-337, 2011. Disponível em: <<http://dl.ifip.org/db/conf/interact/interact2011-3/SugimotoSNBO11.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2016.
- SUGIYAMA, H.; KANAMURA, S. A.; KIKUCHI, T. Are olfactory images sensory in nature? *Perception*, v. 35, p. 1699-1708, 2006. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17283935>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. *Sociedade Brasileira de Computação*, 2006. Disponível em: <http://www.ckirner.com/download/capitulos/Fundamentos_e_Tecnologia_de_Realidade_Virtual_e_Aumentada-v22-11-06.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- WASHBURN, D. A.; JONES, L. M. Could Olfactory Displays Improve Data Visualization? *IEEE Computer Society American Institute of Physics*, 2004. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1353185/>>. Acesso em: 1 set. 2016.
- WASHBURN, D. A.; JONES, L. M. Could olfactory displays improve data visualization? *IEEE Computer Society American Institute of Physics*, 2004. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1353185/>>. Acesso em: 1 set. 2016.
- YANAGIDA, Y.; ADACHI, T.; MIYASATO, T.; TOMONO, A.; KAWATO, S.; NOMA, H. Integrating a projection-based olfactory display with interactive audio-visual contents. 2005. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/228714797>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- YANAGIDA, Y.; KAWATO, S.; NOMA, H.; TOMONO, A.; TETSUTANI, N. Projection-Based Olfactory Display with Nose Tracking. *IEEE Virtual Reality*, 2004. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/3a80/19cbfc0fd0b1106b261d97fd02ae8d101c4a.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

- YANAGIDA, Y.; NOMA, H.; TETSUTANI, N.; TOMONO, A. An Unencumbering, Localized Olfactory Display. *CHI EA '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, p. 988-989, 2003. Disponível em: <http://vrlab.meijo-u.ac.jp/~yanagida/pub/chi2003_IP_yanagida.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- YOKOSHIKI, Y.; NAKAMOTO, T. Study of Odor Preconcentrator Using SAW Device. *14th International Meeting on Chemical Sensors*, 2012. Disponível em: <<http://www.ama-science.org/proceedings/details/959>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- YOKOYAMA, S.; TANIKAWA, T.; HIROTA, K.; HIROSE, M. Olfactory field simulation using wearable olfactory display. *Trans. Virtual Reality Society of Japan*, v. 9, p. 265-274, 2004. Disponível em: <<https://ci.nii.ac.jp/naid/110008746942>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- ZELLNER, D. A.; KAUTZ, M. A. Color affects perceived odor intensity. *Journal of Experimental Psychology*, v. 16, p. 391-397, 1990. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/21014241_Color_Affects_Perceived_Odor_Intensity>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- ZORAN, A.; COELHO, M. Cornucopia: The Concept of Digital Gastronomy. *Journal of the International Society for the Arts, Sciences and Technology*, v. 44, n. 5, p. 425-431, 2011. Disponível em: <[http://fluid.media.mit.edu/sites/default/files/44.5.zoran\(1\).pdf](http://fluid.media.mit.edu/sites/default/files/44.5.zoran(1).pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2017.

APÊNDICE

BIBLIOTECA DE COMUNICAÇÃO - Módulo Servidor

A seguir nas Figuras 31, 32 e 33 apresentam as três classes principais que fazem parte do módulo servidor da biblioteca de comunicação que reside no Raspberry PI3.

```
import james.androidthings.server.smellATServer.model.GpioModel;

public class GpioResource extends ServerResource {

    @Get("json")
    public Representation getState() {
        JSONObject json = new JSONObject();
        try {
            json.put("state", GpioModel.getState());
        } catch (JSONException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        return new StringRepresentation(json.toString(),
        MediaType.APPLICATION_ALL_JSON);
    }

    @Post("json")
    public Representation postState(Representation representation) {
        JSONObject result = new JSONObject();
        try {
            JsonRepresentation json = new
            JsonRepresentation(representation);
            result = json.getJsonObject();
            boolean state = (boolean)result.get("state");
            Log.d(this.getClass().getSimpleName(), "new state: "+state);
            GpioModel.setState(state);
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
        return new StringRepresentation(result.toString(),
        MediaType.APPLICATION_ALL_JSON);
    }
}
```

Figura 31 – Classe GPIOResource

```

import com.google.android.things.pio.Gpio;
import com.google.android.things.pio.PeripheralManagerService;
import java.io.IOException;

public class GpioModel {

    private static GpioModel instance = null;
    private Gpio mGpio;
    private PeripheralManagerService managerService;
    private static String mGpioName = "BCM6"; // Porta de disparo

    public static GpioModel getInstance() {
        if (instance == null) {
            instance = new GpioModel();
        }
        return instance;
    }

    private void setmGpioName(String gpioName) {
        this.mGpioName = gpioName;
    }

    private GpioModel() {
        managerService = new PeripheralManagerService();
        try {
            mGpio = managerService.openGpio(mGpioName);
            mGpio.setDirection(Gpio.DIRECTION_OUT_INITIALLY_LOW);
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }

    public static void setState(boolean state) {
        try {
            getInstance().mGpio.setValue(state);
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }

    public static boolean getState() {
        boolean state = false;
        try {
            state = getInstance().mGpio.getValue();
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        return state;
    }
}

```

Figura 32 – Classe GPIModel

```

public class RestSensorialService extends IntentService {

    private static final String ACTION_START =
"james.androidthings.server.action.START";
    private static final String ACTION_STOP =
"james.androidthings.server.action.STOP";
    private Component mComponent;

    public RestSensorialService() {
        super("RestService");
        Engine.getInstance().getRegisteredServers().clear();
        Engine.getInstance().getRegisteredServers().add(new
HttpServerHelper(null));
        mComponent = new Component();
        mComponent.getServers().add(Protocol.HTTP, 8080);
        Router router = new Router(mComponent.getContext().createChildContext());
        router.attach("/server", GpioResource.class);
        mComponent.getDefaultHost().attach("/rest", router);
    }

    @Override
    protected void onHandleIntent(@Nullable Intent intent) {
        if (intent != null) {
            final String action = intent.getAction();
            if (ACTION_START.equals(action)) {
                handleStart();
            } else if (ACTION_STOP.equals(action)) {
                handleStop();
            }
        }
    }

    public static void startServer(Context context) {
        Intent intent = new Intent(context, RestService.class);
        intent.setAction(ACTION_START);
        context.startService(intent);
    }

    public static void stopServer(Context context) {
        Intent intent = new Intent(context, RestService.class);
        intent.setAction(ACTION_STOP);
        context.startService(intent);
    }

    private void handleStart() {
        try {
            mComponent.start();
        } catch (Exception e) {
            Log.e(getClass().getSimpleName(), e.toString());
        }
    }

    private void handleStop() {
        try {
            mComponent.stop();
        } catch (Exception e) {
            Log.e(getClass().getSimpleName(), e.toString());
        }
    }
}

```

Figura 33 – Classe RestSensorialService