



Universidade Federal do Rio Grande



Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde

Associação Ampla FURG / UFRGS / UFSM

AMBIENTES FÍSICO-VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM

Rafael Augusto Penna dos Santos

Dra. Silvia Silva da Costa Botelho
Orientadora

Rio Grande
2014

Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem

Por

Rafael Augusto Penna dos Santos

Tese de Doutorado apresentada ao programa de pós-graduação em Educação em Ciências, da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências.

Rio Grande, 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM
CIÊNCIAS

A COMISSÃO EXAMINADORA, ABAIXO ASSINADA, APROVA A TESE:

Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem

ELABORADO POR: RAFAEL AUGUSTO PENNA DOS SANTOS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
DOUTOR EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof(a). Dr. Silvia Silva da Costa Botelho (Orientador FURG – PPGEC / C3)

Profa. Dra. Danúbia Bueno Espíndola (FURG – C3)

Prof. Dr. Rodrigo da Silva Guerra (UFSM)

Prof. Dr. João Alberto da Silva (FURG – PPGEC)

Prof. Dr. Alessandro de Lima Bicho (FURG – C3)

Rio Grande

2014

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes.”

(Autor desconhecido).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as oportunidades, pelo apoio incondicional e por guiar a minha vida. Obrigado a minha orientadora Sílvia, por toda paciência e orientação dedicada. Agradeço também ao Marcos Amaral pelo apoio técnico nas implementações.

Um obrigado a toda minha família, principalmente aos meus pais, pela educação dada, que foi a base para se chegar até aqui.

Por fim, o obrigado especial para minha esposa Luciana, por todo amor, carinho, paciência e companheirismo que foram o suporte dessa jornada.

RESUMO

O avanço tecnológico dos últimos anos ocasionou mudanças na maneira como as pessoas se relacionam. Dispositivos computacionais, sensores e atuadores se fazem presentes na vida das pessoas atualmente, de maneira que os mundos físico e virtual se misturam. Propostas de sistemas físico-cibernéticos (Cyber-Physical Systems ou CPS) surgem com o intuito de integrar os sistemas computacionais com objetos do mundo físico. Neste novo contexto, as discussões dos impactos tecnológicos nos ambientes escolares são importante, estabelecendo novas áreas de pesquisa, como ensino eletrônico, educação à distância, aprendizagem móvel e aprendizagem ubíqua. Dentro dessas áreas, os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs), que são sistemas computacionais disponíveis na internet, destinados ao suporte de atividades mediadas pelas tecnologias de informação e comunicação, são bastante utilizados e estudados. Esses ambientes podem ser identificados por uma série de características que envolvem interação entre alunos e professores, oportunidades de socialização e concepção de informação, propostas pedagógicas, representação do espaço virtual, entre outras. No entanto, os AVAs costumam apresentar possibilidades restritas de lidar com as informações do mundo físico. Esta tese tem como foco a integração de elementos reais/físicos em AVAs, através de interfaces humano-computador avançadas. Para tanto, propõe-se a definição de Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem, discutindo suas características e um modelo conceitual de referência. Por fim, a plataforma Toogle, proposta para implementação de sistemas físico-cibernéticos, é aprimorada e utilizada no desenvolvimento desses novos espaços.

Palavras-chave: ambientes virtuais de aprendizagem, sistemas físico-virtuais, Toogle, ambientes físico-virtuais de aprendizagem.

ABSTRACT

Technological advances in recent years has brought about changes in the way people relate. Computing devices, sensors and actuators are present in the in people's lives today, in a way that the physical and virtual worlds mix. Proposals of Cyber-Physical Systems (CPS) arise in order to integrate computer systems with the physical world objects. In this new context, discussions about technological impacts on school environments are important, establishing new areas of research, such as e-learning, distance education, mobile learning and ubiquitous learning. Within these areas, the Virtual Learning Environments (VLEs), which are computer systems available on the Internet, intended to support activities mediated by information and communication technologies, are widely used and studied. These environments can be identified by a number of features that involve interaction between students and teachers, socialization opportunities, educational proposals, representation of virtual space, among others. However, VLEs often have limited possibilities to deal with the information of the physical world. This dissertation focuses on the integration of real / physical elements in VLEs, through advanced human-computer interfaces. We propose the definition of Cyber-Physical Learning Environments, discussing their characteristics and a reference conceptual model. Finally, the Toogle plataform, proposed to implement cyber-physical systems, is enhanced and used to develop these new spaces.

Keywords: virtual learning environments, cyber-physical systems, Toogle, cyber-physical learning environments.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	14
1.1. O Problema.....	14
1.2. Questões de pesquisa.....	18
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo Geral.....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Requisitos.....	20
1.5. Organização do texto.....	20
2. Fundamentação Teórica.....	21
2.1. Sistemas Físico-Cibernéticos.....	21
2.1.1. Interfaces Humano-Computador Avançadas.....	21
2.1.2. Um mapa conceitual sobre Sistemas Físico-Cibernéticos.....	31
2.2. Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs).....	35
2.2.1. Conceitos e características.....	38
2.2.2. Modelo Conceitual para AVAs.....	42
2.3. Trabalhos relacionados.....	48
2.3.1. Eixos de análise de uma aprendizagem mediada por tecnologia.....	48
2.3.2. Interfaces avançadas.....	55
2.3.3. AVAs institucionais.....	64
2.4. Síntese da fundamentação teórica e trabalhos relacionados.....	71
3. Aspectos Metodológicos De Uma Aprendizagem Físico-Virtual.....	74
3.1. Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem (AFVA).....	74
3.1.1. Requisitos para AFVAs.....	74
3.1.2. Definições e características de AFVAs.....	75
3.1.3. Modelo conceitual para AFVAs.....	76
3.2. A Plataforma Toogle.....	80
3.2.1. Requisitos.....	80

3.2.2. Modelo conceitual para sistemas Físico-cibernéticos e Hiperambientes.....	81
3.2.3. Arquitetura da plataforma.....	82
3.3. Toogle como engine para implementação de AFVAs.....	94
3.4. Considerações finais.....	96
4. Testes, Resultados e Discussão.....	98
4.1. Estudo de caso 1.....	98
4.2. Estudo de caso 2.....	108
4.2.1. Criando um hiperambiente com a Toogle.....	108
4.2.2. Análise pela ótica dos AFVAs.....	119
4.3. Discussão dos resultados.....	120
4.4. Considerações finais.....	123
5. Conclusões e Trabalhos Futuros.....	124
5.1. Conclusões.....	124
5.2. Trabalhos futuros.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aprendizagem mediada por tecnologia.....	18
Figura 2: Diagrama de realidade/virtualidade contínua (Milgram, 1994).....	25
Figura 3: Modelo conceitual para IoT, traduzido de Serbanati et al. (2011).....	30
Figura 4: Elementos básicos de um CPS (Amaral, 2013).....	32
Figura 5: Mapa Conceitual de CPS (Amaral, 2013 apud Lee, 2008).....	33
Figura 6: Modelo Conceitual para um AVA (Dongming Xu, 2005).....	43
Figura 7: Exemplo de planejador.....	46
Figura 8: Modelo Conceitual para um AFVA.....	77
Figura 9: Modelo conceitual para CPS (adaptado de Serbanati et al., 2011).....	81
Figura 10: Arquitetura da Plataforma Toogle.....	83
Figura 11: Arquitetura Toogle - Editor.....	83
Figura 12: Toogle Editor.....	84
Figura 13: Estrutura do hiperambiente.....	85
Figura 14: Arquitetura Toogle – Middleware e Componentes.....	86
Figura 15: Hiperambiente no tempo k.....	87
Figura 16: Arquitetura Toogle – Inteligência.....	89
Figura 17: Pyperplan - Descrição do domínio.....	91
Figura 18: Pyperplan - Descrição do problema.....	91
Figura 19: Pyperplan - Solução do problema.....	92
Figura 20: Simulação física do Objeto Inteligente “Carro”.....	92
Figura 21: Arquitetura Toogle – Navegador.....	92
Figura 22: Toogle Navegador.....	93
Figura 23: Universidade Federal do Rio Grande (imagem Google).....	99
Figura 24: Modelo 3D do prédio do Centro de Ciências Computacionais.....	100
Figura 25: Modelo 3D do prédio do Centro de Convivência.....	100
Figura 26: Modelo 3D do prédio da biblioteca.....	100

Figura 27: Criação de componente no estudo de caso 1 - Editor Toogle.....	101
Figura 28: Descrição dos componentes - Estudo de caso 1.....	102
Figura 29: XML - Estudo de caso 1.....	104
Figura 30: XML Estudo de Caso 1 - Estado Final.....	105
Figura 31: Planejamento - Estudo de caso 1.....	106
Figura 32: Navegador Toogle (apresentação 3D) - Estudo de caso 1.....	107
Figura 33: Navegador Toogle (apresentação PDF) - Estudo de caso 1.....	107
Figura 34: Arquitetura Toogle Editor - Estudo de caso 2.....	109
Figura 35: Criação de um componente Toogle.....	110
Figura 36: Descrição dos componentes - Estudo de caso 2.....	111
Figura 37: XML - Estudo de caso 2.....	113
Figura 38: Arquitetura Toogle Middleware e Componentes-Estudo de caso 2.	114
Figura 39: XML Estudo de Caso 2 - Estado Final.....	116
Figura 40: Planejamento - Estudo de caso 2.....	117
Figura 41: Arquitetura Toogle Navegador - Estudo de caso 2.....	117
Figura 42: Navegador Toogle (apresentação 3D) - Estudo de caso 2.....	118
Figura 43: Navegador Toogle (apresentação PDF) - Estudo de caso 2.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Geração de computadores e de interfaces de usuários.....	22
Tabela 2: Comparação entre AVAs.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS

FURG - Fundação Universidade Federal do Rio Grande
ROS - Robotic Operating System
IoT - Internet of Toogles
AVA - Ambiente Virtual de Aprendizagem
AFVA - Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem
CPS - Cyber Physical Systems
IHC - Interface Homem-Computador
TIC - Tecnologias da Informação e Comunicação
EAD - Educação à Distância
RV - Realidade Virtual
RM - Realidade Mista
RA - Realidade Aumentada
VA - Virtualidade Aumentada
EEML - Extended Environments Markup Language
XML - Extensible Markup Language
W3C - World Wide Web Consortium
SSN - Semantic Sensor Network
UC - Ubiquitous Computing
RFID - Radio-Frequency Identification
HTML - HyperText Markup Language
UML - Unified Modeling Language

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. O Problema

Analisando-se o avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas, pode-se perceber diversos fenômenos ocorridos. Quanto às mudanças do paradigma computacional tem-se, em um primeiro momento, por volta dos anos 50, computadores enormes, que eram acessados apenas por técnicos especializados e seus recursos eram compartilhados por vários indivíduos.

Posteriormente, com o surgimento de novas tecnologias, como dos transistores e dos circuitos integrados, os computadores começaram a diminuir de tamanho. No início da década de 80 surgiram os computadores pessoais, que se tornaram populares, superando rapidamente o número de usuários dos grandes computadores (WEISER E BROWN, 1996). Nesse período, cada usuário possuía seu computador, criando-se um modelo computacional de um usuário para um computador. A partir desse momento, o mundo virtual começa a fazer parte do usuário comum.

Mais recentemente, com o surgimento da internet, com o desenvolvimento da infraestrutura de banda larga, com e sem fio, e com o avanço no desenvolvimento de sistemas embarcados e mais rápidos, tem-se um novo cenário, onde as tecnologias estão espalhadas pelos mais diversos locais frequentados pelas pessoas. O modo como as pessoas interagem com a tecnologia se modifica e começam a surgir novas interfaces humano-computador, que facilitam a utilização dos computadores e

possibilitam que novas aplicações sejam projetadas. Neste novo contexto, a maneira como as pessoas se comunicam e se relacionam umas com as outras e com os dispositivos computacionais introduzem um novo paradigma, o da *computação ubíqua*, onde muitas pessoas compartilham vários computadores. Os ambientes passam a ter diversos dispositivos computacionais que influenciam, de alguma maneira, na vida das pessoas. Redes de sensores e atuadores se espalham por diferentes locais do planeta, permitindo que a interação entre usuários e computadores atinja novos patamares.

Nos últimos anos, estudos têm procurado unir dois mundos que até então existiam separadamente. Propostas de Sistemas Físico-Cibernéticos (*Cyber-Physical Systems* ou CPS) começam a aparecer, tentando integrar sistemas computacionais com objetos do mundo físico (LEE, 2008).

Neste novo contexto, tornou-se constante a discussão dos impactos tecnológicos no ambiente escolar. Estudos envolvendo as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) na educação estabelecem novas áreas de pesquisa, como ensino eletrônico (e-learning) (CLARK E RICHARD, 2011), educação à distância (PHIPPS E MERISOTIS, 1999), ambientes virtuais de aprendizagem (DILLENBOURG, 2002), aprendizagem móvel (m-learning) (KUKULSKA-HULME E TRAXLER, 2005), aprendizagem ubíqua (u-learning) (JONES E JUN H., 2004), etc.

Ensino eletrônico (e-learning) é um termo amplo que, em geral, engloba outros termos associados ao uso de TICs na educação e é definido por Koohang (2005) como a oferta de educação (todas as atividades relevantes para instruir, ensinar e aprender), através de vários meios de comunicação eletrônica/digital, como a internet, intranets, televisão por satélite, vídeos, áudios, CD, DVD, etc.

O avanço no ensino eletrônico produziu uma série de novos materiais didáticos que utilizam recursos multimídia no processo de ensino-aprendizagem. Nesse contexto, os objetos de aprendizagem começaram a ganhar força. Segundo Dias:

“objetos de aprendizagem são considerados como qualquer tipo de recurso, digital ou não, que possui o intuito de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem, podendo ser reutilizado em diferentes contextos” (DIAS et al., 2009 apud IEEE/LTSC,

2014).

Esses recursos podem compreender vídeos, imagens, animações, simulações, hipertextos, apresentações em slides, entre outros. O uso desses objetos se tornou comum com o surgimento da educação à distância (EaD) mediada por TICs, processo educacional onde professores e alunos estão separados espacial e/ou temporalmente (MORAN, 2008).

Com o avanço da educação a distância, surge o conceito de comunidade virtual (RHEINGOLD, 1993), que é definida como:

“uma agregação cultural formada pelo encontro sistemático de um grupo de pessoas no ciberespaço. Este tipo de comunidade é caracterizada pela co-atuação de seus participantes, os quais compartilham valores, interesses, metas e posturas de apoio mútuo, através de interações no universo on-line.” (MUSSOI et al., 2007)

A partir do conceito de comunidades virtuais de aprendizagem, surgem os primeiros ambientes virtuais de aprendizagem (AVA). Dillenbourg identifica AVAs por uma série de características, tais como ser um espaço social e para conceber informação, ser um local onde os alunos co-constroem o espaço virtual, ser um espaço explicitamente representado e que não se restringe à educação a distância, mas também com atividades de sala de aula, ser um espaço que integra tecnologias heterogêneas, com múltiplas propostas pedagógicas e que acontece simultaneamente aos ambientes físicos (DILLENBOURG, 2002). Esses ambientes costumam oferecer uma série de objetos de aprendizagem, além de apresentarem também ferramentas para comunicação entre estudantes e professores.

Pode-se conceituar um ambiente virtual de aprendizagem como um ambiente virtual web composto por ferramentas administrativas e de ensino, que auxilia a

aprendizagem. Essa definição está relacionada, por exemplo, aos diversos AVAs que são utilizados nas universidades, dando suporte a educação a distância. No entanto, é importante perceber que os conceitos relacionados a AVAs e e-learning podem ser bastante similares em determinadas visões. O termo aprendizagem mediada por tecnologia, que inclui AVAs, é definido como qualquer sistema tecnológico que apoia diretamente a aprendizagem e o ensino (BROWNE, 2008).

Nesse sentido, a presente tese de doutorado encontra-se fundamentada em um grande eixo temático: aprendizagem mediada por tecnologia. Este eixo temático possui como alicerces a educação e a computação, que serão explorados ao longo desta pesquisa através dos ambientes virtuais de aprendizagem e das interfaces humano-computador utilizadas em ambientes físico-cibernéticos. Esta introdução apresenta brevemente os temas de modo a facilitar a elaboração das questões de pesquisa, para que, posteriormente, possam ser discutidos com maior profundidade na fundamentação teórica.

Os eixos temáticos deste trabalho podem ser vistos na Figura 1, onde a aprendizagem mediada por tecnologia engloba diversas outras áreas de estudo, cujo os conceitos são semelhantes e/ou se sobrepõem. Nesta tese, um estudo sobre ambientes virtuais de aprendizagem será apresentado, sendo o termo entendido ora de forma mais restrita (AVAs institucionais), ora de maneira mais geral (como uma aprendizagem mediada por tecnologia).

Após as discussões acerca da aprendizagem mediada por tecnologia, este trabalho apresentará a plataforma Toogle, desenvolvida para implementação de sistemas físico-cibernéticos (AMARAL, 2013) e aprimorada nesta tese. A plataforma foi construída para permitir a criação e edição de ambientes que integrem os mundos físico e virtual, e também para propiciar a navegação do usuário por esses ambientes.

Baseado neste contexto, é proposta uma reflexão: como pode-se, através dos AVAs, implementar ambientes em que elementos dos mundos físico e virtual contribuam para o aprendizado?

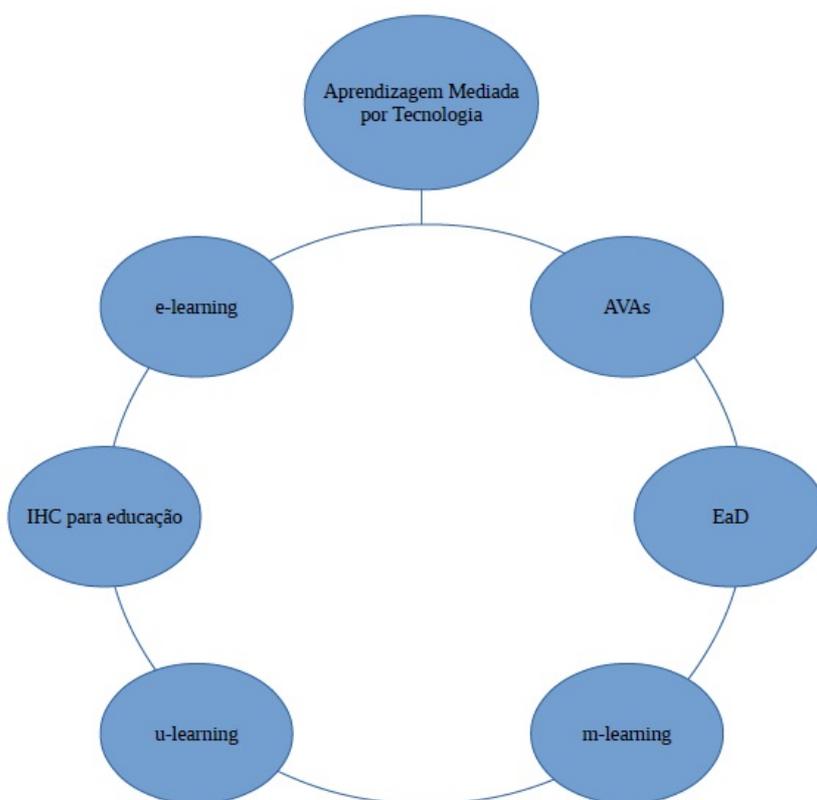


Figura 1: Aprendizagem mediada por tecnologia

São justamente as questões relacionadas a integração dos ambientes físicos com os ambientes virtuais de aprendizagem que passam a ser o foco deste trabalho, através da proposta de um Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem (AFVA), termo cunhado nesta tese. Acredita-se que o avanço tecnológico das últimas décadas tenha possibilitado a criação de interfaces humano-computador avançadas capazes de propiciar tal integração.

1.2. Questões de pesquisa

As questões de pesquisa desta tese giram em torno de duas áreas do conhecimento, a computação e a educação, tendo como principal eixo temático a aprendizagem mediada por tecnologia. Com base em apontamentos percebidos nos

estudos descritos na fundamentação teórica, foram formuladas as seguintes questões de pesquisa:

- Ambientes Virtuais de Aprendizagem (ou Aprendizagens Mediadas por Tecnologia) permitem a utilização de objetos físicos dos ambientes do mundo real?
- Como incorporar interfaces humano-computador avançadas nos ambientes de aprendizagem?
- Como desenvolver Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem, integrando elementos físicos e virtuais dos ambientes, através de uma plataforma construída para lidar com sistemas físico-cibernéticos?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Caracterizar um Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem e propor um modelo conceitual para seu desenvolvimento, identificando os principais elementos constituintes, bem como suas interconexões e possibilidades de implementação.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar um estudo bibliográfico envolvendo as áreas de Ambientes Virtuais de Aprendizagem e Interfaces Humano-Computador, tendo como foco a aprendizagem mediada por tecnologia;
- Definir as características e os requisitos de um AFVA;
- Propor um modelo conceitual para um AFVA, envolvendo a definição dos elementos e suas relações;
- Integrar interfaces humano-computador avançadas aos AFVAs, a fim de prover maior interação;

- Desenvolver AFVAs se utilizando da plataforma Toogle.

1.4. Requisitos

Este trabalho apresenta alguns requisitos, descritos a seguir e que, posteriormente, pretende-se verificar:

- Um AFVA possui características semelhantes às de um AVA;
- Um AFVA possui pelo menos uma característica diferente de um AVA;
- Um modelo conceitual para um AVA pode ser utilizado para um AFVA, desde que adaptado;
- A plataforma Toogle pode implementar AFVAs.

1.5. Organização do texto

O Capítulo 1 desta tese apresentou uma introdução do trabalho, definindo o problema a ser abordado, as questões de pesquisa, os objetivos e os requisitos consideradas. Já o Capítulo 2 passa a discutir conceitos importantes para a fundamentação teórica e analisa os trabalhos relacionados.

Após as discussões acerca da fundamentação teórica e a apresentação dos trabalhos relacionados, este texto apresenta, no Capítulo 3, a proposta de um Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem (AFVA). A plataforma Toogle, que foi desenvolvida para implementação de sistemas físico-cibernéticos, bem como sua utilização para o desenvolvimento de AFVAs, também são apresentados no Capítulo 3.

No Capítulo 4, são demonstrados e discutidos dois estudos de caso para validação, tanto na plataforma Toogle, quanto nos AFVAs.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa seção será apresentada uma fundamentação teórica quanto às duas principais temáticas envolvidas neste trabalho: os Sistemas Físico-Cibernéticos e os Ambientes Virtuais de Aprendizagem.

2.1. Sistemas Físico-Cibernéticos

Em um primeiro momento, procura-se apresentar nesta seção, uma discussão sobre as Interfaces Humano-Computador (IHC), que são dispositivos ou sistemas que buscam implementar a interação entre os seres humanos e o computador, e dentre as quais, os Sistemas Físico-Cibernéticos se destacam. A partir de tais discussões, um mapa conceitual será abordado a fim de analisar os CPSs quanto as suas definições, requisitos e aplicações. Posteriormente, serão apresentados trabalhos relacionados as diferentes IHCs em contextos de aprendizagem.

2.1.1. Interfaces Humano-Computador Avançadas

Como primeira definição de interface, podemos entendê-la como sendo:

“uma superfície de contato que reflete as propriedades físicas das partes que interagem, as funções a serem executadas e o

balanço entre poder e controle” (LAUREL E MOUNTFORD, 1990).

A maçaneta, por exemplo, é a interface entre o ser humano e a porta. Enquanto que o câmbio ou a direção são interfaces entre o homem e o automóvel. Com o passar dos tempos, as interfaces foram aprimoradas e o próprio conceito de interface evoluiu. No exemplo da porta, antigamente as maçanetas eram rústicas e hoje, muitas vezes, elas nem existem, bastando a pessoa se aproximar para que a porta seja aberta.

É comum associar Interfaces Humano-Computador (IHC) às janelas, aos ícones, aos menus, às linhas de comando e aos cursores piscando. No entanto, o termo envolve questões bem mais complexas (ROCHA E BARANAUSKAS, 2003).

Rocha e Baranauskas (2003) apresentam uma tabela, adaptada de Nielsen (1993), com um histórico, analisando a geração de interfaces e traçando um paralelo com os componentes de hardware que as suportam, qualificando a categoria de usuários de computadores em cada geração (Tabela 1).

Tabela 1: Geração de computadores e de interfaces de usuários (ROCHA E BARANAUSKAS, 2003, adaptado de NIELSEN, 1993, P.50)

Geração	Tecnologia de Hardware	Modo de Operação	Linguagens de Programação	Tecnologia Terminal	Tipo de Usuários	Imagem Comercial	Paradigma de Interface de Usuário
pré-histórica-1945	Mecânica e eletromecânica	Uso somente para cálculos	Movimento de cabos e chaves	Leitura de luzes que piscam e cartões perfurados	Os próprios inventores	Nenhuma (computadores não saíram dos laboratórios)	Nenhum
1945-1955 pioneira	Válvulas, máquinas enormes e com alta ocorrência de falha	Um usuário a cada tempo usa a máquina (por um tempo bastante limitado)	Linguagem de máquina 00110011101	TTY. Usados apenas nos centros de computação	Especialistas e pioneiros	Computador como uma máquina para cálculos	Programação , batch
1955-1965 histórica	Transistores, mais confiáveis. Computadores começam a ser usados fora de laboratórios	Batch (computador central não acessado diretamente)	Linguagem Assembler ADD A B	Terminais de linha glass TTY	Tecnocratas, profissionais da computação	Computador como um processador de informação	Linguagens de comando

1965-1980 tradicional	Circuito integrado. Relação custo-benefício justifica a compra de computadores para muitas necessidades	Time-sharing	Linguagens de alto-nível (Fortran, Pascal, C)	Terminais full screen, caracteres alfanuméricos. Acesso remoto bastante comum	Grupos especializados sem conhecimento computacional (caixas automáticos, p.ex)	Mecanização das atividades repetitivas e não criativas	Menus hierárquicos e preenchimento de formulários
1980-1995 moderna	VLSI. Pessoas podem comprar seu computador	Computador pessoal para um único usuário	Linguagens orientadas a problemas/objetos (planilhas de cálculo)	Displays gráficos. Estações de trabalho, portáteis	Profissionais de todo tipo e curiosos	Computador como uma ferramenta	WIMP (Window, Icons, Menus e Point devices)
1995- futura	Integração de alta escala. Pessoas podem comprar diversos computadores	Usuários conectados em rede e sistemas embutidos	Não imperativas, provavelmente e gráficas	Dynabook, E/S multimídia, portabilidade, simples, medem celular	Todas as pessoas	Computador como um aparelho eletrônico	Interfaces não baseada em comando

Por esta tabela, pode-se constatar que o perfil de usuário dos computadores (e consequentemente de outros dispositivos tecnológicos) se modificou ao longo dos anos. No princípio, apenas os próprios inventores o utilizavam e, a medida que a tecnologia evoluiu, mais pessoas passaram a utilizar, chegando aos dias atuais, onde quase todas as pessoas usufruem de alguma maneira dos dispositivos computacionais. Para que esse acesso aos computadores se tornasse global, os dispositivos precisaram ser projetados de maneira eficiente, visando as necessidades e capacidades das pessoas comuns. Dessa forma, as interfaces humano-computador têm tido papel fundamental na ampla aceitação dos computadores.

Empresas produtoras de software têm despertado para idéia de que a melhora no aspecto físico da interface do usuário proporciona maiores chances de sucesso de mercado. Para explorar essa nova dimensão do produto surgiu um termo amplamente usado - interface amigável ou sistema amigável (user-friendly). Na prática, o significado do amigável está associado somente a uma interface, ou melhor, aos elementos

na tela serem esteticamente mais agradáveis ou bonitos. Muito embora tenha implicado num avanço com relação às antigas interfaces, muitas empresas usaram o termo simplesmente como um atrativo de mercado. A maioria dos sistemas continua não atendendo às necessidades de seus usuários que tem que lidar com interfaces que mais parecem inimigas. E um outro aspecto, é o de quão pouco adequado é esse termo: primeiro, é desnecessariamente antropomórfico, usuários não precisam de máquinas para serem amigas, eles precisam de máquinas que lhes facilitem na execução de suas tarefas; segundo, significa que as necessidades dos usuários podem ser descritas em apenas uma dimensão, mais ou menos amigável - diferentes usuários têm diferentes necessidades e o que é amigável para um pode ser muito tedioso para outro (ROCHA E BARANAUSKAS, 2003).

Com o passar dos anos, outros aspectos que envolvem a interação humano-computador começaram a ser discutidos. As características das pessoas ao interagir com sistemas computacionais, como os processos psicológicos envolvidos, passaram a ser observadas. O termo Interação Humano-Computador (IHC) surge em meados dos anos 1980 na tentativa de descrever esse novo campo de estudo, que procura abranger todos os aspectos relacionados com a interação entre usuários e computadores (ROCHA E BARANAUSKAS, 2003).

Sendo assim, pode-se ter como definição:

IHC é a disciplina preocupada com o design, avaliação e implementação de sistemas computacionais interativos para uso humano e com o estudo dos principais fenômenos ao redor deles (ROCHA E BARANAUSKAS, 2003).

A partir desse momento, começaram a surgir diversas outras áreas relacionadas, chegando as atuais Interfaces Humano-Computador Avançadas. A seguir, apresenta-se algumas das principais IHCs avançadas.

2.1.1.1. Realidade aumentada

A realidade aumentada se constitui como área de pesquisa, surgida a partir de outras áreas que tiveram início em meados dos anos 60, como a realidade virtual e a mista, cujos conceitos são muito semelhantes e se tornaram as principais ferramentas de visualização de sistemas (KIRNER E TORI, 2004).

A Figura 2 representa alguns conceitos definidos por Milgram (1994) com relação ao tema.



Figura 2: Diagrama de realidade/virtualidade contínua (Milgram, 1994).

Segundo Kirner e Tori (2004), a Realidade Virtual (*Virtual Reality*) é uma interface avançada para aplicações computacionais. Nesta, é permitido ao usuário navegar e interagir em tempo real (através de dispositivos multissensoriais), a partir de um ambiente tridimensional computacional.

Já a Realidade Mista (*Mixed Reality*), uma subárea da Realidade Virtual, é caracterizada pela sobreposição de elementos virtuais, gerados por computador, em um ambiente físico e em tempo real. A realidade mista pode ser dividida ainda em duas áreas: realidade aumentada (RA) e virtualidade aumentada (VA) (KIRNER e TORI, 2004).

A virtualidade aumentada apresenta predominantemente o mundo virtual, onde elementos reais são inseridos e a interface permite ao usuário interagir com o ambiente virtual (KIRNER e TORI, 2004).

A realidade aumentada (RA), por sua vez, apresenta predominantemente o mundo real, onde os objetos virtuais inseridos são manipulados (KIRNER e TORI, 2004). Por exemplo, uma determinada cena que ocorre pode ser filmada e apresentada em uma tela (mundo real), enquanto que um objeto pré-definido (um marcador), ao ser reconhecido, é substituído por um elemento virtual.

Diversas são as aplicações que utilizam Realidade Aumentada para potencializar/ampliar a percepção do usuário e sua interação com o mundo real, destacando-se as listadas a seguir:

- **Medicina:** a realidade aumentada pode ser utilizada na visualização e no auxílio de cirurgias (HANSEN et al., 2010; VOLONTÉ et al., 2011). Dados 3D de um paciente podem ser coletados em tempo real, através de sensores não-invasivos como a ressonância magnética, tomografia computadorizada ou ultra-sonografia, após processados e combinados em tempo real, com uma visualização real do paciente.
- **Manufatura:** tutoriais e manuais técnicos podem ser apresentados como objetos 3D sobrepostos a equipamentos reais, mostrando passo-a-passo as tarefas que precisam ser feitas e como fazê-las. Alguns trabalhos que utilizam realidade aumentada para manutenção de máquinas são apresentados por Nee et al. (2012).
- **Anotação e Visualização:** RA pode ser usada para visualizar ou criar anotações em objetos em ambientes de forma pública ou privada. Por exemplo, um tablet poderia fornecer informações sobre o conteúdo de prateleiras da biblioteca para usuários que caminham ao seu redor (CHEN et al., 2011).
- **Tele-Robótica:** a operação remota de um robô envolve diversas dificuldades, como, por exemplo, quanto à comunicação quando este está longe. Nestes casos, ao invés de controlar o robô diretamente, pode ser possível o controle de uma versão virtual do robô, para depois então o robô real executar o plano especificado, como no trabalho apresentado por Chong et al. (2009).

- **Entretenimento:** são comuns trabalhos que utilizam cenários virtuais que se fundem com atores reais, em tempo real e em 3D. Os atores ficam na frente de uma grande tela azul ou verde (chroma key), enquanto uma câmera controlada por computador registra a cena. Após, é possível digitalmente compor uma cena onde o ator parece estar presente no fundo virtual 3D, como no trabalho de Haley-Hermiz et al. (2012).
- **Tarefas Colaborativas:** a Realidade Aumentada também pode ser usada em situações que exijam tarefas colaborativas (MORRISON et al. 2011; POPPE et al. 2011).
- **Saúde:** diversos trabalhos atuais utilizam da RA em aplicações médicas, envolvendo a saúde de pacientes. Nicolau et al. (2011), fazem uma revisão dos sistemas de RA existentes para cirurgia oncológica digestiva, destacando seus benefícios, limitações e questões que ainda precisam ser enfrentadas para que esta tecnologia integre as salas de cirurgia.
- **Educação:** pesquisas e desenvolvimento na área de RA amadureceram de tal forma que hoje podem ser aplicadas a uma gama muito grande de domínios, e a educação é uma área em que esta tecnologia também pode ser utilizada (BILLINGHURST E DÜNSER, 2012). A experiência educacional oferecida pela realidade aumentada se difere por uma série de razões: suporte a interação contínua entre ambientes reais e virtuais; uso de metáforas com interfaces tangíveis para a manipulação de objetos; a capacidade de transição suave entre a realidade e a virtualidade.

2.1.1.2. Redes de sensores

Os recentes avanços na eletrônica e nas comunicações sem fio têm possibilitado o desenvolvimento de sensores de baixo custo e baixo consumo, que são pequenos em tamanho e que se comunicam em curtas distâncias. Esses sensores de reduzidas dimensões são capazes de sensorear ambientes, processar dados e de se comunicar (AKYILDIZ et al., 2002). Uma rede de sensores é composta por uma grande quantidade desses dispositivos com capacidade de percepção, onde cada elemento é chamado de nó.

Muitas vezes, a posição dos nós não precisa ser conhecida ou predeterminada. Nestes casos, permite-se que a implantação do nó possa ser feita em qualquer momento e em qualquer lugar. No entanto, os protocolos de rede de sensores e algoritmos devem possuir capacidades de auto-organização (AKYILDIZ et al., 2002).

Uma vez que diversos sensores podem estar espalhados, percebendo o ambiente, surgem novas interfaces humano-computador. Nesse caso, o indivíduo passa a ter uma interação mais suave com a máquina, muitas vezes nem a percebendo.

Diversas propostas de normatização têm surgido a fim de lidar com as informações advindas das redes de sensores. Alguns dos principais protocolos são descritos a seguir.

- **Extended Environments Markup Language (EEML):** É um protocolo desenvolvido pela Haque Design Research Ltd, que tem por objetivo compartilhar dados de ambientes remotos em tempo real. Utiliza XML e é compatível com o formato estabelecido pela indústria da construção civil, Industry Foundation Classes (CLASSES, 2013).
- **Sensor Grid:** Um sensor grid procura implementar redes de sensores em uma infra-estrutura de larga escala (grid computing), integrando sensores heterogêneos, dados e recursos computacionais, com o intuito de realizar, por exemplo, tarefas complexas de vigilância (monitoramento ambiental) (LIM et al., 2005).
- **SensorML:** fornece modelos padrões e codificação XML para descrever sensores e processos de medição, podendo ser usado para descrever uma grande quantidade de sensores (BOTTIS e ROBIN, 2007).
- **Semantic Sensor Network (SSN):** é uma ontologia, codificada na Web Ontology Language (OWL), que permite a representação de sensores, das observações dos sensores e do conhecimento do meio ambiente, e está tendo grande aderência pela comunidade de desenvolvimento de sensores em larga escala (COMPTON et al., 2012).

Algumas das áreas de aplicação dessas redes são saúde (ALEMDAR et al., 2010), fins militares (LEE et al., 2009), casas inteligentes (TABAR et al., 2006) e educação (ROSALES et al., 2009).

2.1.1.3. Computação ubíqua

Computação ubíqua é um novo paradigma computacional que surge, onde muitas pessoas compartilham vários computadores, ou dispositivos computacionais. Nesse contexto, os computadores poderiam agir de forma inteligente em nosso meio, que é composto por diversos sensores e serviços computacionais. Cabe salientar que esta característica da computação ubíqua está ainda bastante incipiente, uma vez que, embora tenhamos diversos dispositivos computacionais espalhados pelos ambientes, a inteligência provida por esses sistemas ainda é pouco percebida.

A computação pervasiva, usada por alguns autores como sinônimo de computação ubíqua, define que os meios de computação estarão distribuídos no ambiente de trabalho dos usuários de forma inteligente, altamente integrada, podendo ser perceptíveis ou imperceptíveis ao mesmo (MIAO e YUAN, 2005; REDDY, 2006; DHINGRA e ARORA, 2008; SANCHO et al., 2010).

Uma das características da ubiquidade, segundo Weiser e Brown (1996), é a tecnologia calma, que permite que os usuários e os dispositivos tecnológicos interajam de forma tranquila e fácil, muitas vezes sem nem mesmo a percepção do próprio usuário.

De acordo com Fonseca (2007), a computação ubíqua tem por objetivo

mover os computadores do ponto de convergência da atenção dos seres humanos para um mundo invisível, ou ubíquo. Eles são usados subconscientemente, para aumentar a eficiência das ferramentas e meio de comunicação existentes.

Com o surgimento deste novo paradigma, novas áreas de estudo começam a aparecer. Com relação à inteligência provida por esses dispositivos espalhados pelos

diversos locais, tem-se atualmente a área de ambientes inteligentes, ou ambientes cientes de contexto, do inglês *context-aware environments* (SCHILIT et al., 1994).

Nos últimos anos, muitos trabalhos têm buscado explorar a computação ubíqua de diferentes maneiras. O trabalho de Friedewald e Raabe (2011) apresenta um estado da arte sobre a computação ubíqua e a Internet das coisas. Os autores destacam os campos de aplicação, os desafios técnicos, jurídicos e sociais a serem resolvidos com a implantação da nova tecnologia.

2.1.1.4. Internet das Coisas

Com o intuito de integrar os diferentes objetos pertencentes aos novos cenários ubíquos, onde a tecnologia está espalhada por todos lugares, surge a área denominada Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT) (ZOUGANELI e SVINNSET, 2009; HUANG e LI, 2010). Nesses estudos, “coisas” são objetos reais embarcados com algum tipo de computação e que possam ser acessados através de um endereço único (ATZORI e MORABITO, 2010). Algumas propostas que surgem para Internet das Coisas são: EPCglobal (HUANG e LI, 2010), IPSO (DUNKELS e VASSEUR, 2008) e UID architecture (UBIQUITOUS, 2011).

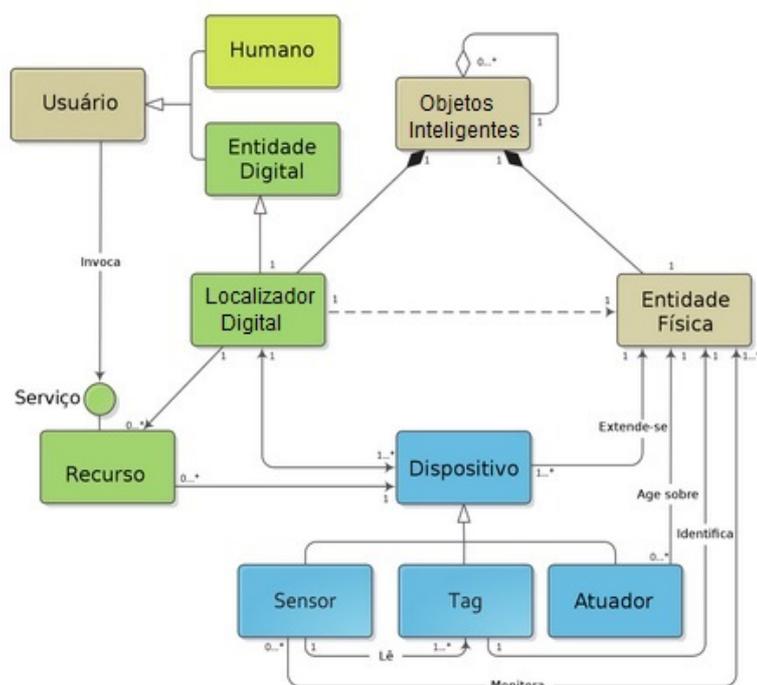


Figura 3: Modelo conceitual para IoT, traduzido de Serbanati et al. (2011)

A Figura 3 apresenta um modelo conceitual usado para descrever sistemas relacionados à Internet das Coisas (SERBANATI et al., 2011). Nesse modelo, *Usuários* são pessoas ou software que possuem algum objetivo e interagem com os elementos (físicos e virtuais) presentes. Já as *Entidades Digitais* são software (agentes autônomos ou serviços disponibilizados) que podem interagir com *Usuários* (humanos ou outras entidades digitais) para cumprir um objetivo. Por outro lado, *Entidades Físicas* representam objetos de um ambiente físico, como seres humanos, mesas, cadeiras, animais, etc.

Ainda no modelo tem-se a entidade *Localizador Digital*, que representa a relação de endereço dos elementos existentes, pelos quais eles podem ser acessados. Já a entidade *Objetos Inteligentes* pode ser entendida como uma extensão de uma *Entidade Física*, que possui um *Localizador Digital* associado. Ainda nesse contexto, *Dispositivos* são componentes responsáveis por monitorar ou atuar no ambiente, gerando informações às *Entidades Físicas*. Por fim, a entidade *Recurso* é responsável pela maneira pela qual *Usuários* interagem com *entidades físicas* (através dos *Objetos Inteligentes*) e *digitais*, possibilitando a recuperação e modificação de propriedades físicas e digitais.

2.1.2. Um mapa conceitual sobre Sistemas Físico-Cibernéticos

Dentre as novas Interfaces Humano-Computador que têm surgido nos últimos tempos, destacam-se os Sistemas Físico-Cibernéticos (Cyber-Physical Systems ou CPS), que são integrações de sistemas computacionais com processos físicos (LEE, 2008). Para Lee, em CPS:

“computadores embarcados e redes monitoram e controlam os processos físicos, periodicamente, onde estes afetam a computação e vice-versa. No mundo físico, a passagem do tempo é inexorável e a simultaneidade é intrínseca. Nenhuma dessas propriedades está presente hoje na computação ou em abstrações de rede.(LEE, 2008)”

Um CPS agrega recursos de computação, comunicação e armazenamento para monitorar e controlar entidades do mundo físico, de forma confiável, segura, eficiente e em tempo real (SHA, 2008).

No mundo físico, uma propriedade central de um sistema é a sua dinâmica, a evolução do seu estado ao longo do tempo. Já no mundo virtual, a dinâmica é reduzida para sequências de mudanças de estado, onde a semântica temporal muitas vezes é perdida. Busca-se com CPS permitir esta integração através do estudo da dinâmica conjunta de processos físicos, softwares e redes.

A Figura 4 apresenta os elementos básicos que compõe um CPS.

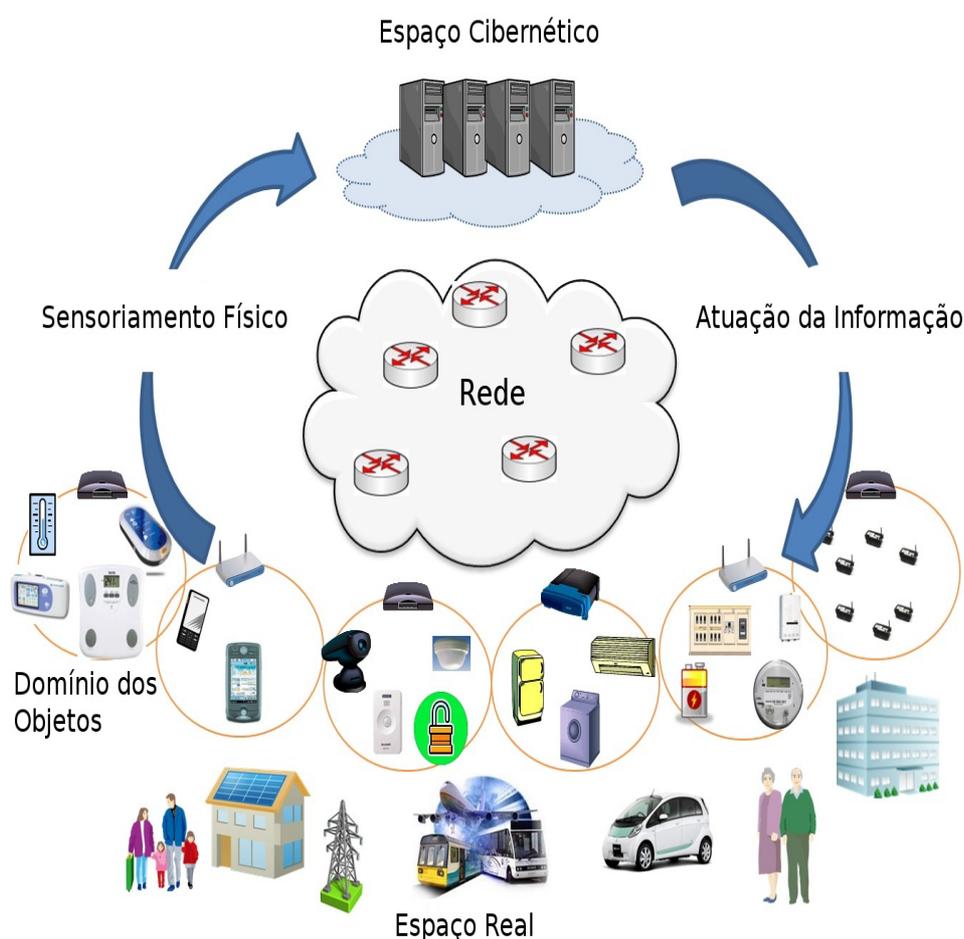


Figura 4: Elementos básicos de um CPS (Amaral, 2013).

- **Espaço real:** possui objetos do ambiente físico, como carros, pessoas, casas, etc.

- **Domínio dos objetos:** constitui-se de sensores / atuadores (ou dispositivos dotados de sensores / atuadores) conectados em rede.
- **Espaço cibernético/virtual:** é formado quando o domínio dos objetos disponibiliza o sensoriamento físico e também para prover (disparar) atuação no domínio dos objetos.

A Figura 5 apresenta um mapa conceitual sobre CPS.

Sistemas Físico-Cibernéticos: Um Mapa Conceitual

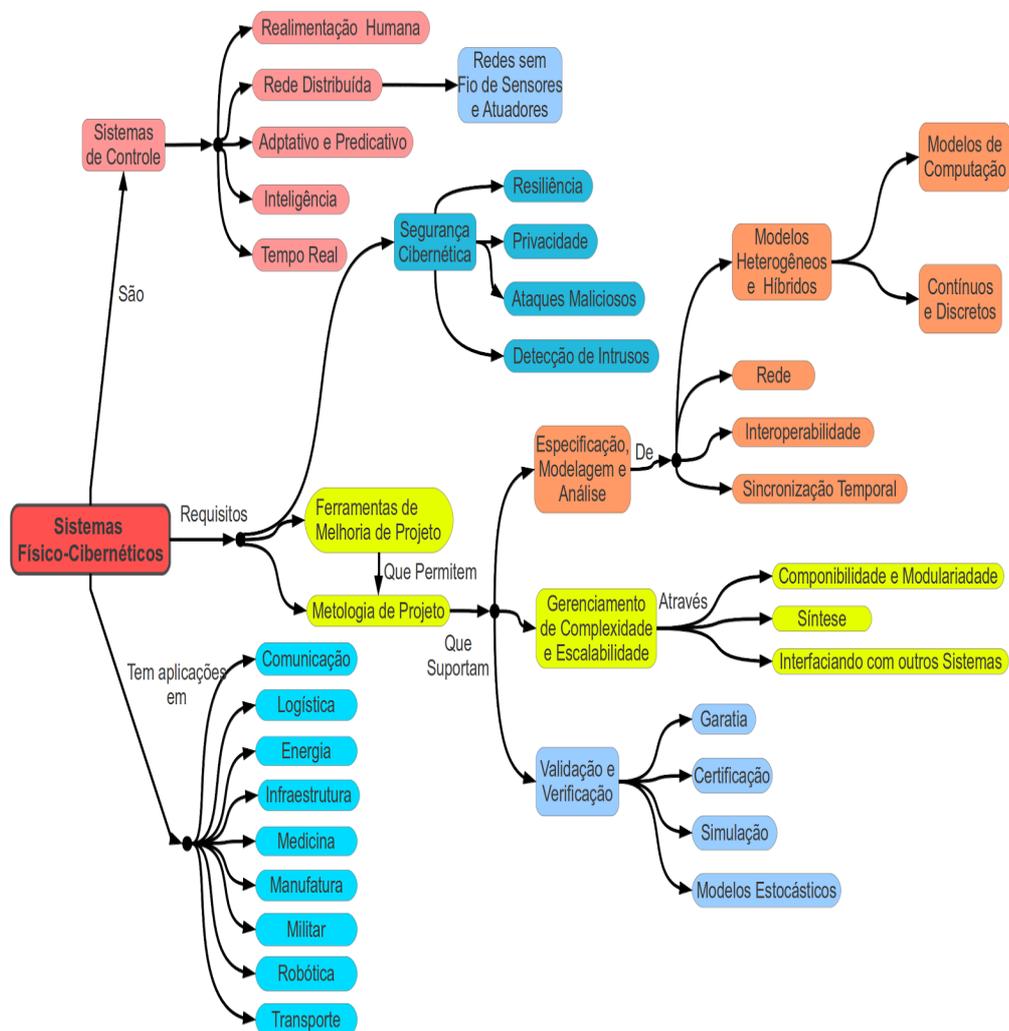


Figura 5: Mapa Conceitual de CPS (Amaral, 2013 apud Lee, 2008)

Este mapa, divide as abordagens sobre CPS em três aspectos, apresentados a seguir.

- **Definições de CPS:** de acordo com o mapa conceitual apresentado, um sistema físico-cibernético deve envolver algumas características, como realimentação humana, ou seja, os usuários agirão nos ambientes e suas ações irão impactar no comportamento do CPS. Ainda, nesses sistemas, os diversos equipamentos existentes são conectados através de redes de sensores e atuadores. Além disso, duas questões importantes, que ainda hoje não se tornaram maduras, são a inteligência que esses sistemas devem possuir e a necessidade do tratamento em tempo real das informações dos mundos real e virtual.
- **Requisitos de CPS:** os requisitos para o desenvolvimento de CPS podem ser categorizados em aspectos relacionados com i) a segurança dos sistemas e ii) metodologias de projetos. No âmbito da segurança, devem ser tratadas questões relativas à garantia de privacidade dos usuários, prevenção contra ataques maliciosos e detecção de intrusos. Com relação às metodologias de projeto, a interoperabilidade, a sincronização temporal e a possibilidade de convívio com modelos híbridos (contínuo e discreto) são exemplos de questões que devem ser abordadas.
- **Aplicações de CPS:** a partir do mapa conceitual da Figura 5, tem-se uma gama de aplicações em que os CPSs podem atuar. Alguns exemplos de áreas de aplicação são sistemas de gerenciamento de distribuição e geração de energia inteligente (RAAB et al., 2011), de infraestrutura (MAIDEN e ROBERTSON, 2005), de medicina (WANG, 2010), de robótica (ZHANG et al., 2008), além de várias outras.

Alguns trabalhos se propõem a elaborar uma revisão bibliográfica da área e perpassam por diversos aspectos do mapa conceitual da Figura 5. Uma das importantes referências em se tratando de revisão de CPS é o trabalho *Cyber-Physical Systems: A New Frontier* (SHA, 2008). Este artigo aborda cinco aspectos referentes aos principais desafios para implantação dos CPSs. O primeiro aspecto está relacionado com as abstrações dos sistemas de tempo real. Os autores afirmam que os sensores distribuídos, atuadores e dispositivos móveis, que possuem tráfego de dados determinísticos e estocásticos, requerem um novo paradigma para a gestão dos recursos em tempo real e que a topologia das conexões dos dispositivos é dinâmico.

Dessa forma, compreender e controlar o impacto das topologias reconfiguráveis sobre o desempenho em tempo real, de forma segura e robusta, terá enorme impacto na implantação dos CPS.

O segundo desafio citado pelos autores refere-se a garantias de robustez e segurança, uma vez que precisam lidar com a incerteza do ambiente, com a segurança contra ataques e com os erros em dispositivos físicos e em comunicação sem fio.

O terceiro aspecto mencionado pelo artigo, diz respeito aos desafios de implementação de sistemas com QoS (Qualidade de Serviço), uma vez que os CPSs são sistemas em tempo real, híbridos, distribuídos e dinâmicos, caracterizando a necessidade de aplicações com diferentes graus de prioridade.

O quarto desafio dos CPS, segundo os autores, está relacionado a engenharia de sistemas. O artigo afirma que é necessário desenvolver a capacidade analítica para mapear o comportamento em estrutura e vice-versa, para que se possa identificar quais os aspectos do comportamento exigido serão realizados por quais partes específicas da estrutura.

Por fim, o quinto aspecto atribuído aos desafios dos CPSs pelos autores é a confiança. Os autores afirmam que os usuários de sistemas físico-cibernéticos terão de colocar um alto nível de confiança na operação dos sistemas. Esta confiança, de acordo com o artigo, é uma combinação de muitas características, como confiabilidade, segurança, privacidade e usabilidade.

Além desse artigo, outros trabalhos procuram discutir sobre as potencialidades e os desafios dos CPSs (WAN, 2011; SHI, 2011; MA, 2011).

2.2. Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs)

Após a análise das IHCs avançadas nas seções anteriores, em especial dos Sistemas Físico-Cibernéticos, nesta Seção são apresentados conceitos, características e um modelo conceitual sobre Ambientes Virtuais de Aprendizagem.

O avanço tecnológico dos últimos cinquenta anos é evidente. Nesse período, o uso dos computadores e periféricos cresceu a uma taxa quase inimaginável. A lei de

Moore diz que a complexidade dos componentes tecnológicos, como processadores, dobra a cada dois anos (SCHALLER, 1997). Em um primeiro momento, o surgimento dos sistemas operacionais possibilitaram a utilização dos computadores para diversos fins. Posteriormente, os sistemas operacionais com interface gráfica foram responsáveis por aproximar o usuário doméstico dos computadores. Alguns anos depois, a internet possibilitou uma nova comunicação da humanidade. Atualmente percebemos que

“há uma nova ordem global moldada pelas telecomunicações e que vem mudando fundamentalmente o modo como as pessoas se relacionam. [...] Conectados por computadores, correios eletrônicos, telefones celulares, mensagens via fax, as pessoas comunicam-se umas com as outras independentes dos locais onde se encontram.” (MORAES, 1998)

Tal comunicação tem se acentuado ainda mais devido aos avanços na fabricação de hardware. Hoje, os computadores são extremamente pequenos, quando comparados com os primeiros surgidos em 1946 como, por exemplo o ENIAC, que ocupava mais de 170 m² (GOLDSTINE, 1946). Esses componentes, além de mais práticos e eficientes, ficaram mais acessíveis financeiramente. Pesquisas atuais apontam que o número de pessoas que possuem celular/smartphone já ultrapassou a marca de um bilhão no mundo todo (WEI e VEN-HWEI, 2006).

Nós vivemos em um mundo cada vez mais integrado, e o domínio das ferramentas que propiciam esta integração se torna fundamental, seja para fins profissionais, sociais, de entretenimento ou educacionais.

Assim como essa mudança tem impactado em toda sociedade, também provoca mudanças na forma como as pessoas buscam o conhecimento. A utilização de elementos tecnológicos no ensino tem sido discutida há muitos anos. Moran diz que:

“muitas formas de ensinar hoje não se justificam mais. [...] Percebe-se que a educação é o caminho fundamental para transformar a sociedade. [...] Ensinar e aprender são os desafios maiores que enfrentamos em todas as épocas e particularmente agora em que estamos pressionados pela transição do modelo de gestão industrial para o da informação e do conhecimento.” (MORAN, 2008)

As ferramentas tecnológicas atuais propiciam, por exemplo, novos meios de interação entre professor e aluno, e entre os alunos. As TICs têm possibilitado alterações nos espaços educacionais já existentes, com a introdução de tecnologia, além da criação de novos espaços, como no caso do ensino a distância.

A educação não presencial começou a surgir no Brasil no início de 1970 (ALONSO, 1996), mas nos últimos anos se tornou mais evidente. Neves afirma que a educação à distância (EaD)

não é um modismo: é parte de um amplo e contínuo processo de mudança, que inclui não só a democratização do acesso a níveis crescentes de escolaridade e atualização permanente como também a adoção de novos paradigmas educacionais em cuja base estão conceitos de totalidade, de aprendizagem como fenômeno pessoal e social, de formação de sujeitos autônomos, capazes de buscar, criar e aprender ao longo de toda a vida e de intervir no mundo em que vivem (NEVES, 2005).

O autor reflete sobre a necessidade de novos paradigmas educacionais para lidar com a EaD e, com relação a isso, muitos autores concordam: a introdução de

tecnologia nos espaços educacionais deve vir amparada por modelos educacionais capazes de usufruir de suas potencialidades.

Atualmente, muitos elementos tecnológicos, como notebooks, netbooks, smartphones, AVAs e diversas interfaces avançadas, se associados a paradigmas educacionais adequados, permitem espaços educacionais ricos, com grande potencial de aprendizagem.

Dentre as ferramentas tecnológicas de apoio ao ensino, os ambientes virtuais de aprendizagem têm se destacado e obtido sucesso, tanto entre educadores, quanto entre os alunos. Diversas propostas de AVAs têm surgido nos últimos anos (DOUGIAMAS e TAYLOR, 2003; FARMER e DOLPHIN, 2005; GOLDBERG e SALARI, 1997), bem como estudos que buscam avaliar seu potencial educacional (BRI et al., 2009; SNEHA e NAGARAJA, 2014; FRANCISCATO et al., 2008; HAGUENAUER et al., 2010).

A seguir, alguns conceitos sobre ambientes virtuais de aprendizagem, bem como suas características, serão apresentados. Posteriormente, um modelo conceitual para AVAs é discutido.

2.2.1. Conceitos e características

Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), do inglês *Virtual Learning Environment* (VLE), é um termo cunhado por Kumar (1998) que define um ambiente integrado, onde os alunos podem se inscrever em aulas oferecidas através da internet e acessar cursos completos, fazer testes e interagir com os professores e colegas, através de diversas ferramentas.

Segundo Almeida (2003), pode-se definir ambientes virtuais de aprendizagem como:

“sistemas computacionais disponíveis na internet, destinados ao suporte de atividades mediadas pelas tecnologias de informação e comunicação. Permitem integrar múltiplas mídias, linguagens e recursos, apresentar informações de maneira

organizada, desenvolver interações entre pessoas e objetos de conhecimento, elaborar e socializar produções tendo em vista atingir determinados objetivos.” (ALMEIDA, 2003)

Uma definição mais recente de Ambiente Virtual de Aprendizagem pode ser vista no trabalho de Sneha e Nagaraja:

“um sistema para transferência de materiais de aprendizagem para os alunos por meio da web. Estes sistemas constituem acompanhamento do estudante, ferramentas de comunicação, avaliação e colaboração. Eles podem ser acessados tanto dentro quanto fora do campus, o que significa que eles podem incentivar os estudantes a aprenderem fora da sala de aula, vinte e quatro horas por dia, sete dias por semana. Isso facilita as instituições para ensinar não somente os estudantes tradicionais, de tempo integral, mas também aqueles que não podem visitar regularmente o campus devido a restrições geográficas ou de tempo, ...” (SNEHA e NAGARAJA, 2014 apud ROS et al., 2012 – tradução livre).

É importante salientar, novamente, que os conceitos relacionados a AVAs podem ser bastante dinâmicos. É comum um AVA ser visto como um ambiente virtual composto por diversas ferramentas administrativas e de ensino, que é utilizado através de um navegador, pela internet, e que auxilia a aprendizagem. Essa visão está relacionada com os diversos AVAs existentes atualmente (como, por exemplo, o Moodle), que são utilizados nas universidades, dando suporte a educação a distância.

Kirriemuir (2006) apresenta as principais funções que um AVA deve possuir:

- Acesso controlado aos currículos;

- Monitoramento das atividades e do desempenho dos alunos;
- Suporte à aprendizagem on-line, incluindo o acesso a recursos de aprendizagem, avaliação e orientação;
- Comunicação entre aluno, tutor e outros especialistas de apoio à aprendizagem, fornecendo apoio direto e feedback aos alunos;
- Links para outros sistemas administrativos interno/externo.

Dillenbourg (2002) se propõe a identificar AVAs por uma série de características apresentadas a seguir:

1. um AVA é um espaço para conceber informação;
2. um AVA é um espaço social: interações educacionais ocorrem no ambiente, transformando espaços em lugares;
3. o espaço virtual é explicitamente representado: a representação deste espaço de informação/social pode variar de texto a mundos imersivos 3D;
4. os alunos não são apenas ativos, mas também atores: eles co-constroem o espaço virtual;
5. AVAs não se restringem à educação a distância: eles também enriquecem atividades de sala de aula;
6. AVAs integram tecnologias heterogêneas e múltiplas propostas pedagógicas;
7. a maioria dos ambientes virtuais acontece simultaneamente aos ambientes físicos.

O autor compara os aprendizados em um ambiente virtual e em uma sala de aula tradicional.

“A questão é realmente irrelevante para aqueles que, como a grande maioria, veem as tecnologias como ferramentas para os professores e não como substituto. Vamos, no entanto, ter um olhar para os resultados da investigação sobre estas questões. Em suma, os estudos mostram uma ligeira vantagem para computadores (KULIK et al., 1985), especialmente quando se considera o tempo de aprendizagem. Estes resultados têm sido

questionados, mas mesmo se tiverem corretos, como pode-se generalizar a partir desses estudos? Podemos concluir que qualquer material didático, mesmo mal projetado, superaria os professores, mesmo o melhor deles? Claro que não. Ao comparar um material didático e um professor, não devemos medir a eficácia intrínseca dos computadores contra os seres humanos, mas sim a qualidade dos dois métodos de aprendizagem como implementado por dois meios diferentes.”
(DILLENBOURG, 2002)

Outra característica que os ambientes virtuais de aprendizagem apresentam é que propiciam diferentes tipos de interação social, seja por texto, áudio, vídeo ou ambientes 3D, seja por ferramentas síncronas ou assíncronas. Dillenbourg (2002) argumenta que o desafio pedagógico não é imitar as relações reais, do dia-a-dia, mas sim explorar as novas funcionalidades de interação, que podem se mostrar efetivas em ambientes virtuais de aprendizagem.

Os ambientes virtuais de aprendizagem são utilizados, atualmente, por muitas instituições. Questões pedagógicas estão sendo estudadas nos últimos anos, buscando um melhor aproveitamento das capacidades dos AVAs.

Embora diversas propostas de AVAs tenham surgido nos últimos anos, muitos ainda são centrados no professor e fornecem aos alunos o conteúdo pré-definido do curso, de acordo com o plano de aprendizagem, que especifica a sequência desses conteúdos (DONGMING XU, 2005). Dessa forma, os alunos são passivos durante as atividades de aprendizagem e, muitas vezes, têm poucas oportunidades para interagir com os ambientes de forma adequada.

Nessa busca por novas abordagens educacionais, surge o modelo construtivista de aprendizagem de Piaget, que afirma que o conhecimento/aprendizado do indivíduo passa por diversas etapas de desenvolvimento ao longo da vida. Nesta formulação, o sujeito assimila os dados que obtém do meio, e, através da estrutura mental existente, adapta as informações. Esse processo de modificação do próprio sujeito é chamado de

acomodação (PIAGET e DELVAL, 1970). A concepção construtivista sobre a aprendizagem é fundamentada nas relações desenvolvidas entre sujeito e objetos, chamadas de interação.

2.2.2. Modelo Conceitual para AVAs

Um modelo conceitual é uma especificação explícita de uma concepção, a qual define a terminologia de um domínio em termos dos conceitos que constituem o domínio e as relações entre eles (GRUBER, 1993). A seguir, apresenta-se o modelo conceitual de Dongming Xu (2005) para desenvolvimento de AVAs construtivistas.

A partir das características já enunciadas, Dillenbourg aponta a necessidade de um AVA ser um espaço social, de criação e que propicie aos alunos que eles sejam ativos.

No modelo de aprendizagem construtivista, o conhecimento é construído a partir das experiências vivenciadas pelo aprendiz e não pode ser objetivamente definido (VON GLASERSFELD, 1989). Para Dongming Xu:

“Ao invés de se concentrar na análise lógica da estrutura de domínio e as relações de dependência entre os conteúdos, a preocupação do modelo construtivista de aprendizagem centra-se nos processos de aprendizagem através dos quais as perspectivas e interpretações que são relevantes para a aprendizagem, podem ser construídas. Por conseguinte, o domínio é modelado em termos da situação de aprendizagem, ao invés de o seu conhecimento estruturado (DONGMING XU, 2005).”

A Figura 6 apresenta o modelo conceitual proposto por Dongming Xu (2005) para o desenvolvimento de AVAs construtivistas.

A seguir apresenta-se uma visão geral do modelo, que é constituído de uma série de módulos. O módulo *Currículo* armazena todas as informações curriculares do assunto a ser trabalhado, tais como conteúdos, exercícios, exemplos e as relações entre eles. O módulo *Currículo* é alimentado pelo professor, que é responsável pela elaboração deste, através do fornecimento de conteúdos, exercícios, exemplos e outros elementos que possam constituir o currículo.

Já o módulo *Situação* é responsável por representar situações propícias para a aprendizagem, em um determinado ambiente. Uma situação de aprendizagem pode ser formada pela interação entre o aprendiz e os elementos do currículo, orientada pelos *objetivos de aprendizagem* e pelas adaptações do modelo de *Oportunismo*. O modelo de *Oportunismo* permite que as situações de aprendizagem dos AVAs forneçam as possibilidades de interação propícias para aquele ambiente específico.

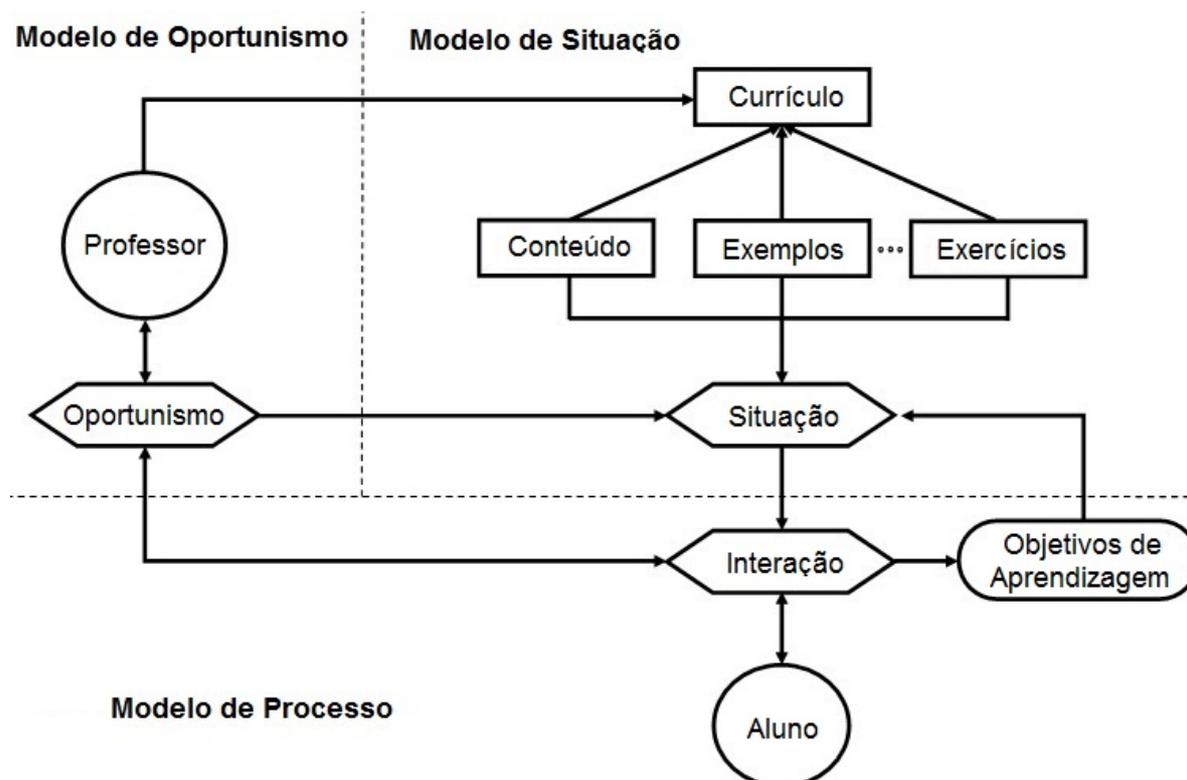


Figura 6: Modelo Conceitual para um AVA, tradução livre de (Dongming Xu, 2005)

Por fim, os *objetivos de aprendizagem* surgem da interação do próprio aluno no ambiente, por se tratar de um modelo construtivista. O modelo *Interação* busca perceber e possibilitar as intenções e atividades do aprendiz de diversas maneiras.

Para um melhor entendimento do modelo conceitual são descritas a seguir, de forma mais detalhada, cada um dos módulos que fazem parte deste.

Módulo Aluno

São atores que, para aprender, interagem com o ambiente a partir de uma combinação de fatores que dependem das oportunidades de interação disponíveis e no seu conhecimento prévio (DONGMING XU, 2005).

Módulo Professor

Instrutores/professores atuam como mediadores criativos do processo de aprendizagem. São responsáveis pela elaboração dos currículos nos AVAs e por mediar as adaptações (oportunistas) das situações de aprendizagem disponibilizadas para os alunos.

Módulo Situações

O modelo conceitual de Dongming Xu (2005) utiliza a Teoria da Situação (BARWISE e PERRY, 1983; DEVLIN, 1991) para formalizar o contexto das situações de aprendizagem dos AVAs.

A Teoria da Situação é uma ontologia matemática da teoria da informação desenvolvida para suportar a semântica de uma situação (LEE, 2010). Ela surge como uma alternativa para as semânticas mais conhecidas, que foram introduzidas na década de 1950. A ideia básica da Teoria da Situação é que todos os tipos de informação sobre o mundo são organizados em termos de situações. Uma situação é uma semântica relacional de mundo parcial, isto é, ao invés de se adotar uma abordagem que trata todas informações possíveis do mundo, o intuito da teoria se limita a formalizar parcialmente o contexto em questão.

A Teoria da Situação foi proposta por Jon Barwise e John Perry a partir de 1981 e se desenvolveu rapidamente durante uma década, a partir da colaboração de um grupo diversificado de pesquisadores, que em sua grande maioria pertenciam ao grupo de pesquisa Teoria da Situação e da Semântica da Situação (Situation Theory and Situation Semantics - STASS) do Centro de Estudo de Linguagem e Informação da

Universidade de Stanford (LEE, 2010). Revisões sobre a Teoria da Situação podem ser encontradas no trabalho de Seligman e Moss (1997).

Segundo Lee (2010), a Teoria da Situação foi aplicada em muitos domínios de problemas, especialmente em linguísticas filosóficas, como no caso do paradoxo do mentiroso (BARWISE e ETCHEMENDY, 1987) e vários outros enigmas associados a atitudes proposicionais, indexicais, pronominais, condicionais, referenciais, de metáfora e de anáfora (BARWISE e PERRY, 1983; DEVLIN, 1991).

Ainda segundo Lee (2010), outros tópicos estudados para aplicação da Teoria da Situação incluem arquitetura da informação e o fluxo de informação (ISRAEL e PERRY, 1990), o raciocínio esquemático (SHIN, 1991; STENNING e OBERLANDER, 1991), a lógica de relevância (RESTALL, 1996), o processamento de linguagem natural (HWANG e SCHUBERT, 1993), os eventos e os processos lógicos (GEORGEFF et al., 1993), a ação cooperativa e o projeto de sistemas de informação (DEVLIN e ROSENBERG 1993), os sistemas de raciocínio legais (TOJO e WONG, 1996), a linguística computacional (RIEGER, 1995) e a desambiguação linguística (PRASHANT, 1990).

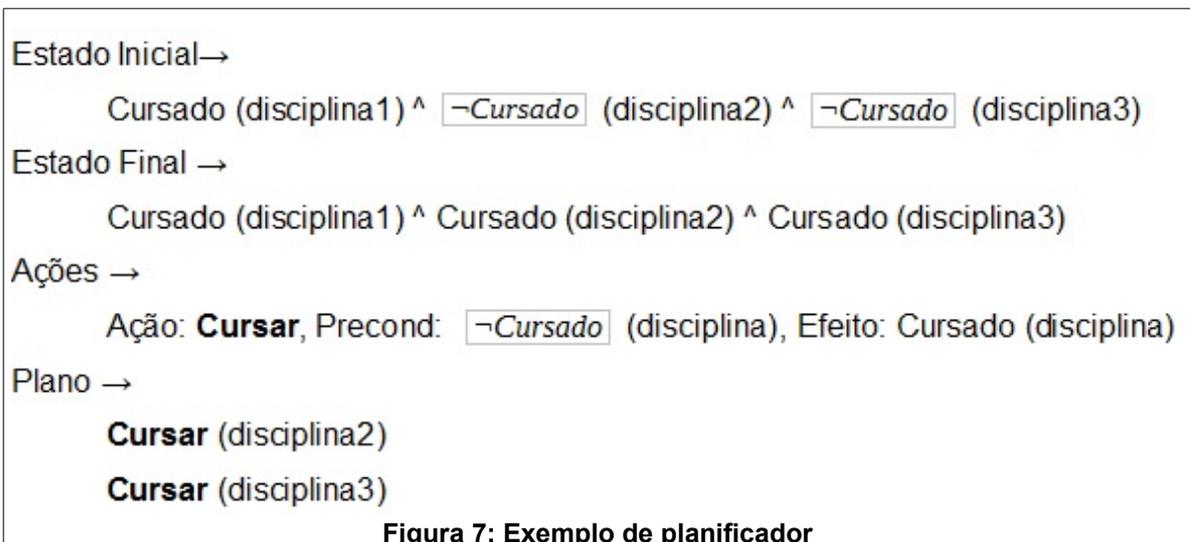
Mais precisamente, Dongming Xu (2005) utiliza a Teoria da Situação a fim de capturar e formalizar as informações envolvidas em um ambiente virtual de aprendizagem. No trabalho deste autor, um ambiente é representado pelos tipos de situações que podem existir e pelas situações que de fato existem em determinado ambiente.

Os detalhes relacionados à formalização fornecida pela Teoria da Situação fogem do escopo desta tese, já que para formalizar os ambientes aqui propostos, será utilizada a abordagem STRIPS. É importante salientar que as formalizações da teoria da situação e da abordagem por STRIPS são muito semelhantes e possuem a mesma fundamentação teórica (lógica de predicados).

STRIPS (Stanford Research Institute Problem Solver) é uma linguagem que representa problemas clássicos de planejamento que, assim como a teoria da situação, utiliza a lógica de predicados para representar as semânticas envolvidas em um mundo (RUSSELL et al., 1995). Na abordagem STRIPS, a formalização é feita através de (RUSSELL et al., 1995):

- **Estados**: representam as informações (mesmo que incompletas) do mundo em um determinado momento;
- **Objetivos**: são metas atribuídas aos elementos descritos que levarão as informações do mundo a um estado final, a partir de um estado inicial.
- **Ações**: são operações que modificam o mundo de um estado para outro, utilizando para isso três componentes.
 - **Descritor da ação**: nome de uma possível ação que ocorre no ambiente;
 - **Pré-condições**: descrevem as condições que devem ser verdadeiras antes da ação ser executada;
 - **Efeitos**: descrevem como as situações se modificam quando uma ação é executada;
- **Plano**: é um conjunto de passos para resolver um problema, onde cada um dos passos é uma ação.

Um problema de planejamento pode ser definido como um plano parcial que contém apenas os passos inicial e final. O exemplo abaixo mostra um planejador para o problema de um planejamento das disciplinas a serem cursadas por um aluno.



No exemplo, existe um predicado que define se uma disciplina já foi cursada pelo aluno ou não, e uma ação, que planeja se uma disciplina deva ser cursada. O estado inicial do problema é descrito, representando que o aluno cursou a disciplina 1 e não cursou as disciplinas 2 e 3. O estado final também é descrito, definindo como objetivo que o aluno curse as três disciplinas. Por fim, a solução para o exemplo, é

demonstrada no plano, que é constituído de duas ações **Cursar**, planejadas para as disciplinas 2 e 3.

Módulo Oportunismo

De acordo com a Teoria da Situação, mencionada anteriormente, quando eventos de aprendizagem ocorrem nas situações, padrões de interação acontecem. Depois de uma sequência de eventos de aprendizagem, vários padrões de interação surgem. Estes padrões de interação que surgem nas situações de aprendizagem, até um certo momento, caracterizam o estado do processo de aprendizagem naquele momento (DONGMING XU, 2005).

Portanto, o módulo *Oportunismo* indica as possibilidades de situações para o desenvolvimento de atividades de aprendizagem relevantes, para um aluno cujo processo de aprendizagem está em um determinado estado (AKHRAS e SELF, 2000).

Módulo Interação

A principal função do módulo de *Interação* é perceber e possibilitar as atividades do aprendiz pelo ambiente. É através da interação com o meio que o aluno se relaciona com as situações de aprendizagem que surgem em um AVA. Ainda, as interações do aluno interferem tanto em seus objetivos de aprendizagem, que vão evoluindo à medida que este atua no ambiente, quanto no módulo *Oportunismo*, através do qual o professor pode adaptar as novas situações baseando-se no comportamento do aluno nas situações passadas.

Em AVAs construtivistas, o processo de aprendizagem em um determinado instante é modelado pelas interações desenvolvidas até aquele momento. O papel da estratégia pedagógica não é determinar os eventos com instruções pré-definidas, mas proporcionar espaços de interação para os alunos (DONGMING XU, 2005).

Módulo Objetivos de Aprendizagem

Com base em princípios pedagógicos, os *objetivos da aprendizagem* são definidos pelos aprendizes no modelo construtivista. Dweck (1986) identificou duas

classes principais que podem orientar os objetivos de aprendizagem do aluno nesses ambientes:

- Orientação quanto aos objetivos da aprendizagem: implica em desenvolver competências através da expansão de suas habilidades pelo domínio de situações desafiadoras;
- Orientação quanto o desempenho dos objetivos: envolve demonstrar e validar suas competências, buscando sentenças favoráveis e evitando julgamentos negativos.

Estas orientações estão associadas com diferentes crenças pessoais sobre a capacidade e esforço (VANDEWALLE et al., 2001). A medida que o aluno vai interagindo com o ambiente, novos objetivos de aprendizagem podem ser definidos e, com isso, novas situações de aprendizagem podem surgir.

Módulo Currículo

O modelo curricular é responsável por armazenar as informações do currículo (conteúdos, exercícios, exemplos, etc). O currículo é desenvolvido pelo professor e está diretamente envolvido na construção de situações de aprendizagem.

2.3. Trabalhos relacionados

2.3.1. Eixos de análise de uma aprendizagem mediada por tecnologia

Questões importantes para o desenvolvimento de aplicações tecnológicas na educação foram tomadas como eixos centrais para a análise apresentada posteriormente. Cada um dos eixos é descrito a seguir.

É importante ressaltar que os eixos apresentados a seguir foram inspirados por trabalhos propostos na literatura (DYSON e CAMPELLO, 2003; BRITAIN e LIBER, 2004; SNEHA e NAGARAJA, 2014), onde estruturas básicas de avaliação são definidas, para distinguir dentre as diversas maneiras pelas quais Ambientes Virtuais

de Aprendizagem podem ser avaliados. Uma definição quanto aos eixos de análise é de extrema importância ao se propor novos ambientes de aprendizagem, uma vez que podem prover informações fundamentais para se conhecer os diversos aspectos envolvidos no desenvolvimento de um AVA.

Eixo 1: Comunicação e interação provida

Este eixo procura analisar os níveis de comunicação e interação que um AVA pode prover. A construção do conhecimento costuma envolver o ciclo de ações execução – reflexão – depuração (VALENTE, 2002). Este ciclo está presente em diversas teorias educacionais formuladas por autores como Piaget e Vygotsky. Neste ciclo, a interação/comunicação com os objetos de aprendizagem, professores e outros alunos são o ponto de partida, envolvendo ou não ferramentas específicas, tais como chats, fóruns, videoconferências, captura de vídeo, etc. Neste trabalho, os AVAs serão classificados como: *pouco interativos* (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo), ou seja, aqueles que apresentam poucas ferramentas de interação do aluno com os demais elementos do ambiente; de *média interação* (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo), ou seja, aqueles que possuem alguns bons aspectos para a interação do aluno com os demais elementos do ambiente; ou *muito interativos*¹ (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo), ou seja, aqueles que propiciam interação totalmente satisfatória para as interações envolvidas no ambiente. Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não possua ferramentas de interação, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 2: Ferramentas administrativas

A análise relacionada a este eixo pretende verificar os AVAs quanto ao fornecimento de ferramentas administrativas para o suporte à aprendizagem, tais como registro de presença, agenda, níveis de permissão do sistema, entre outras. Neste trabalho, a classificação dos AVAs, quanto a este eixo, se dará de acordo com a quantidade de ferramentas provida: poucas (assinalados com um “x” na tabela

1. Apresentam 3 ou mais recursos.

comparativa do final do capítulo); algumas ferramentas (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); ou muitas ferramentas (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não possua ferramentas administrativas, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 3: Ferramentas de avaliação

Este eixo pretende verificar os AVAs quanto ao fornecimento de ferramentas de avaliação, como exercícios de respostas discursivas, de múltipla escolha, de resposta curta, de palavras-cruzadas, de relacionamentos de colunas, preenchimento de lacunas, etc. A classificação dos AVAs, quanto a este eixo, se dará de acordo com a quantidade de ferramentas de avaliação provida: poucas (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); algumas ferramentas (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); ou muitas ferramentas (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não possua ferramentas de avaliação, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 4: Utilização de elementos tecnológicos

O eixo de análise 4 procura apresentar os elementos tecnológicos envolvidos na utilização do AVA, como a arquitetura computacional necessária, linguagem de programação utilizada, hardware e software empregados, etc. A classificação, quanto a este eixo, se dará de acordo com o grau de modernidade de elementos tecnológicos utilizados: baixo grau de tecnologia, como por exemplo, um sistema web simples (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); tecnologia com algum diferencial, como por exemplo, o uso de realidade aumentada (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); ou tecnologia avançada, como por exemplo, redes de sensores complexas espalhadas pelos ambientes (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo).

Eixo 5: Abordagem pedagógica

Este eixo analisa o AVA sob a ótica da abordagem pedagógica permitida, ou seja, procura medir a importância dada a estas questões, verificando se ele é concebido com foco pedagógico, se fornece diferentes possibilidades ao professor, etc. A classificação se dará de acordo com o quanto o AVA possibilita trabalhar as questões pedagógicas: baixa abordagem (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); alguns aspectos pedagógicos (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); avançada abordagem pedagógica (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não possua abordagens pedagógicas, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 6: Grau de colaboração

Uma característica importante ao se propor a construção do conhecimento é a utilização de uma abordagem educacional que encoraje os alunos a trabalharem em conjunto. Essa aprendizagem colaborativa é baseada num modelo centrado no aluno e procura promover a sua participação tanto nas atividades, quanto na definição dos objetivos do grupo (DIAS, 2001). Este eixo procura classificar os AVAs quanto ao grau de colaboração provido: baixo grau de colaboração (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); alguns aspectos de colaboração providos (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); alto grau de colaboração permitido (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo).

Eixo 7: Ferramentas de autoria

As ferramentas de autoria podem ser definidas como aplicações de software que permitem a criação de conteúdos educativos através de um meio digital. Este eixo pretende analisar os AVAs quanto à presença de ferramentas de autoria: uma ou poucas ferramentas (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); algumas ferramentas que propiciem autoria (assinalados com um “xx” na

tabela comparativa do final do capítulo); diversas oportunidades de criação de conteúdo nos ambientes (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não possua ferramentas que propiciem autoria, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 8: Grau de inteligência

Como grau de inteligência, pode se entender aqui como a capacidade do sistema processar as informações adquiridas, por sensores, por exemplo, e transformá-las em novas informações que possuam algum significado (metainformação) e que possam ser usadas, por exemplo, em tomadas de decisão. Os AVAs serão avaliados quanto aos níveis de inteligência que podem prover: pouca inteligência (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); nível intermediário de inteligência provida (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); alto nível de inteligência fornecida (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não forneça nenhum tipo de inteligência, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 9: Público alvo

Os AVAs também serão avaliados quanto ao público-alvo, ou seja, será analisado para que grupo de pessoas são principalmente destinados.

Eixo 10: Utilização de objetos físicos/reais

Um aspecto que também será analisado é a possibilidade do AVA utilizar/integrar elementos dos ambientes reais dos alunos (como informação de posicionamento global, rede de sensores, etc) para contribuir com os momentos de aprendizagem. Este eixo classificará AVAs quanto à possibilidade de utilização de elementos físicos: poucas possibilidades (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); algumas possibilidades, mesmo que não seja o foco (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); diversas possibilidades/foco

do AVA (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não possibilite a utilização de objetos físicos, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 11: Aprendizagem como experiência social

A aprendizagem pode ser vista como uma experiência social, que ocorre efetivamente no contexto de comunidades (SNEHA e NAGARAJA, 2014). Dessa forma, este eixo pretende analisar o comportamento dos AVAs quanto à aprendizagem como experiência social: pouco tratamento (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); trata de alguma forma a aprendizagem como experiência social (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); tem foco na aprendizagem como experiência social (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não trate a aprendizagem como experiência social, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 12: Nível de engajamento

Engajamento é um termo genérico para uma gama de ideias que buscam explicar como as experiências dos alunos afetam sua aprendizagem e desenvolvimento. O engajamento procura medir a participação dos alunos em atividades pedagogicamente eficazes e suas percepções sobre os ambientes que apoiam sua aprendizagem e desenvolvimento (MCCORMICK, 2013 apud KUH, 2001, 2009). Os AVAs serão avaliados quanto aos níveis de engajamento que podem prover: pouco engajamento (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); nível intermediário de engajamento (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); alto nível de engajamento possibilitado (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não forneça engajamento, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 13: Usabilidade

Em geral, o termo usabilidade define a facilidade com que as pessoas podem empregar uma ferramenta ou objeto para realizar uma tarefa. Nas áreas da computação, como nas IHCs, usabilidade pode ser descrita como a qualidade de um sistema relacionada a fácil aprendizagem, a fácil utilização e a satisfação ao usuário. Neste trabalho, a classificação dos AVAs, quanto a este eixo, se dará de acordo com os níveis de usabilidade atingidos: pouca usabilidade (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); usabilidade média (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); altos níveis de usabilidade (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não trate de questões de usabilidade, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

Eixo 14: Abordagem multissensorial/multimodal

Aprendizagem mediada pela multimodalidade é aquela que é favorecida pela prática da multiplicidade de formas de expressão, na qual há variações entre atividades manuais ou concretas (experimentos, jogos ou artefatos), a palavra (falada ou impressa) e as imagens (fotos, mapas, gráficos, animações, vídeos, etc.) (DD DE SOUZA, 2013). Além dessas atividades, práticas que envolvam o olfato, o som e o paladar, surgem como novas possibilidades de aprendizagem. Este eixo classificará os AVAs quanto à abordagem multissensorial permitida: poucas possibilidades (assinalados com um “x” na tabela comparativa do final do capítulo); algumas possibilidades, mesmo que não seja o foco (assinalados com um “xx” na tabela comparativa do final do capítulo); diversas possibilidades/foco do AVA (assinalados com um “xxx” na tabela comparativa do final do capítulo). Caso o AVA não seja analisado quanto a este eixo ou não possibilite abordagens multissensoriais, será assinalado com um “-” na tabela comparativa do final do capítulo.

2.3.2. Interfaces avançadas

Aprendizagem Mediada por Tecnologia, do inglês *Technology Enhanced Learning*, é definida como qualquer sistema tecnológico que apoia diretamente a aprendizagem e o ensino (BROWNE, 2008).

Existem outras terminologias utilizadas para descrever os aspectos relacionados a integração das áreas de tecnologia e educação como, por exemplo, Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) e e-learning. Um AVA, como explicado na Seção 2.2, pode ser entendido de maneira mais específica, como um ambiente virtual web composto por ferramentas administrativas e de ensino. No entanto, um AVA também pode ser entendido como um termo mais geral, similar à aprendizagem mediada por tecnologia. Esta tese utilizará o termo AVA, entendendo-o ora de forma mais restrita (AVAs institucionais), ora de maneira mais geral (como uma aprendizagem mediada por tecnologia).

O estudo de Browne et al. (2008), por exemplo, procurou pesquisar ferramentas e tecnologias em geral, para apoiar as atividades de aprendizagem, em vez de priorizar a pesquisa nos AVAs utilizados nas instituições, como nos anos anteriores. Os autores justificam tal medida como uma tentativa de capturar o comportamento dos estudantes, frente as ferramentas desenvolvidas com a Web 2.0. Neste trabalho, são analisados o uso de AVAs institucionais, blogs, wikis, podcasting, entre outros.

Com a visão mais geral sobre AVAs, é possível refletir sobre o desenvolvimento tecnológico dos últimos anos e em como as novas interfaces humano-computador têm surgido, a fim de dar suporte as atividades de aprendizagem. Essas IHCs alteram o modo como o aluno interage com o meio, seja este composto por professor, colegas ou objetos de aprendizagem. Essas modificações podem determinar o sucesso da aprendizagem, e também são capazes de influenciar vários dos aspectos do ensino.

A seguir será apresentada uma análise dos principais Ambientes Virtuais de Aprendizagem encontrados na literatura, tomando como referências as IHCs utilizadas em aprendizagens mediadas por tecnologia e os eixos de análise apresentados na Seção 2.3.1. A pesquisa pelos trabalhos ocorreu em bases de dados científicas,

adotando três critérios principais: ano de publicação, número de citações recebidas e proximidade com esta tese (palavras-chave).

No final deste capítulo será apresentada uma tabela comparativa entre as principais referências abordadas, sob a ótica dos eixos de análise propostos.

2.3.2.1. Realidade Aumentada

O trabalho de Billinghamurst e Dünser (2012) investiga as vantagens da utilização de aplicações de RA em salas de aula, tanto na educação fundamental, como no ensino médio. Os autores analisam dois AVAs aplicados: a utilização de livros de RA e de aplicativos móveis de RA (para smartphones e tablets).

Essas aplicações possibilitam colaboração remota e experiências de aprendizagem compartilhadas, uma vez que vários usuários podem experimentar objetos 3D a partir de diferentes pontos de vista, interagindo com o objeto e compartilhando ideias (BILLINGHURST e DÜNSER, 2012).

Com relação às possibilidades de ferramentas administrativas, o artigo não se propõe a discutir. O mesmo acontece com as questões relacionadas a abordagens pedagógicas, embora fique claro que tais aplicações permitam novas abordagens.

A maioria dos AVAs que utilizam RA são de uso único (protótipos) para projetos específicos, por isso é difícil generalizar os resultados da avaliação. Além disso, são relativamente poucos os estudos que têm investigado a efetiva contribuição pedagógica da RA em sala de aula (BILLINGHURST e DÜNSER, 2012).

Quanto à utilização de elementos tecnológicos, a RA normalmente requer uma CPU, um monitor e um sistema de rastreamento, bem como hardware gráficos e software específicos.

Os autores afirmam que a experiência com ferramentas de criação de conteúdo de RA para sala de aula fornece evidências de que até mesmo as crianças podem criar cenas de RA e que o processo de criação pode ser uma poderosa experiência educacional, uma vez que os alunos devem pensar como usar a tecnologia para representar conceitos complexos.

Billinghamurst e Dünser (2012) ainda afirmam que a RA permite a conexão dos domínios físicos e digitais, característica que tem começado a se mostrar mais eficaz

na aprendizagem dos alunos, aumentando a retenção do conhecimento, em relação às tradicionais interfaces desktop 2D. As percepções sobre os ambientes são mais aguçadas na RA, proporcionando experiências de aprendizagem mais efetivas e provendo maior engajamento ao aluno.

Por fim, a usabilidade dessas aplicações é positiva, pois utilizam interfaces bastante naturais. Também possui uma abordagem multissensorial para aprendizagem interessante, com links de texto, imagem, som e movimento, em um formato motivacional (BILLINGHURST e DÜNSER, 2012).

Já Liarokapis e Anderson (2010) apresentam em seu artigo, um AVA com interface RA, que constitui uma aplicação educacional como ambiente de imersão. O trabalho foi executado e validado em cursos de graduação e pós-graduação de duas universidades do Reino Unido.

O sistema proposto é baseado em três partes inter-relacionadas utilizáveis para a montagem dos cenários: cartões de marcação para ligar os objetos físicos aos virtuais; informações digitais como objetos 3D, textos, vídeos, etc.; e tutoriais educativos onde atividades teóricas, práticas e de avaliação são criadas e executadas. Um dos cenários de estudo foi definido como sendo para entendimento de como funciona o interior de um computador real. A turma se reuniu em torno de uma mesa em que o interior de um computador 3D foi sobreposto.

A potencialidade de interação dos alunos com o ambiente como, por exemplo o manuseio dos elementos reais representados pelos objetos 3D apresentados, fez com que o engajamento dos alunos fosse elevado.

O sistema também proporcionou o uso de ferramentas de criação de cenários, categorizados como tutoriais teóricos, práticos e de avaliação. Em especial os tutoriais de avaliação, permitem atividades onde conteúdos são expostos e atividades propostas a fim de ser possível, através do produto construído pelo aluno, avaliar o nível de absorção de conhecimento alcançado pelo aluno.

Dado a flexibilidade na criação e configuração dos cenários, o relato do trabalho indica que o ambiente é capaz de se adaptar a vários tipos de abordagem pedagógica, mesmo não tendo relatado diferentes tipos de experimentos para validar isso.

A abordagem multissensorial se destaca, pois a proposta permite manipulação de objetos através do tato em complemento as informações visuais. Quanto à utilização de inteligência, os autores não fazem menção no artigo.

2.3.2.2. Redes de sensores

Com relação às propostas educacionais, Chang, Wang e Lin (2009) propõe um AVA que se apoia na aprendizagem móvel por reforço, através de micro e macro redes de sensores. Dois exemplos práticos, um em sala de aula e o outro em uma cidade inteira, são aplicados com alunos de uma escola, para mostrar o potencial do uso de redes de sensores na aprendizagem móvel.

No relato do trabalho, os autores afirmam que a tecnologia e a cobertura de uma rede de sensores, combinada com dispositivos móveis tradicionais (PDA, Tablet, computador, telefone celular, etc) pode aprimorar as funções e ampliar o potencial de uso da aprendizagem móvel, possibilitando uma forte interação dos alunos com as informações espalhadas pelos ambientes.

Em complemento à arquitetura de rede e aos dispositivos móveis, o framework proposto necessita de um conjunto de componentes de aprendizagem para ser utilizado, incluindo plano de aprendizagem, gestão de aprendizagem, pedagogia, conteúdo, atividades de aprendizagem e portfólio. As atividades de aprendizagem possíveis a partir deste trabalho podem incluir jogos competitivos e cooperativos, permitindo abordagens de ensino colaborativas.

O artigo não menciona sobre a possibilidade de autoria nos experimentos realizados, nem as possibilidades de comunicação entre alunos e professores, não apontando também a existência de ferramentas administrativas e de avaliação. Questões sobre usabilidade também não são abordadas. Sobre o grau de inteligência do ambiente, parece ser limitado na proposta, pois embora a rede de sensores perceba e reconheça informações do ambiente, não existe nenhuma meta-informação extraída.

Os experimentos apresentados proporcionam o engajamento dos alunos, uma vez que os sensores permitem experiências motivadoras, interativas e exteriores.

A capacidade das redes de sensores trazerem informações dos objetos do mundo físico para o mundo virtual se caracteriza como um aspecto bastante positivo e

capaz de gerar novas abordagens de aprendizagem. O *framework* apresentado no artigo também permite que os alunos introduzam suas mensagens através do movimento corporal, caracterizando-o como uma proposta multissensorial.

Já o trabalho de Vogel et al. (2010) propõe uma arquitetura de redes de sensores com dispositivos móveis. A fim de testar a validade da arquitetura, foi criado um protótipo experimental de software como parte do projeto LETS GO, para apoiar as atividades de aprendizagem baseados na investigação no campo das ciências ambientais. O estudo de caso relatado no trabalho ocorreu na primavera de 2009, em Växjö, na Suécia com oito estudantes de uma escola secundária, em três sessões de duas horas ao longo de um período de duas semanas.

Estudos preliminares ao desenvolvimento dos software foram feitos para identificar a necessidade computacional que as atividades de aprendizagem necessitavam e, a partir disto, o protótipo foi desenvolvido abrangendo os seguintes blocos: sensores, dispositivos móveis, transmissão dos dados do sensor, repositórios, APIs externas e visualização.

Dentro do escopo dos sistemas desenvolvidos, o relato do trabalho apresenta que a interação e a comunicação do ambiente com os dados e o suporte à aplicações múltiplas, possibilitaram aos alunos executarem as práticas pedagógicas determinadas para a atividade com o auxílio da tecnologia para o registro e consulta de dados em tempo-real. O relato mostra também que as interfaces disponíveis para as atividades eram extremamente amigáveis, o que facilitou o engajamento dos alunos participantes do experimento.

Como itens não cobertos pelo sistema, o artigo ressalta a falta de ferramentas colaborativas e autorais, só permitindo anotações durante a coleta de dados, mas não apresentando opções para relatórios por exemplo. Outro ponto que foi possível analisar foi a falta de ferramentas administrativas para construção de diferentes ambientes de aprendizagem e/ou tipos de avaliação, visto que a ferramenta foi desenvolvida para ser experimentada em uma prática pedagógica específica.

O trabalho mostrou que as redes de sensores quando alinhadas a um conjunto de software adequado, podem ser um poderoso advento para o processo de ensino-aprendizagem.

2.3.2.3. Computação Ubíqua

A computação ubíqua também é explorada atualmente em diversos trabalhos relacionados a propostas educacionais. No trabalho de Shih (2011), um AVA ubíquo baseado no contexto é desenvolvido para que os alunos possam aprender sobre a vegetação dos campus de uma escola de ensino fundamental. A medida que o dispositivo do aluno recebe o sinal do RFID associado a uma planta, o sistema apresenta as informações a respeito da planta em questão, algumas tarefas relacionadas e os próximos passos a serem seguidos.

Embora o artigo aponte oportunidades de interação dos alunos com as informações espalhadas pelo ambiente, as possibilidades de aprendizagem colaborativa não são mencionadas. Quanto às ferramentas administrativas e de autoria, o artigo também não faz menção. A proposta também não apresenta ferramentas para avaliação dos processos de aprendizagem, embora tenha aplicado questionários para avaliar a satisfação dos alunos.

Os autores comparam os resultados com outras pesquisas sobre aprendizagem móvel, e indicam que tal abordagem pode aumentar significativamente e de forma eficaz a aprendizagem dos alunos, devido a adoção de conceitos de sensibilidade ao contexto.

Estando a computação espalhada pelos diversos ambientes, torna-se possível captar informações dos objetos do mundo físico, bem como proporcionar um melhor engajamento e propostas multissensoriais aos alunos. Desta forma, a proposta permite a obtenção de um *feedback* do aluno constantemente, para que, ao conhecer as condições de aprendizagem deste, possa prever e orientar corretamente as próximas ações.

Outra proposta relacionada ao uso da computação ubíqua na educação é o artigo de Poole et al. (2011), onde os autores apresentam um projeto de implantação de computação ubíqua nas escolas, utilizando para seu estudo de caso o jogo de saúde American Horsepower Challenge (AHPC). O jogo pretende aumentar a atividade física diária dos alunos do ensino médio com idade em torno de 9 à 13 anos, através de uma competição entre escolas, contabilizando a quantidade de passos dados por uma equipe de alunos durante o período em que estão na escola.

O sistema AHPC funciona através de uma estrutura tecnológica composta por pedômetros instalados nos calçados dos alunos e estações-base instaladas no ambiente da escola que receberem os dados coletados pelos pedômetros e atualizarem o sistema.

Como possibilidades, a proposta apresenta ferramentas que permitem aos professores e alunos visualizarem o desempenho de suas escolas, através de um cenário web no qual a escola é representada, em uma corrida, por um ônibus com o avatar de cada aluno da equipe, e o qual tem sua posição atualizada pelo desempenho de passos dos alunos da equipe, coletados pelos sensores. Em complemento as possibilidades de interação do sistema, os professores também utilizam o ambiente web para customizar o ônibus de sua equipe.

O trabalho relata, também, que a competição com o uso do sistema AHPC proporcionou o incentivo e a execução de algum tipo de atividade física em escolas que não tem disciplinas regulares de educação física dado o baixo orçamento, alcançando um bom nível de engajamento dos alunos dado seu caráter competitivo. Em contra partida, os relatos indicam que este engajamento poderia ter sido maior, caso as tarefas fossem executadas em atividades extracurriculares.

Quanto aos pontos falhos analisados no trabalho, a forma como o sistema é utilizado no estudo é controversa quanto a seu caráter pedagógico de incentivar os alunos a começar atividade física adicional ao longo do dia, visto que os professores criam equipes que contratam e demitem alunos, buscando assim desenvolver um forte espírito de equipe, o que em alguns casos se apresenta como uma desvantagem por ser uma prática com potencial para humilhação ou vergonha. Outro ponto desfavorável destacado no estudo é a falta de possibilidade de autoria dos envolvidos, visto que o sistema como foi concebido, não permite a criação de quaisquer eventos de atividades físicas específicas ou a fixação de metas para os participantes. Fica de responsabilidade do participante definir os seus próprios objetivos, registrar seus dados e consultá-los via site, de forma externa ao ambiente do sistema.

2.3.2.4. Sistemas Físico-Cibernéticos

Quanto a propostas educacionais que envolvem CPSs, o trabalho de Olympiou e Zacharia (2012) tem como objetivo investigar o efeito de experiências com a compreensão de conceitos relacionados à luz e às cores, através de objetos físicos e objetos virtuais. Para a avaliação da aprendizagem dos alunos, protocolos com questionários e procedimentos bem definidos foram utilizados e os resultados revelaram que o uso de uma combinação mista de objetos físicos e objetos virtuais propiciou uma compreensão mais avançada dos alunos de graduação se comparado com o uso de objetos sozinhos.

Embora a proposta de Olympiou e Zacharia envolva um alto grau de interação com objetos (físicos), as possibilidades de trocas entre os aprendizes não parecem ser exploradas. Com relação aos aspectos tecnológicos, a proposta apenas utiliza ambientes virtuais para a manipulação dos objetos virtuais, perdendo a possibilidade de integrar informações do mundo físico para serem utilizadas junto ao mundo virtual.

O artigo é muito bem fundamentado, trazendo boa revisão de trabalhos que abordam o uso pedagógico de materiais concretos e virtuais no ensino, e discutindo sobre a importância da inserção desses objetos no currículo de algumas disciplinas, tal como Física. Por outro lado, o texto não explora as possibilidades de colaboração entre os alunos durante os experimentos com objetos físicos e virtuais, bem como não relata a respeito de ferramentas de autoria.

Dentre os benefícios apresentados no trabalho, pode-se identificar um bom engajamento dos alunos, uma vez que propõe a utilização de elementos físicos, do mundo real, além de elementos virtuais e sua boa usabilidade e abordagem multissensorial, já que permite a manipulação de objetos físicos, trabalhando o tato, a visão, motricidade, etc.

Seguindo o estudo de propostas que buscam integrar elementos reais e virtuais, pode-se destacar o trabalho de Hoyer et al. (2004), que apresenta um AVA colaborativo para um laboratório tele-operado. Os alunos de engenharia têm acesso ao laboratório através da Internet, a partir de qualquer lugar a qualquer momento, sendo capazes de controlar as experiências através do navegador.

Segundo os autores, o ambiente colaborativo permite as experimentações em times, onde os membros estão aptos a interagir e discutir sobre os resultados de seus trabalhos. No entanto, tais comunicações ficam restritas ao mundo virtual (chat, áudio conferência, videoconferência, chat 3D).

O artigo não apresenta nenhuma abordagem para avaliação do ambiente, bem como pouco discute sobre as possibilidades pedagógicas. A proposta exige que o ambiente já deva possuir os experimentos previamente representados no ambiente virtual, bem como que eles estejam configurados para interagir com os elementos físicos, o que restringe as possibilidades de autoria por parte dos alunos.

Embora a proposta utilize objetos físicos (experimentos reais no laboratório), as manipulações por parte dos alunos são exclusivamente virtuais, o que implica em dificuldades de engajamento dos alunos e impossibilidade de utilização de abordagens multissensoriais. Outro aspecto que cabe ressaltar é que configurar os experimentos a distância, através da manipulação de parâmetros virtuais pode ser complicado para os alunos, tornando-o um sistema de baixa usabilidade.

Outro trabalho que envolve a utilização de CPSs na educação é o de Lei et al. (2013), que descreve o desenvolvimento de um laboratório inteligente, construído através de CPS, utilizando como exemplo o conforto térmico e a segurança como fator de regulação do ambiente. O CPS desenvolvido foi validado em um laboratório de engenharia de uma universidade com 150 estudantes.

A experiência utilizava uma estação base (Base-Station) com algoritmo computacional que interagiu com sensores de medição e atuadores, a fim de analisar, interpretar e agir no ambiente, regulando-o de forma adequada.

Definida a finalidade do CPS, os alunos tiveram como desafio desenvolver máquinas de engenharia a fim de controlar situações anormais projetadas como exercício para aplicação prática da teoria estudada.

O cenário das experiências foi desenhado para o controle da temperatura e da umidade relativa do laboratório. Em dado momento uma fonte de vapor de água quente foi colocada perto de um sensor a fim de simular a mudança dos níveis do ambiente para quente e úmido, e a solução dos alunos teve que detectar e atuar nesta mudança,

acionando o ventilador elétrico do atuador, para fornecer ventilação de ar adequada para a regulação nos níveis no ambiente.

Revisando o trabalho apresentado, é possível identificar a abordagem como uma boa solução educacional em níveis de interatividade, capacidade de autoria, engajamento e utilização multissensorial e tecnológica para alcançar um grau de “inteligência”. Por outro lado, o CPS como ambiente de aprendizado não absorve em seu corpo a especificação de abordagem pedagógica, nem de ferramentas específicas para administração de atividades e/ou avaliação das mesmas, ficando externo ao escopo da aplicação a presença destas características.

2.3.3. AVAs institucionais

Esta seção pretende apresentar os principais AVAs institucionais presentes nos últimos anos. O trabalho de Browne et al. (2003, 2005 e 2008) desenvolveu uma pesquisa no período entre 2001 e 2008, identificando os principais AVAs utilizados nas universidades do Reino Unido. Foram investigadas 85 instituições, constatando como principais ambientes virtuais de aprendizagem utilizados, os seguintes: Blackboard (47% das universidades utilizavam); WebCT (23% das universidades utilizavam); Moodle (11% das universidades utilizavam). Em 2006, o AVA WebCT foi adquirido pela empresa Blackboard Inc e os dois passaram a fazer parte do mesmo projeto.

Outras pesquisas também procuram investigar os AVAs mais utilizados nas instituições de ensino (BRI et al., 2009; SNEHA e NAGARAJA, 2014). No Brasil, também existem estudos nessa mesma linha, que procuram avaliar e comparar os principais AVAs utilizados no país (FRANCISCATO et al., 2008; HAGUENAUER et al., 2010). Nesses estudos, além dos AVAs conhecidos e utilizados internacionalmente (como o WebCT), também são analisados AVAs nacionais, como por exemplo o Quantum e o Aulanet.

A seguir são apresentados os principais AVAs institucionais que tem sido pesquisados, tomando como referência os eixos de análise propostos na seção 2.3.1.

2.3.3.1. WebCT

WebCT é uma ferramenta que facilita a produção de sofisticados ambientes educacionais baseados na web (GOLDBERG e SALARI, 1997). Ela apresenta uma página principal única, contendo links a várias páginas de cursos e ferramentas, tais como: ferramentas para comunicação síncrona (chat) e assíncrona (mensagens) entre usuários; ferramentas administrativas, como as de acompanhamento de progresso do aluno; ferramentas de avaliação, como quiz e questões de múltiplas escolhas; e áreas de apresentação e colaboração (SNEHA e NAGARAJA, 2014).

Analisando quanto à utilização de elementos tecnológicos, o WebCT é um AVA tradicional, utilizando-se uma tecnologia cliente-servidor, onde o usuário (alunos e professores), acessa o ambiente através de um navegador. Como ferramenta de autoria, apenas a área de apresentação do sistema fornece certa possibilidade ao aluno, ainda que de maneira limitada. A ferramenta se caracteriza por possuir uma interface complexa e não intuitiva, inclusive apresentando problemas com as diretrizes de acessibilidade, e por não ser flexível, já que apresenta dependência de java.

O WebCT possui como público-alvo os alunos de graduação de diferentes cursos presenciais e à distância e, assim como na maioria dos AVAs, é possível que se tenha uma abordagem pedagógica centrada no aluno, embora isso exija bastante estudo da ferramenta por parte do professor.

Embora o acesso ao WebCT esteja disponível em qualquer dispositivo e lugar que possua internet, o nível de engajamento de ferramentas desse tipo é questionável, já que o aluno precisa efetivamente se desvincular de qualquer atividade que esteja fazendo para se dedicar as tarefas específicas de um contexto (virtual) que, na grande maioria das vezes, não está relacionada com o seu contexto do mundo real.

Alguns outros aspectos como o grau de inteligência que o sistema implementa, a utilização de objetos físicos do mundo real e a abordagem multi-sensorial não existem ou não são possíveis de serem trabalhados no WebCT.

2.3.3.2. Virtual-U

Virtual-U é um AVA que possui como um dos maiores diferenciais o uso de metáforas, comparando as ferramentas e atividades oferecidas aos locais e objetos de um campus universitário (HARASIM et al., 1997). A página principal do sistema apresenta um mapa do campus, contendo regiões como a sala do curso, a biblioteca, a sala do café, a área de trabalho pessoal, entre outras. Distribuídas por essas diferentes regiões, encontram-se ferramentas para comunicação entre usuários, ferramentas administrativas e ferramentas para acompanhamento de performance do aluno. Além disso, a colaboração é possível tanto nos espaços formais, quanto em espaços mais casuais de interação e colaboração, como na sala do café.

A utilização de elementos tecnológicos, no Virtual-U se dá pela tecnologia cliente-servidor, onde o usuário (alunos e professores), acessa o ambiente através de um navegador. Existem alguns espaços no ambiente que permitem a autoria por parte do aluno, mas de forma restrita.

O Virtual-U provê um sistema de ajuda para o desenvolvimento de cursos com orientações pedagógicas estabelecidas, possuindo como público-alvo os alunos de graduação de diferentes cursos presenciais e à distância.

Pelo mesmo motivo do WebCT, o Virtual-U apresenta um baixo nível de engajamento e os aspectos como o grau de inteligência, a utilização de objetos físicos do mundo real e a abordagem multi-sensorial não existem ou não são possíveis de serem trabalhados.

2.3.3.3. .LRN

.LRN é um portal internacional open-source e um framework de aplicação que auxilia a aprendizagem colaborativa através de comunidades e ambientes de aprendizagem mistos (CALVO et al., 2003). É baseado no conceito de que a aprendizagem é uma experiência social e que a efetiva aprendizagem normalmente ocorre no contexto de comunidades (SNEHA e NAGARAJA, 2014), por este motivo, as comunicações/interações e colaborações entre usuários se caracterizam como principais funcionalidades desse ambiente. Mesmo sendo um dos pontos fortes do

sistema, a interação se dá de forma restrita já que ocorre apenas pelo navegador, através de componentes virtuais.

O sistema possui uma série de ferramentas administrativas, as quais possuem seu uso distribuído pelos membros da comunidade. Já as ferramentas de avaliação são escassas. Tecnicamente, o sistema é utilizado no navegador pelos usuários, tendo a necessidade de instalação de um servidor.

Embora o sistema tenha como preocupação principal o estabelecimento de comunidades, bem como seu gerenciamento distribuído, existe a possibilidade de autoria por parte do aluno, integrando recursos externos. O .LRN permite também uma abordagem pedagógica diferenciada, desde que se utilizem os conceitos de aprendizagem em comunidade como base.

A usabilidade do sistema não é um ponto forte, mesmo assim, o engajamento possibilitado pela abordagem centrada nas comunidades de aprendizagem se destaca.

Aspectos como grau de inteligência, utilização de objetos físicos do mundo real e a abordagem multi-sensorial não existem ou não são possíveis de serem trabalhados também.

2.3.3.4. Moodle

O Moodle (DOUGIAMAS e TAYLOR, 2003) é um dos AVAs existentes atualmente mais populares devido a sua fácil utilização e sua modularidade (diversos plug-ins e add-ons com diferentes funcionalidades).

Possui uma vasta variedade de opções de gerenciamento, como diferentes possibilidades de autenticação, de criação de perfis e de regras permissão para inscrição em cursos. Apresenta também diversas ferramentas de administração de cursos, de comunicação e de avaliação, como chat, forums, wikis, construtores de avaliação, entre outras.

O Moodle possui uma arquitetura cliente-servidor, sendo escrito em php e acessado através do navegador. Possui versões para smartphones, o que de certa maneira contribui para um maior engajamento dos alunos.

Embora permita a integração de ferramentas de autoria, o Moodle apresenta limitações neste aspecto. A abordagem pedagógica centrada no aluno, assim como na maioria dos AVAs, é possível, embora não seja um processo trivial.

Assim como nos demais AVAs apresentados, os aspectos como grau de inteligência, utilização de objetos físicos do mundo real e a abordagem multi-sensorial não existem ou não são possíveis de serem trabalhados no Moodle.

2.3.3.5. Sakai

O projeto Sakai (FARMER e DOLPHIN, 2005) surgiu em 2004 como uma integração de software de e-Learning das universidades americanas do Michigan, Stanford, Indiana e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). O projeto possui uma série de especificações que buscam garantir a portabilidade de conteúdos entre diferentes ambientes de aprendizagem e tem como público-alvo os alunos das faculdades e universidades.

Conceitualmente, o Sakai é composto de duas partes: framework e ferramentas. O framework suporta a implementação de aplicações, chamadas de ferramentas, fornecendo interfaces apropriadas e serviços. O sistema foi desenvolvido inicialmente em Java e pesquisas procuraram dar suporte a outras linguagens de programação.

O sistema apresenta diversas ferramentas para comunicação síncrona e assíncrona entre usuários, tais como salas de bate-papo, espaços de discussões e de armazenamento de e-mail, sistema de notícias, entre outras. Também implementa ferramentas administrativas, como as de definições de atribuições a usuários e ferramentas de avaliação, como a chamada Sakai Assessment.

Dentre as ferramentas implementadas, destaca-se o ambiente de aprendizagem colaborativa (Sakai Collaborative Learning Environment), que possui foco no ensino através da colaboração dos indivíduos. Devido à portabilidade e interoperabilidade do sistema, foi possível adicionar diversas outras ferramentas desenvolvidas por parceiros, como por exemplo a ferramenta de autoria (Melete Lesson Authoring), que permite a criação, disponibilização e utilização de objetos de aprendizagem.

Os autores afirmam que a principal motivação para desenvolvimento do Sakai foi criar um sistema com funcionalidades que apoiarão abordagens pedagógicas mais

eficazes em todas as disciplinas. Os educadores que trabalham no projeto Sakai e parceiros geralmente concordam que a melhoria das funcionalidades implementadas pode se traduzir em ensino e aprendizagem mais produtivos (FARMER e DOLPHIN, 2005).

Algumas questões relacionadas a determinados eixos de análise aqui abordados não são mencionadas no artigo, tais como: nível de engajamento, usabilidade, grau de inteligência do sistema, utilização de objetos físicos/reais e abordagem multissensorial/multimodal.

2.3.3.6. Tidia-Ae

O ambiente Tidia Aprendizado Eletrônico é um projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e que possui parceria com o projeto Sakai, utilizando-se do núcleo básico Sakai para desenvolver sua plataforma e ferramentas colaborativas. O Tidia-Ae é definido como

um ambiente colaborativo que gerencia cursos e atividades de aprendizado, dando suporte ao ensino presencial e eletrônico. O sistema reúne ferramentas de software desenvolvidas especialmente para ajudar alunos, professores, instrutores e pesquisadores em suas ações. Usando um navegador web, os usuários podem criar um portal que reúna suas necessidades de aprendizado por meio de um conjunto de ferramentas (FRANCISCATO, et al., 2008 apud TIDIA, 2004).

Por utilizar o núcleo básico do projeto Sakai, o ambiente Tidia-Ae herda muitas de suas características analisadas na seção anterior, como no caso das ferramentas administrativas, de comunicação, de avaliação e de colaboração. O ambiente tem como público-alvo professores e alunos universitários.

O artigo de Franciscato et al. (2008) faz uma comparação entre três AVAs, onde o Tidia-Ae apresenta o maior número de recursos de ferramentas de autoria e o menor grau de satisfação quanto a usabilidade do sistema. Sobre as possibilidades pedagógicas, a ambiente Tidia-Ae também apresentou avaliação abaixo dos demais.

Assim como ocorreu na análise do projeto Sakai, algumas questões relacionadas a determinados eixos aqui avaliados não são mencionadas no artigo, tais como: nível de engajamento, grau de inteligência do sistema, utilização de objetos físicos/reaís e abordagem multissensorial/multimodal.

2.3.3.7. TelEduc

TelEduc é um ambiente para a criação, participação e administração de cursos na Web, desenvolvido a partir de 1997 pelo Núcleo de Informática Aplicada à Educação (NIED) da Universidade Estadual de Campinas (ROCHA e MORAES, 2002). As ferramentas do TelEduc foram projetadas segundo necessidades relatadas por seus usuários e apresentam características como a facilidade de uso por não especialistas (boa usabilidade), um conjunto enxuto de funcionalidades e foco na formação de professores para Informática na Educação.

O ambiente TelEduc disponibiliza uma série de ferramentas administrativas (agenda, gerenciamento de alunos e de formadores, inscrições, datas de início e término de curso, etc), de comunicação (correio Eletrônico, o bate-papo e grupos de discussão), de autoria (Leituras, Material de Apoio e Atividades) e de avaliação (ferramenta Dinâmica).

O TelEduc implementa ainda a ferramenta **Parada Obrigatória**, que

*tem uma forte vinculação com a **abordagem pedagógica** usada pelo NIED em seus cursos. Funcionalmente é análoga à ferramenta Atividades e conceitualmente seu uso é feito em momentos do curso onde o formador tem necessidade de fazer um fechamento das principais idéias tratadas até então. Trata-se, portanto, de uma atividade especial que procura explorar o*

conteúdo já visto até um determinado momento do curso, integrando atividades e leituras que o aluno pode, eventualmente, ter percebido ainda como estanques ou não relacionadas (ROCHA e MORAES, 2002 – grifo meu).

A ferramenta **InterMap** procura mapear a interação e a participação dos atores envolvidos em um curso, através de representações gráfica (grafos, gráficos de barra e código). A ferramenta possibilita uma maior visibilidade dos participantes de um curso e favorece a aprendizagem colaborativa.

Determinadas questões relacionadas a eixos aqui avaliados não são mencionadas no artigo, tais como: nível de engajamento, grau de inteligência do sistema, utilização de objetos físicos/reais e abordagem multissensorial/multimodal.

2.4. Síntese da fundamentação teórica e trabalhos relacionados

A seguir é apresentada uma tabela comparativa entre as principais referências analisadas no Capítulo 2, a partir dos eixos centrais estabelecidos.

Tabela 2: Comparação entre AVAs

Referência/ Critério	Comunicação e interação	Ferramentas administrativas	Ferramentas de avaliação	Utilização de elementos tecnológicos	Abordagem pedagógica	Grau de colaboração	Ferramentas de Autoria	Grau de "inteligência"	público alvo	Utilização de objetos físicos/realis	Engajamento	Usabilidade	Abordagem Multi-sensorial
WebCT	XX	XXX	XX	X	XX	XX	XX	-	Universi- dades	-	X	X	X
Virtual-U	XX	XXX	X	X	XX	XX	XX	-	Universi- dades	-	X	X	X
.LRN	XX	XXX	X	X	XX	XXX	XX	-	Comuni- dades	-	XX	X	X
Moodle	XX	XXX	XX	X	XX	XX	XX	-	Universi- dades	-	XX	XX	X
Sakai	XX	XXX	XX	X	XX	XX	XXX	-	Universi- dades	-	-	-	-
Tidia-Ae	XX	XXX	XX	X	X	XX	XXX	-	Universi- dades	-	-	X	-
TelEduc	XX	XXX	XX	X	XX	XX	XX	-	Professo- res	-	-	XX	-
Sakai	XX	XX	XX	X	XX	XX	XX	-	Universi- dades / Órgãos públicos	-	X	XX	X
Realidade Aumentada (Billinghur, 2012)	XXX	-	X	XX	-	XXX	XXX	-	Ensino fundamen- tal e mé- dio	XX	XX	XXX	XXX
RA (Liarokapis e Anderson, 2010)	XXX	-	XX	XX	XX	XXX	XXX	-	Gradua- ção e Pós- Gradua- ção	XX	XX	XXX	XX
Redes de Sensores (Chang, et. al, 2009)	XX	XX	X	XXX	XXX	XX	X	X	Crianças	XXX	XX	-	XX
Redes de Sensores (Vogel et. al, 2010)	XX	X	X	XXX	XX	X	X	-	Ensino Médio	XX	XX	XXX	X
Computação Ubiqua (Shih, 2011)	X	-	X	XX	XX	X	-	XX	Ensino fundamen- tal	XX	XX	X	XX
Computação Ubiqua (Poole et. al, 2011)	X	XX	X	XX	X	XX	X	-	Ensino fundamen- tal	X	XXX	XX	XX
CPS (Olympiou e Zacharias, 2011)	X	-	XX	X	XXX	X	X	X	Alunos de graduação	XXX	XX	XX	XX
CPS (Hoyer, 2004)	XX	-	X	XX	X	XXX	X	X	Estudan- tes de en- genharia	XX	X	X	X
CPS (Lei et. al, 2013)	XX	X	X	XXX	X	XX	XX	XX	Estudan- tes de en- genharia	XXX	XX	XX	XX

- -> Não analisado/Não Contém

X -> Ruim/Poucos

XX -> Bom/Alguns

XXX -> Ótimo/Muitos

Pela Tabela 2, observa-se que, em geral, os AVAs, no sentido mais tradicional da palavra, aqueles utilizados pelas universidades, possuem boas ferramentas administrativas, de avaliação e de comunicação. No entanto, as questões que envolvem o engajamento, a abordagem multissensorial e a utilização de objetos físicos no ensino, são pouco abordadas nesses ambientes. Também pode ser percebido, pela tabela, que alguns trabalhos, ainda que pontuais, propõem a utilização de objetos físicos para o ensino, embora não propiciem grandes níveis de engajamento e/ou abordagens multissensoriais diferenciadas.

O trabalho aqui proposto não tem como foco o desenvolvimento de ferramentas administrativas, de avaliação e de comunicação, por entender que tais aspectos já estão consolidados na grande maioria dos ambientes virtuais de aprendizagem utilizados nas instituições de ensino. Por outro lado, questões como a integração de objetos do mundo físico aos ambientes de aprendizagem, os níveis de engajamento e de inteligência fornecido pelos ambientes, e as abordagens multissensoriais surgidas, ainda apresentam lacunas com relação às propostas educacionais, que pretendem ser exploradas neste trabalho.

Capítulo 3

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE UMA APRENDIZAGEM FÍSICO-VIRTUAL

Expõe-se, em um primeiro momento, a proposta de Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem e, posteriormente, apresenta-se a plataforma Toogle, desenvolvida para implementação de sistemas físico-cibernéticos. Por fim, as adaptações necessárias para implementação de AFVAs através da plataforma Toogle também são descritas.

3.1. Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem (AFVA)

Depois de apresentadas características e exemplos de AVAs no Capítulo 2, pretende-se agora analisar a possibilidade de se integrar elementos reais e virtuais, em ambientes educacionais. Para tanto, apresenta-se a proposta de Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem (AFVA), procurando primeiramente expor seus requisitos, suas definições e características. Após, discute-se a respeito de um modelo conceitual para AFVAs e suas abordagens educacionais.

3.1.1. Requisitos para AFVAs

Baseado no estudo dos trabalhos relacionados, propõe-se que um AFVA deva atender aos requisitos listados a seguir.

- 1) **Comunicação e interação**: um AFVA deve prover a comunicação e a interação entre aprendizes e professores, possibilitando a aprendizagem colaborativa;
- 2) **Ferramentas administrativas**: um AFVA deve possuir ferramentas administrativas para que a gerência do aprendizado seja possível;
- 3) **Ferramentas de avaliação**: um AFVA deve possuir ferramentas pelas quais seja possível acompanhar os níveis de aprendizado dos alunos;
- 4) **Abordagem pedagógica**: um AFVA deve permitir o desenvolvimento do aluno a partir de orientações pedagógicas diferenciadas;
- 5) **Ferramentas de autoria**: um AFVA deve possuir ferramentas pelas quais os alunos sejam capazes de criar, de acordo com seus contextos e suas vivências;
- 6) **Inteligência**: um AFVA deve prover algum nível de inteligência para o auxílio da aprendizagem;
- 7) **Engajamento**: um AFVA deve proporcionar aos alunos experiências com alto nível de participação e que afetem diretamente seu desenvolvimento, produzindo aprendizagens eficazes;
- 8) **Abordagem Multissensorial**: um AFVA deve ser capaz de integrar informações multissensoriais dos ambientes, como sons, vídeos, textos, animações 3D, etc;

3.1.2. Definições e características de AFVAs

A partir dos requisitos levantados, propõe-se caracterizar um AFVA.

- Um ambiente físico-virtual de aprendizado possui as sete características de um AVA, apresentadas por Dillenbourg: é um espaço para conceber informação, é um espaço social, é explicitamente representado, é um espaço onde os alunos também são atores, não se restringem a educação a distância, integram tecnologias heterogêneas e múltiplas propostas pedagógicas e acontecem simultaneamente aos ambientes físicos.
- Um AFVA destaca-se especialmente por apresentar uma característica que o difere dos AVAs: **O espaço virtual está presente nos diferentes espaços reais.**

De acordo com essa nova característica, os AFVAs devem propiciar que espaços físicos contemplem diversos elementos do mundo virtual e vice-versa. E mais, à medida que o aluno se desloque pelos diferentes espaços físicos do seu dia-a-dia, um AFVA deve permitir que este vivencie espaços educativos durante tais momentos, utilizando-se, para isso, dos elementos físicos dos locais e de elementos virtuais. Pode-se imaginar o cenário descrito a seguir para elucidar esta característica.

Um aluno acaba de sair de uma aula de história, onde o conteúdo estudado foi a independência do Brasil. Ele pega o ônibus para ir para casa e, ao passar por uma praça, seu tablet recebe uma notificação. O AFVA está o avisando que naquela praça existe um busto de Dom Pedro I, fornecendo diversas informações contextualizadas relacionadas à independência do Brasil. Minutos depois, o ônibus passa pela biblioteca municipal e o Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem sugere ao aluno uma lista de obras sobre a independência do Brasil e sobre a vida de Dom Pedro I. Mais tarde, já em casa, o aluno é lembrado de suas tarefas para o dia seguinte, recebendo, como auxílio, as informações coletadas ao longo do dia a respeito da independência do Brasil.

Sendo assim, um AFVA deve se valer de elementos reais/físicos (como informação de posicionamento global, grupos com os quais esteve, atividades que realizou, por exemplo) para contextualizar a aprendizagem do estudante ao longo dos diferentes espaços físicos em que ele atue, e de elementos virtuais (como imagens, vídeos, animações, etc). Dessa forma, pretende-se que um AFVA possa prover um alto grau de engajamento do aluno, passando a fazer parte do seu dia-a-dia.

3.1.3. Modelo conceitual para AFVAs

A fim de definir uma terminologia que especifique os conceitos envolvidos em um AFVA, este trabalho parte do modelo conceitual proposto para AVAs (DONGMING XU, 2005), o qual foi apresentado na Seção 2.2.2. A Figura 8 apresenta este modelo adaptado, agora sob a ótica dos AFVAs. O modelo também é relacionado com uma

engine de implementação, que será responsável por implementar os conceitos descritos pelo modelo. A plataforma Toogle será apresentada, na próxima seção, como uma possível *engine* de implementação.

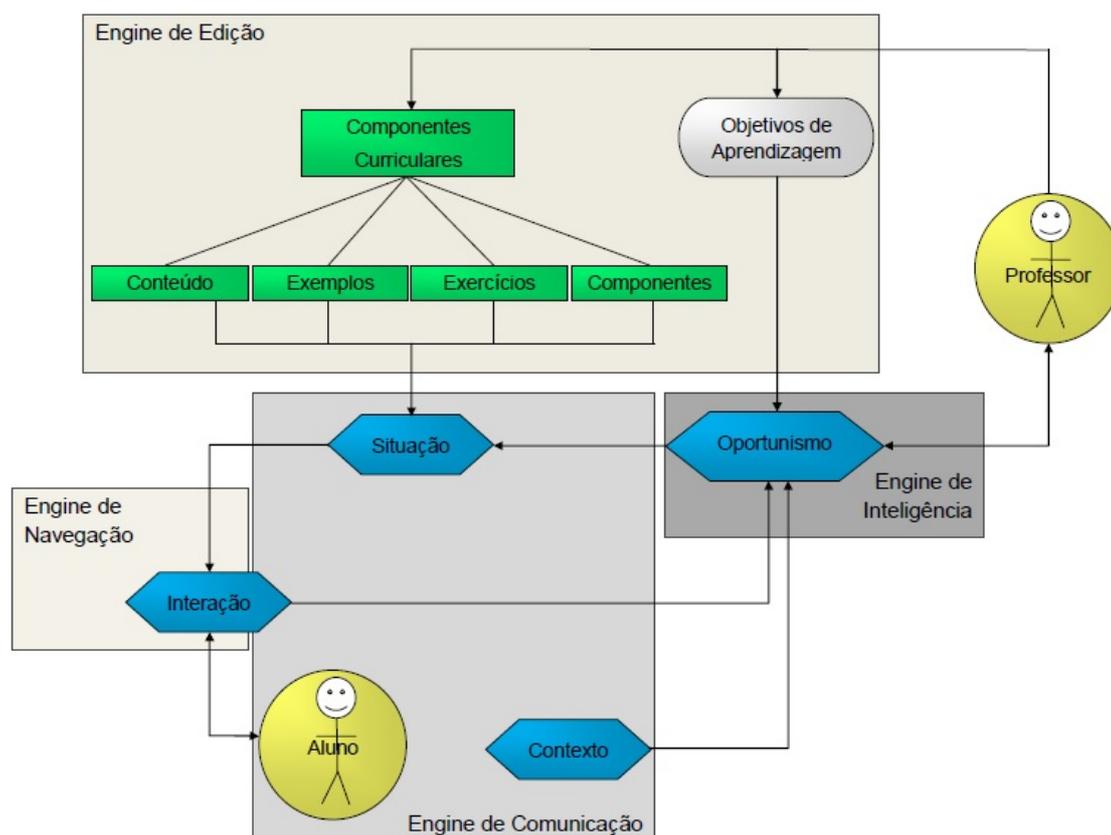


Figura 8: Modelo Conceitual para um AFVA

A seguir detalha-se cada módulo de um AFVA, apresentando-o através da sua descrição.

Aluno e Contexto

Descrição. Os alunos continuam sendo atores que, para aprender, interagem com o ambiente. A necessidade de um conhecimento prévio do aluno, para que a aprendizagem possa acontecer, permanece e as oportunidades de interação disponíveis se intensificam em um AFVA, já que elementos físicos podem ser agregados aos elementos curriculares virtuais. O contexto também contribui nos momentos de aprendizagem, podendo inclusive, junto com o aluno, estabelecer novos componentes curriculares.

Professores

Descrição. Instrutores/professores continuam atuando como mediadores criativos do processo de aprendizagem em AFVAs. Uma vez que são responsáveis pela elaboração dos currículos, pela determinação dos objetivos de aprendizagem e por mediar as situações de oportunidade disponibilizadas para os alunos, os professores precisam estar atualizados com as possibilidades de criação de novas formas de conteúdo que se utilizem de elementos físicos e virtuais combinados.

Situação

Descrição. Semelhante a proposta para os AVAs, a entidade Situação de um AFVA procura formalizar o contexto das situações de aprendizagem através da abordagem STRIPS, apresentada no capítulo anterior, e oferecer novos contextos para o ensino dos alunos. A principal diferença está no fato de que, em ambientes físico-virtuais de aprendizagem, as situações de aprendizagem sugeridas aos alunos podem envolver objetos do mundo físico.

Em um AFVA, um aluno pode se deparar com diferentes tipos de situações, que envolvem eventos no mundo virtual e/ou no mundo real. Como exemplo, poderíamos ter disponível para um aluno, a seguinte ação, com suas pré-condições (definem as condições que precisam ser satisfeitas para que uma ação aconteça):

ação (aluno, Receber-Mensagem-sobre-Dom-Pedro-I)
 pré((aluno,Receber-Mensagem-sobre-Dom-Pedro-I), Posição(Praça))

Isso significa que a pré-condição para o evento “Receber-Mensagem-sobre-busto-de-Dom-Pedro-I” é que a posição do aluno esteja próxima a praça.

Oportunismo

Descrição. Em um AFVA, o modelo de Oportunismo deve continuar indicando as possibilidades de situações para o desenvolvimento de atividades de aprendizagem relevantes. Uma vez que o modelo de Oportunismo adapta novas situações a partir das interações prévias do aluno, no AFVA este modelo deve estar preparado para perceber as novas formas de interação, bem como para sugerir os novos tipos de situações (que

envolvam elementos físicos e virtuais). Este modelo também pode se utilizar de informações do contexto do aluno para estabelecer as sugestões de novas situações.

Interação

Descrição. Para um processo de aprendizagem adequado, um AFVA deve proporcionar espaços de interação que permitam a mistura de elementos físicos e virtuais. O aluno também deve ser capaz de interagir com o professor, com outros alunos e com o conteúdo, mesmo que não esteja fisicamente no ambiente. Em AFVAs, as ações do aluno (nos espaços físicos e virtuais) devem ser capturadas de várias maneiras, para que seus estados cognitivos sejam percebidos, permitindo que novas situações de aprendizagem sejam oferecidas adequadamente.

Objetivos de Aprendizagem

Descrição. Assim como no caso de AVAs, em um AFVA, o professor é responsável pela mediação do processo de aprendizagem e pode indicar o foco das atividades a partir da definição dos objetivos de aprendizagem. A partir da formalização de um estado futuro de aprendizagem ideal, o AFVA pode auxiliar o professor a traçar planos que coloquem os aprendizes em situações que, caso realizadas, promovam a aprendizagem desejada.

Componentes Curriculares

Descrição. O modelo Componentes Curriculares permanece responsável por armazenar as informações do currículo, no entanto, em um AFVA, o professor pode desenvolver uma série de novos objetos de aprendizagem mais específicos que se utilizem dos elementos físico-virtuais do ambiente. Um AFVA deve prover facilidade para criação de conteúdos, exemplos e exercícios interativos, que promovam a integração dos espaços físico e virtual, nas diversas situações de aprendizagem envolvidas.

3.2. A Plataforma Toogle

A seguir, é descrita a plataforma Toogle, proposta por Amaral (2013) e aprimorada nesta tese, e que tem o intuito de implementar sistemas físico-cibernéticos.

3.2.1. Requisitos

A plataforma tem por finalidade atender aos requisitos listados a seguir, que estão relacionados ao quadro comparativo apresentado no Capítulo 2 e aos desafios de implantação dos sistemas físico-cibernéticos.

1. **Informação Multi-Modal:** a plataforma é capaz de integrar informações multissensoriais nos/dos ambientes, como sons, vídeos, textos, animações 3D, etc;
2. **Edição e Navegação:** a Toogle permite a criação, edição e navegação de sistemas físico-cibernéticos, inclusive possibilitando a interação entre os usuários;
3. **Percepção:** através do uso de tecnologias, como grid de sensores, a plataforma possui a capacidade de monitorar e armazenar as atividades que ocorrem nos espaços físicos e/ou virtuais;
4. **Heterogeneidade:** a Toogle dá suporte a diferentes tipos de sensores e atuadores, de diferentes fabricantes;
5. **Abstração semântica:** a plataforma é capaz de prover abstração semântica, tratando as informações de diferentes naturezas, permitindo o acesso fácil e intuitivo aos indivíduos.
6. **Modularidade:** a implementação da plataforma se deu de forma modular, para melhor organização e facilitação de testes. A evolução das etapas de desenvolvimento da plataforma também é otimizada ao se adotar uma abordagem modular;
7. **Verificação, Validação e Simulação:** a plataforma é capaz de simular grandezas físicas associadas a elementos físicos presentes no mundo real. A

partir disso, poderá se validar e verificar a plataforma quanto ao comportamento dos elementos que nela estão presentes.

8. **Inteligência:** a Toogle, a partir da aquisição de informações de contexto, provê algum nível de inteligência para o ambiente.

3.2.2. Modelo conceitual para sistemas Físico-cibernéticos e Hiperambientes

A proximidade das dificuldades encontradas nas áreas de IoT e CPS, como a necessidade de comunicação entre dispositivos heterogêneos e abstração semântica, permitiram a adoção, neste trabalho, de uma abordagem semelhante ao modelo de Serbanati et al. (2011). A Figura 9 apresenta um modelo conceitual adaptado para descrever CPSs.

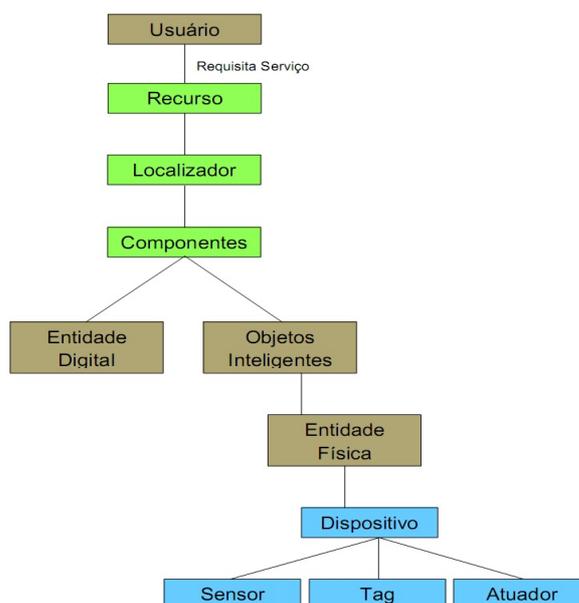


Figura 9: Modelo conceitual para CPS (adaptado de Serbanati et al., 2011)

Em geral, pode-se entender que um ambiente físico-cibernético é formado por *componentes*, que ou são *Objetos Inteligentes* ou são *Entidades Digitais*. Esses *componentes* possuem um *Localizador* (para serem acessados), *propriedades* (informações a respeito do que representam) e *recursos* (aplicações que recuperam ou modificam *propriedades*).

Dessa forma, propõe-se a seguir a definição de hiperambientes, introduzida inicialmente por Amaral (2013):

Um hiperambiente é a formalização necessária para implementação de um sistema físico-cibernético que possui componentes (Objetos Inteligentes e/ou Entidades Digitais) e objetivos definidos, onde os objetivos são instâncias desejáveis para as propriedades dos componentes existentes.

Através do *hiperambiente*, também é possível obter o estado do mundo/ambiente em um determinado momento, a partir dos valores correntes das propriedades de todos componentes existentes.

O *hiperambiente* utiliza o protocolo *EEML*, apresentado na Seção 2.1.1.2, para descrever os *componentes* através de suas *propriedades* e *recursos*. A seguir são apresentados alguns campos do formalismo, os quais existem para todos os componentes. A capacidade de extensão do protocolo permite que novos campos sejam utilizados para descrever propriedades e recursos adicionais.

- **Environment:** contém os dados de identificação do ambiente;
- **Title:** contém o nome do ambiente;
- **Description:** apresenta uma descrição do ambiente;
- **Location:** identifica um local pertencente ao ambiente;
- **Component:** representa um componente do hiperambiente;
- **Data:** descreve as propriedades e/ou recursos dos componentes.

3.2.3. Arquitetura da plataforma

A Figura 10 apresenta a arquitetura da plataforma Toogle, proposta para implementação de sistemas físico-cibernéticos, a qual baseia-se no modelo conceitual apresentado. A plataforma permite perceber e monitorar os objetos do mundo físico, bem como atuar neste, e seus módulos são descritos a seguir.

O Toogle Editor é composto por ambiente web, que permite ao usuário duas operações básicas para criação e edição de *hiperambientes*:

- **Criação/Edição/Remoção de componentes:** possibilita a inclusão ou remoção de *componentes* no *hiperambiente*, bem como a definição de suas *propriedades* e *recursos*;
- **Criação de Objetivos:** o módulo ainda apresenta a possibilidade de que se edite um conjunto de objetivos associados ao ambiente, que são utilizados no módulo Middleware e Componentes e serão explicados posteriormente.

Como pode ser visto na Figura 11, o módulo tem acesso a uma biblioteca de objetos 3D e *drivers* para serem utilizados com as propriedades e recursos criados.

A Figura 12 apresenta a interface web do Editor Toogle, a qual possui diferentes regiões definidas para se incluir e modificar os atributos de um *componente* (*propriedades* e *recursos*) e para estabelecer os objetivos do ambiente.

Figura 12: Toogle Editor

Após serem definidos os *componentes* e os *objetivos*, o módulo Editor pode encaminhar a efetiva criação do ambiente. Para isso, os *componentes*, as *propriedades*, os *recursos* e os *objetivos* são descritos como um *hiperambiente*, que será utilizado pelo módulo Middleware e Componente na criação efetiva do *hiperambiente*. A Figura 13 apresenta a estrutura dessa descrição.

```

▼<eeml xmlns="http://www.eeml.org/xsd/0.5.1" xmlns:xsi
http://www.eeml.org/xsd/0.5.1/0.5.1.xsd">
  ▼<environment updated="" creator="" id="">
    <title/>
    <description/>
    ▼<location exposure="" domain="" disposition="">
      <name/>
      <lat/>
      <lon/>
      <ele/>
    </location>
    ▼<component id="">
      ▼<data id="">
        <current_value at=""/>
        <unit symbol="" type=""/>
      </data>
    </component>
  </environment>
</eeml>

```

Figura 13: Estrutura do hiperambiente

Middleware e Componentes:

Este módulo é responsável por propiciar o acesso às diferentes *propriedades* e serviços dos *componentes* do ambiente físico-cibernético, através de um sistema de troca de mensagens. Uma vez que os serviços de recuperação e modificação de informações dos *componentes* envolvem dispositivos heterogêneos, o módulo Middleware e Componentes tem a incumbência de tornar viável e prática a comunicação entre tais equipamentos, proporcionando abstração aos desenvolvedores.

A Figura 14 demonstra um esquemático da arquitetura da plataforma, expandindo o módulo Middleware e Componentes. Após um hiperambiente ser definido no Editor Toogle, este módulo cria cada um dos *componentes* existentes. A seguir são apresentadas cada uma das entidades envolvidas neste módulo.

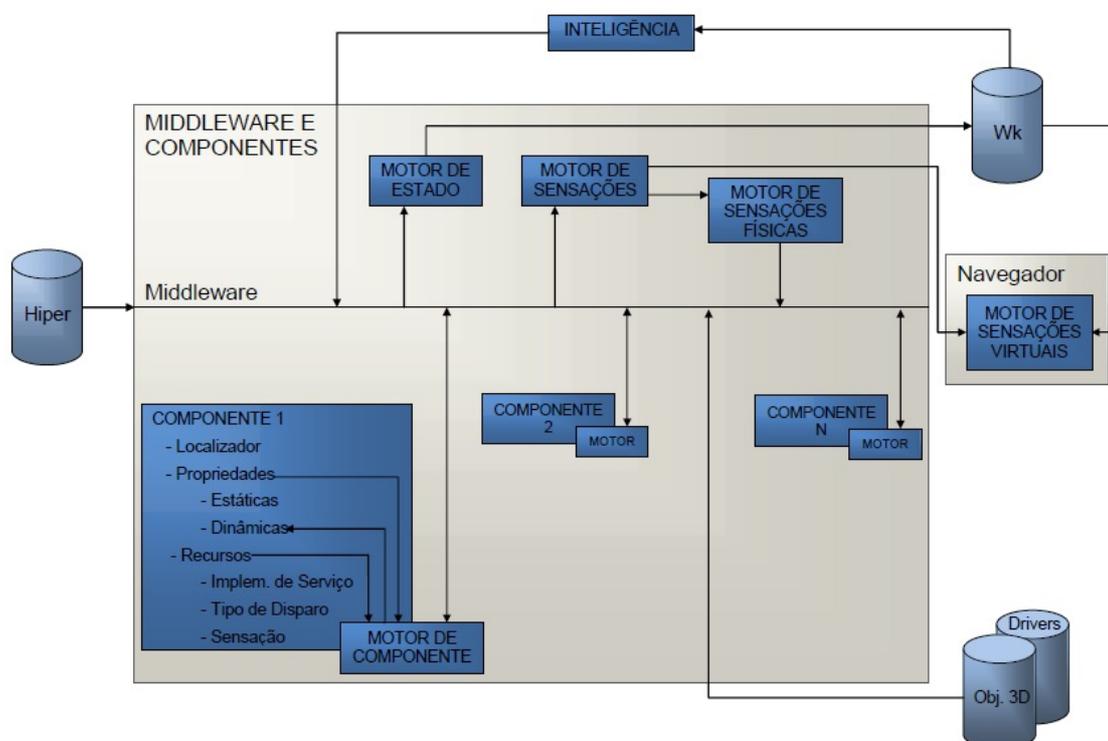


Figura 14: Arquitetura Toogle – Middleware e Componentes

Componentes: um *componente* é constituído de um *localizador*, de *propriedades* e de *recursos*.

As *propriedades* são características do *componente* e podem ser:

- **Estáticas:** quando seu valor é constante;
- **Dinâmicas:** quando sua informação é atualizada em alguma frequência por um *recursos*.

Os *recursos* são ações que o *componente* pode realizar, disponibilizando-as ao *hiperambiente* para modificação de suas *propriedades*. Algumas características dos *recursos* são:

- **Implementação de serviço:** podem implementar/disponibilizar serviços para todos *componentes* do ambiente;
- **Tipo de disparo:** podem ser disparados pela própria plataforma ou estar continuamente percebendo/monitorando uma ação ocorrida no mundo físico;
- **Sensações:** podem prover sensações ao usuário.

Com relação à disponibilização de *recursos*, a plataforma possui um banco de *recursos* com implementações pré-definidas (*drivers*) que disponibilizam serviços.

Também existe na Toogle um banco de objetos 3D que podem ser utilizados junto às *propriedades* de representação 3D de um *componente*.

Todo *componente* possui um Motor de Componentes que apresenta basicamente três funções:

- Prover as *propriedades* do próprio *componente* ao Motor de Estados;
- Atualizar as *propriedades* dinâmicas do *componente* requisitando *recursos* na frequência definida;
- Implementar e disponibilizar os recursos através de processos.

Motor de Estados: é responsável por receber as *propriedades* de todos os *componentes* e descrever o *hiperambiente* em cada instante do mundo, gerando o estado do mundo no tempo corrente (W_k). A Figura 15 apresenta uma descrição do estado do mundo em um tempo k .

```

▼<eeml xmlns="http://www.eeml.org/xsd/0.5.1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
http://www.eeml.org/xsd/0.5.1/0.5.1.xsd">
  ▼<environment updated="2014-09-04T15:41:31.02" creator="Toogle" id="1">
    <title>Furg</title>
    <description>Hiperambiente Furg</description>
    ▼<location exposure="indoor" domain="physical" disposition="fixed">
      <name>Prédio C3</name>
      <lat>-32.4654</lat>
      <lon>-52.1421</lon>
      <ele>0.0</ele>
    </location>
    ▼<component id="0">
      ▼<data id="Nome">
        <current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">Aluno</current_value>
      </data>
      ▼<data id="Representação3D">
        ▼<current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">
          https://dl.dropboxusercontent.com/s/op0q5od26e2p0gd/simple_girl2.6.js
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Posição">
        <current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">Prédio C3</current_value>
      </data>
    </component>
  </environment>
</eeml>

```

Figura 15: Hiperambiente no tempo k

É possível notar pela Figura 15 que no tempo k , no *hiperambiente Furg*, existe um local chamado *Prédio C3* e um *componente Aluno*, cujo a representação 3D é descrita, bem como sua posição.

Motor de Sensações: recebe as requisições dos *recursos* associados às sensações e encaminha para um dos motores responsáveis:

- **Motor de Sensações Físicas:** responsável por tratar *recursos* que reproduzam sensações físicas no ambiente como, por exemplo, um recurso que dispare um odor no ambiente físico.
- **Motor de Sensações Virtuais*:** responsável por lidar com *recursos* que reproduzam sensações virtuais como, por exemplo, a apresentação de um arquivo PDF. Este motor está presente no módulo Navegador e será descrito posteriormente.

Middleware: o acesso às *propriedades* e *recursos* pertencentes a cada *componente* é feito por um middleware que fornece abstração de hardware, *drivers* para inúmeros dispositivos, ferramentas e bibliotecas para troca de mensagens. O middleware é implementado atualmente pelo ROS (Robot Operating System) (QUIGLEY et al., 2009). O ROS é um framework para o desenvolvimento de aplicações robóticas, o qual disponibiliza uma infraestrutura de troca de mensagens (por requisições/serviços ou por tópicos), drivers para diferentes dispositivos e um conjunto de ferramentas para robótica.

Inteligência do Ambiente:

Este módulo é responsável por prover diferentes tipos de inteligência ao sistema. Para um melhor entendimento deste módulo, cabe retomar aqui o conceito de *hiperambiente*: um locus que possui componentes físicos e virtuais e que visa alcançar um conjunto de objetivos. Como já mencionado, esses objetivos são instâncias desejáveis para as *propriedades* dos *componentes* existentes no *hiperambiente*.

A Toogle, através do módulo de Inteligência do Ambiente (Figura 16), surge como sistema capaz de propiciar a existência destes objetivos. Este módulo aproveita o formalismo de descrição de CPS para fornecer um conjunto ordenado de *recursos* (ações) que conduzirão o *hiperambiente* ao alcance dos objetivos.

* Cabe ressaltar que esta diferenciação entre sensações física e virtual decorre somente de aspectos relativos à implementação atual do sistema. Com o objetivo de facilitar o entendimento da proposta e a organização da arquitetura, atribui-se o conceito de sensação virtual aos processos interativos associados diretamente à interface de navegação web da plataforma.

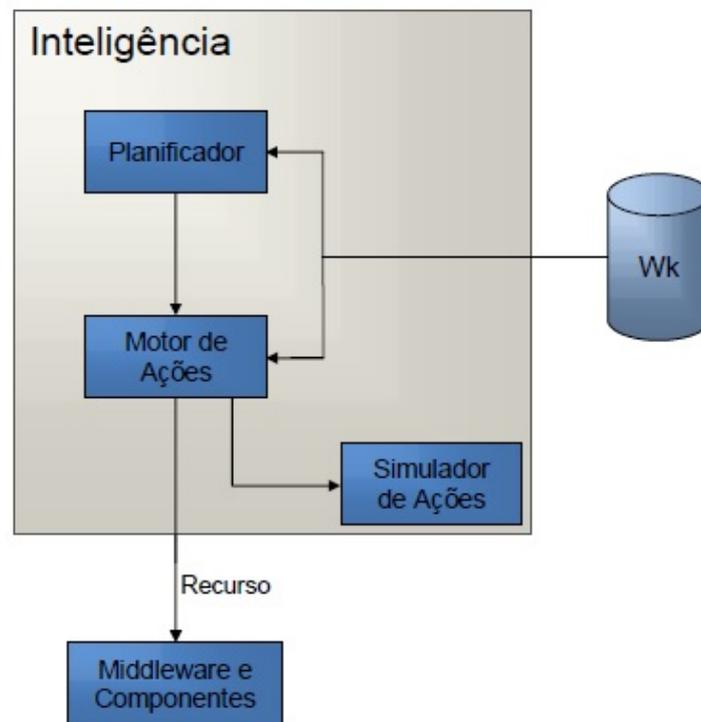


Figura 16: Arquitetura Toogle – Inteligência

Para tal é utilizado um planejador que busca, a partir da descrição de um estado inicial do ambiente (W_0), chegar em um estado final, o qual é definido pelos objetivos do ambiente. Para isso, um conjunto de ações (execuções de *recursos*) são planejados. O Motor de Ações verifica a possibilidade de disparo da execução dos recursos planejados, disparando-os no módulo Middleware e Componentes nos momentos determinados (quando as pré-condições são satisfeitas).

O módulo Inteligência da Toogle se propõe a transformar a descrição do hiperambiente, feita no módulo Middleware e Componentes, em uma formalização STRIPS, planejando as ações, a fim de que os objetivos sejam atingidos.

É importante notar que a formalização dos ambientes físico-cibernéticos através de STRIPS pode ser relacionada diretamente com a arquitetura proposta neste capítulo. As propriedades dos *componentes* podem ser vistas como os estados da abordagem STRIPS (informações sobre o mundo/ambiente). Já os *recursos* existentes nos *componentes* funcionam como as ações disponíveis nas STRIPS.

A Toogle utiliza atualmente o pyperplan (PYPERPLAN, 2012), o qual constitui-se em uma implementação de um planejador STRIPS escrito na linguagem Python. O pyperplan utiliza a linguagem PDDL (Planning Domain Definition Language) para descrever um problema de planejamento. A PDDL separa a descrição do problema em duas partes principais:

- Descrição do domínio: descreve uma série de elementos (tipos, predicados, ações, etc) que podem ser utilizado por diversos problemas. A Figura 17 apresenta um exemplo de descrição de domínio para um problema de planejamento das disciplinas a serem cursadas por um aluno. Nesta descrição existem predicados, que definem se uma disciplina já foi cursada por um aluno ou não, e ações, que planejam que uma disciplina deva ser cursada.
- Descrição do problema: define um problema de planejamento específico. A Figura 18 apresenta a descrição do problema exemplo citado na descrição do domínio, onde podem ser vistas as definições dos objetos existentes, o estado inicial e os objetivos do problema.

O pyperplan executa o planejamento, tendo como parâmetros de entrada as descrições mencionadas acima, e gera, como saída, as ações planejadas para solução do problema. A Figura 19 apresenta a solução para o exemplo anterior, constituída das ações cursar que foram planejadas para as três disciplinas.

```

1 (define (domain EXEMPLO-Propositional)
2 (:requirements :strips :typing)
3 (:types aluno disciplina - object)
4
5 (:predicates
6     (cursado ?aluno1 - aluno ?disc1 - disciplina)
7     (naocursado ?aluno1 - aluno ?disc1 - disciplina)
8 )
9
10 (:action cursar
11 :parameters (?aluno1 - aluno ?disc1 - disciplina)
12 :precondition (naocursado ?aluno1 ?disc1)
13 :effect (and
14     (cursado ?aluno1 ?disc1)
15     (not (naocursado ?aluno1 ?disc1))
16 )
17 )
18 )

```

Figura 17: Pyperplan - Descrição do domínio

```
1 (define (problem Exemplo)
2 (:domain EXEMPLO-Propositional)
3 (:objects
4   disciplina1 disciplina2 disciplina3 disciplina4 - disciplina
5   aluno1 aluno2 aluno3 - aluno
6 )
7 (:init
8   (cursado aluno1 disciplina1)
9   (naocursado aluno1 disciplina2)
10  (naocursado aluno1 disciplina3)
11  (naocursado aluno1 disciplina4)
12 )
13
14 (:goal (and
15   (cursado aluno1 disciplina1)
16   (cursado aluno1 disciplina2)
17   (cursado aluno1 disciplina3)
18   (cursado aluno1 disciplina4)
19 )
20 )
21 )
```

Figura 18: Pyperplan - Descrição do problema

```
1 (cursar aluno1 disciplina3)
2 (cursar aluno1 disciplina2)
3 (cursar aluno1 disciplina4)
```

Figura 19: Pyperplan - Solução do problema

O módulo Inteligência ainda prevê um Simulador de Ações, que permite simular as ações (execução de *recursos*) planejadas. Por exemplo, a Figura 20 apresenta um componente chamado “Carro”, que pode ter a ação de mover simulada, fazendo com que o carro se mova no ambiente virtual.

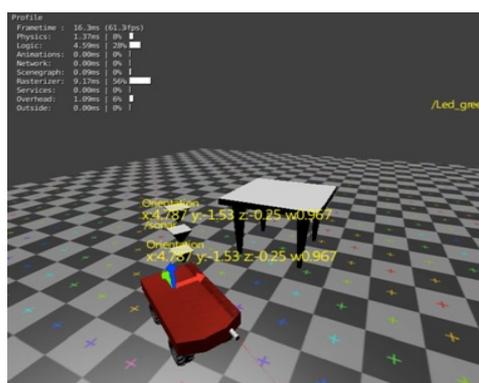


Figura 20: Simulação física do Objeto Inteligente “Carro”

Toogle Navegador:

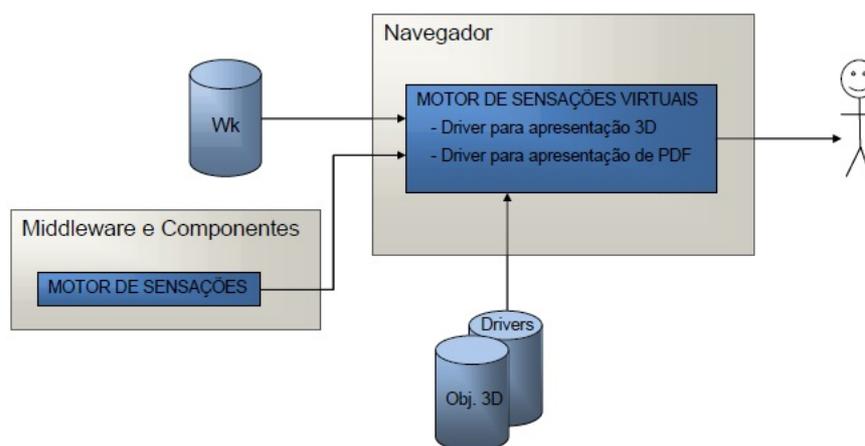


Figura 21: Arquitetura Toogle – Navegador

O módulo Toogle Navegador (Figura 21) possibilita que o usuário interaja com o hiperambiente por meio de suas sensações.

Um Motor de Sensações Virtuais utiliza drivers do banco de *recursos* que tratam de prover diferentes sensações para o usuário. Existem *drivers* para a representação

de *propriedades* dos *componentes* e *drivers* para apresentação de *recursos*. Atualmente dois *drivers* são implementados:

- **Driver para apresentação 3D**: representa todos os *componentes* do *hiperambiente* que possuam a *propriedade* “Modelo 3D”, em suas posições, em um ambiente virtual web.
- **Driver para apresentação de arquivo PDF**: lida com os *recursos* de apresentação de PDF que são disparados/implementados no módulo Middleware e Componentes e apresenta o arquivo para o usuário.

O módulo navegador recebe informações do estado do mundo para representar, a cada instante, as *propriedades* dos *componentes*, como, por exemplo, no caso dos *drivers* para apresentação 3D. O navegador ainda se comunica com o módulo middleware e componentes quando o motor de sensações virtuais trata de *recursos* associados a sensações.

Diferentes *drivers* para o tratamento de sensações obtidas no mundo virtual, como as relacionadas a visualização (ambientes 3D, estereoscópicos e multi-projetivos) e audição, ainda podem ser implementados.

A Figura 22 mostra o Toogle Navegador sendo executado através de seu *driver* para apresentação 3D.



Figura 22: Toogle Navegador

3.3. Toogle como engine para implementação de AFVAs

Nesta tese, a plataforma Toogle foi desenvolvida de forma a implementar ambientes físico-cibernéticos e vem sendo aplicada, testada e validada em alguns estudos de caso (AMARAL, 2013; FILHO et al., 2013). Sendo assim, propõe-se uma reflexão a fim de se definir claramente a proposta aqui apresentada: como, através da Toogle, pode-se implementar um ambiente educacional, onde aspectos físicos e virtuais sejam modelados e integrados de forma a contribuir na aprendizagem dos sujeitos? A resposta a esta pergunta pretende ser dada a seguir, relacionando o modelo conceitual para AFVAs e a plataforma Toogle.

Cada um dos quatro módulos da plataforma Toogle foi responsável por implementar as *engines* do modelo conceitual para AFVAs, conforme os relacionamentos a seguir:

Engine de Edição → Editor Toogle
Engine de Navegação → Navegador Toogle
Engine de Comunicação → Middleware e Componentes
Engine de Inteligência → Inteligência Toogle

A seguir, retoma-se cada módulo dos AFVAs (Figura 8), relacionando a *engine* de implementação à plataforma Toogle.

Aluno e Contexto

Implementação - Toogle Middleware e Componentes/Usuário. Todos elementos (alunos, professores, objetos de aprendizagem, locais, etc) existentes no AFVA, implementados pela Toogle, são classificados como componentes (associados ao espaço virtual e/ou ao espaço físico). Os alunos e seus contextos são formalizados e abstraídos no módulo Middleware e Componentes como sendo formados por componentes que contém localizador, propriedades e recursos. Os alunos também são os usuários na arquitetura Toogle, recebendo informações dos motores de sensações.

Professores

Implementação – Usuário. Os professores são os usuários que atuam no Editor Toogle para criar os componentes Toogle (componentes curriculares) e definir os objetivos de aprendizagem. Para fornecer um elemento curricular, o professor pode escolher um objeto de aprendizagem de um banco de componentes. Já para estipular os objetivos de aprendizagem, é preciso realizar os seguintes procedimentos: o professor indica valores alvo para propriedades de componentes do hiperambiente, os quais configurarão um estado futuro do ambiente que se almeja chegar. Em um exemplo simplificado, o professor poderia indicar, um componente curricular/conteúdo como um arquivo PDF associado a uma localização do mundo físico (como uma praça, por exemplo) e um objetivo de aprendizagem como a propriedade de visualização do componente devendo ser verdadeira, para que o aluno tenha que visualizar este componente e sua aprendizagem seja possível.

Situação

Implementação - Toogle Middleware e Componentes. As situações são implementadas pelo módulo Middleware e Componentes na Toogle, uma vez que são formadas por ações/recursos existentes em componentes Toogle. O motor de estados da Toogle é responsável por capturar e prover as situações no ambiente.

Oportunismo

Implementação - Toogle Inteligência. O modelo de Oportunismo é implementado pelo módulo Inteligência da Toogle. Ele é capaz de, a partir do contexto do aluno (formalizadas pelo módulo Middleware e Componentes), de suas interações anteriores e dos objetivos de aprendizagem estabelecidos, planejar uma série de situações possíveis para que se possa chegar a um estado final de aprendizagem almejado. O motor de ações da Toogle é responsável por verificar quais recursos (situações) devem ser disparados ao aluno, a partir de um plano estabelecido.

Interação

Implementação - Toogle Navegador/Motores de estado e de sensações. As interações são implementadas na Toogle através dos motores de estados e de

sensações. A partir da captura do estado do mundo pelo motor de estados, a Toogle provê interação para o usuário através do navegador, com seu motor de sensações. Esse navegador é capaz de permitir aos alunos e professores, experiências multimodais com os objetos de aprendizagem físico-virtuais das situações apresentadas, como por exemplo, através dos drivers para apresentações 3D, do motor de sensações virtuais.

Objetivos de Aprendizagem

Implementação - Toogle Editor/Toogle Middleware e Componentes. Através do Editor Toogle, é possível ao professor a determinação dos objetivos de aprendizagem. Uma vez estabelecidos no Editor, os objetivos são formalizados no módulo Middleware e Componentes e poderão ser utilizados pelo modelo de Oportunismo para o planejamento das situações.

Componentes Curriculares

Implementação - Toogle Editor/Toogle Middleware e Componentes. Os componentes curriculares são implementados por componentes Toogle no módulo Middleware e Componentes e suas criações e edições são feitas pelo Editor Toogle.

3.4. Considerações finais

O Capítulo 3 apresentou um modelo conceitual para trabalhar com Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem. Os requisitos, conceitos e características foram definidos.

A plataforma Toogle, proposta para desenvolver sistemas físico-cibernéticos, também foi apresentada. A plataforma possui uma série de requisitos e foi construída através de quatro módulos que permitem criar, editar e executar ambientes que integram elementos físicos e virtuais.

Na Seção 3.3, a maneira pela qual os AFVAs podem ser implementados através da Toogle foi analisada.

O capítulo seguinte se propõe a apresentar dois estudos de caso, a fim de testar e validar, tanto a plataforma Toogle, quanto a proposta de AFVAs.

Capítulo 4

TESTES, RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de testar e validar a proposta aqui apresentada, foram desenvolvidos dois estudos de caso. O primeiro procura avaliar a plataforma Toogle como ferramenta capaz de implementar CPSs. Já o segundo estudo de caso, tem como intenção avaliar a proposta de Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem e sua capacidade de integrar redes de sensores e atuadores, de forma a prover diferentes níveis de interação real-virtual em situações de aprendizagem.

4.1. Estudo de caso 1

O primeiro estudo de caso visou validar a plataforma Toogle quanto às possibilidades de criação e execução de CPSs. A seguir, apresenta-se a descrição de um cenário criado para o estudo:

A Universidade Federal do Rio Grande possui o projeto Portas Abertas, o qual tem o objetivo de divulgar a universidade para a comunidade interessada. Pretende-se nesse projeto que os visitantes possam visitar os principais locais do campus carreiros, recebendo informações em seus smartphones e tablets. Além disso, almeja-se a construção de um ambiente virtual, através do qual os visitantes possam navegar pelo campus.

A partir dessa breve elucidação, foi desenvolvido o ambiente físico-cibernético *Portas Abertas*, que é descrito a seguir. Três locais da universidade foram escolhidos para esta primeira implementação: Centro de Ciências Computacionais, Centro de Convivência e Biblioteca. A Figura 23 apresenta uma foto aérea da universidade, com os três locais demarcados.



Figura 23: Universidade Federal do Rio Grande (imagem Google)

Criação dos componentes através do Editor Toogle

O desenvolvimento do ambiente teve seu início pela criação dos *componentes*. A plataforma, sendo uma ferramenta para descrição e uso de CPS, parte de duas premissas importantes para criar um *hiperambiente*:

- Toda criação de *hiperambiente* inicia-se pela inserção de um referencial inercial, que é um modelo 3D previamente construído e que passa a atuar como referência espacial para todas novas inserções de *componentes*;
- Todo *componente* existente no hiperambiente pode ser associado a uma representação 3D e possui um conjunto de *propriedades* preestabelecidas.

A Figura 24 apresenta um modelo 3D do prédio do Centro de Ciências Computacionais, que foi inserido como referencial inercial para o estudo de caso aqui apresentado.



Figura 24: Modelo 3D do prédio do Centro de Ciências Computacionais

Após, os outros dois locais foram inseridos como *componentes*, no editor Toogle. As Figuras 25 e 26 apresentam os modelos 3D dos dois locais. Cabe ressaltar que esses dois modelos foram baixados de um banco de objetos 3D presente na internet (BLENSWAP, 2009).

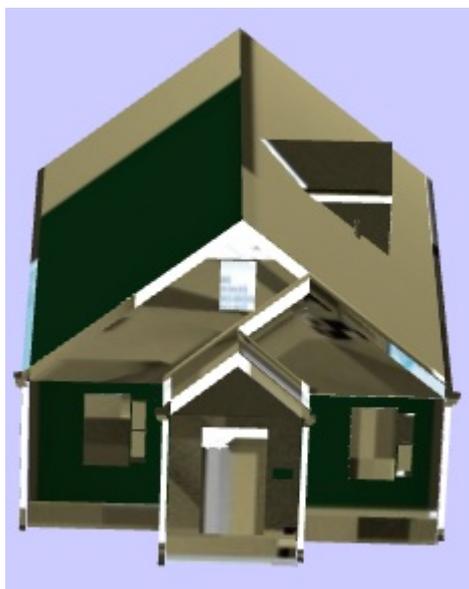


Figura 25: Modelo 3D do prédio do Centro de Convivência

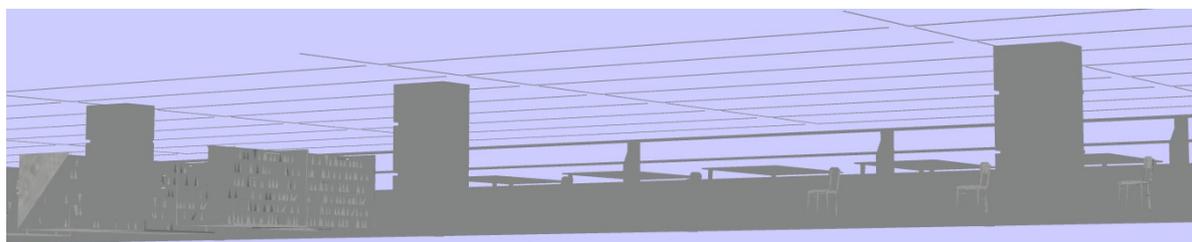


Figura 26: Modelo 3D do prédio da biblioteca

Cada *componente* existente no ambiente foi criado, com suas *propriedades* e *recursos*. A Figura 27 apresenta, como exemplo, a criação de um *componente* do ambiente *Portas Abertas*, através do Editor Toogle.

← → ↻ 🏠 localhost/Toogle/Editor/Editor%20Toogle.html#

Editor Web de Hiperambiente

Crie e adicione componentes ao hiperambiente:

[Inserir Componente](#) - [Inserir Objetivos](#)

[Adicionar Componente](#)

Componente - Propriedades

Nome do Componente

Modelo3D

Textura3D

Posição real

Posição

TipodeObj

Visitado

[Remover Propriedade](#)

[Adicionar Propriedade](#)

Recursos

Nome driver

Figura 27: Criação de componente no estudo de caso 1 - Editor Toogle

A Figura 28 apresenta a descrição de todos *componentes* criados para o estudo de caso: Prédio do Centro de Ciências Computacionais, Centro de Convivência, Biblioteca e Visitante.

Componente	
Propriedades	
Nome	Prédio C3
Modelo 3D	dropbox.com/predioc3.js
Posição Real	-32,325;-52,734
Posição	0; 0
Tipo	Local
Visitado	FALSO
Recursos	
Nome	Enviar Informações C3
Implementação	Enviar PDF

Componente	
Propriedades	
Nome	Biblioteca
Modelo 3D	dropbox.com/biblio.js
Posição Real	-32,518;-52,334
Posição	25; -31,22
Tipo	Local
Visitado	FALSO
Recursos	
Nome	Enviar Informações Biblio
Implementação	Enviar PDF

Componente	
Propriedades	
Nome	Centro de Convivências
Modelo 3D	dropbox.com/cc.js
Posição Real	-32,412;-52,624
Posição	14,20; 11,37
Tipo	Local
Visitado	FALSO
Recursos	
Nome	Enviar Informações CC
Implementação	Enviar PDF

Componente	
Propriedades	
Nome	Visitante
Modelo 3D	dropbox.com/avatar.js
Posição	Smartphone.GPS_Posição
Tipo	Pessoa

Figura 28: Descrição dos componentes - Estudo de caso 1

Como se pode ver pela Figura 28, os *componentes PrédioC3, Biblioteca e CentroConvivencias* possuem *propriedades* que identificam seu nome, seu modelo 3D, sua posição no mundo físico, sua posição no mundo virtual, seu tipo e se o *componente* já foi visitado. A propriedade “tipo”, por exemplo, possibilita a categorização dos *componentes*, sendo útil para utilização em implementações de *recursos* e *drivers*. Além disso, os três componentes ainda apresentam um *recurso* de envio de informação, que são implementados pelo *recurso Enviar PDF*, presente no banco de *recursos* da Toogle. Esse *recurso*, foi implementado para enviar um arquivo PDF a um visitante, através do motor de sensações virtuais, quando as *propriedades* de localização forem iguais. Para o estudo de caso, a ideia é que, quando a *propriedade* de “Posição” do visitante for igual a propriedade de “Posição” do *componente PrédioC3, Biblioteca ou CentroConvivências*, o arquivo PDF, associado ao *componente* em questão, seja enviado para o visitante, através do motor de sensações virtuais.

Também pode ser visto na Figura 28 o *componente* Visitante, que possui as *propriedades* que identificam seu nome, seu modelo 3D, sua posição e seu tipo. É importante perceber que a *propriedade Posição* é dinâmica e tem seu valor atualizado pelo recurso *GPS_Posição* do dispositivo *smartphone* em uma frequência de 0,1 Hz. Isso quer dizer que, a cada 10 segundos, a *propriedade* de posição do visitante é atualizada pelas informações do GPS de seu *smartphone*.

Durante a elaboração do ambiente físico-cibernético, estabeleceu-se os objetivos do ambiente. As propriedades “Visitado” dos *componentes PrédioC3, Biblioteca e CentroConvivências* foram definidas como “verdadeiro” nos objetivos. Isso implica que, quando essas três *propriedades* forem “verdadeiro”, o ambiente cumpriu seu objetivo.

Dessa forma, com a descrição dos *componentes* e a caracterização dos objetivos, produziu-se o hiperambiente (um arquivo XML contendo todas informações de forma organizada). Um trecho dessa descrição, para o estudo de caso apresentado, pode ser visto na Figura 29.

```

▼<eeml xmlns="http://www.eeml.org/xsd/0.5.1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
http://www.eeml.org/xsd/0.5.1/0.5.1.xsd">
  ▼<environment updated="2014-09-04T15:41:31.0Z" creator="Toogle" id="1">
    <title>Portas Abertas Furg</title>
    <description>Hiperambiente do projeto Portas Abertas Furg</description>
    ▼<component id="0">
      ▼<data id="Nome">
        <current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">Prédio C3</current_value>
      </data>
      ▼<data id="Modelo3D">
        ▼<current_value at="2014-09-14T18:03:17.233245Z">
          https://dl.dropboxusercontent.com/s/jmueh5xy1fd3ido/PredioC3.js
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Posição Real">
        ▼<current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">
          <lat>-32.4654</lat>
          <lon>-52.1421</lon>
          <ele>0.0</ele>
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Posição">
        ▼<current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">
          <x>0</x>
          <y>0</y>
          <z>0</z>
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Visitado">
        <current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">Falso</current_value>
      </data>
    </component>
    ▼<objetivos>
      <data id="Visitado">Verdadeiro</data>
    </objetivos>
  </environment>
</eeml>

```

Figura 29: XML - Estudo de caso 1

Criação efetiva dos componentes, comunicação e inteligência (Módulos Middleware e Componentes e Inteligência)

A partir da geração do arquivo XML, representando o hiperambiente do estudo de caso, o módulo Middleware e Componentes criou de fato todos os *componentes* na plataforma. Através deste módulo ocorreu toda comunicação dos *componentes*, sendo os *recursos* existentes em cada *componente* e dispositivos, implementados por tópicos e serviços do ROS. Por exemplo, o *recurso GPS_Posição*, do dispositivo smartphone, implementa um serviço ROS a partir da instalação de um aplicativo. Este *recursos* fica disponível para que o componente “Visitante” (um nó do ROS) possa requisitar e atualizar sua *propriedade Posição*.

Após a criação efetiva dos *componentes*, o estado inicial do *hiperambiente* foi enviado ao módulo Inteligência e formalizado de forma semelhante à Figura 29. A formalização do estado futuro do ambiente, gerada a partir dos objetivos, também foi enviada ao módulo Inteligência. A Figura 30 apresenta parcialmente essa representação. É importante notar o destaque da *propriedade Visitado*, que refere-se ao objetivo definido para o ambiente.

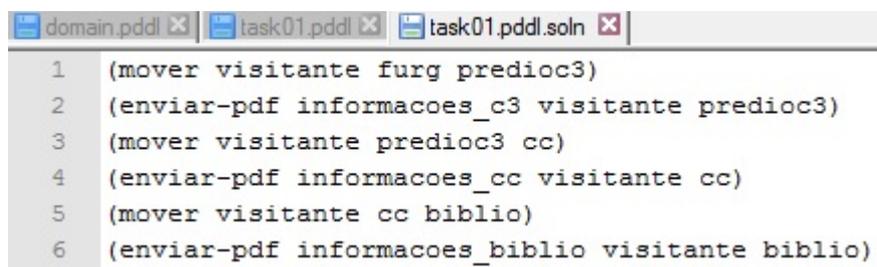
```

▼<eeml xmlns="http://www.eeml.org/xsd/0.5.1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/X
http://www.eeml.org/xsd/0.5.1/0.5.1.xsd">
  ▼<environment updated="2014-09-04T15:41:31.02" creator="Toogle" id="1">
    <title>Portas Abertas Furg</title>
    <description>Hiperambiente do projeto Portas Abertas Furg</description>
    ▼<component id="0">
      ▼<data id="Nome">
        <current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">Prédio C3</current_value>
      </data>
      ▼<data id="Modelo3D">
        ▼<current_value at="2014-09-14T18:03:17.233245Z">
          https://dl.dropboxusercontent.com/s/jmueh5xy1fd3ido/PredioC3.js
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Posição Real">
        ▼<current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">
          <lat>-32.4654</lat>
          <lon>-52.1421</lon>
          <ele>0.0</ele>
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Posição">
        ▼<current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">
          <x>0</x>
          <y>0</y>
          <z>0</z>
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Visitado">
        <current_value at="2014-09-10T15:22:45.1135Z">Verdadeiro</current_value>
      </data>
    </component>
  </environment>
</eeml>

```

Figura 30: XML Estudo de Caso 1 - Estado Final

Através do Planificador, o módulo Inteligência, planejou os *recursos* a serem executados para que o ambiente atingisse o estado final, a partir do estado inicial. Esse planejamento pode ser visto na Figura 31.



```

domain.pddl task01.pddl task01.pddl.soln
1 (mover visitante furg predioc3)
2 (enviar-pdf informacoes_c3 visitante predioc3)
3 (mover visitante predioc3 cc)
4 (enviar-pdf informacoes_cc visitante cc)
5 (mover visitante cc biblio)
6 (enviar-pdf informacoes_biblio visitante biblio)

```

Figura 31: Planejamento - Estudo de caso 1

Após o planejamento estabelecido, o motor de ações, presente no módulo Inteligência, passou a verificar frequentemente a possibilidade de execução dos *recursos*.

Navegação pelo ambiente (Módulo Toogle Navegador)

Utilizando o Navegador Toogle, o visitante pôde navegar pelo *hiperambiente* através de duas possibilidades:

- Driver para apresentação 3D: o arquivo XML, que é atualizado pelo motor de estados e que representa o estado do mundo em cada tempo, é lido pelo *driver* para apresentação 3D do navegador, e os *componentes* que possuírem *propriedades* de representação 3D e localização são apresentados em um ambiente virtual web (Figura 32). Para o estudo de caso 1, à medida que o visitante se deslocou pelo campus da universidade, foi percebido pela Toogle através de seu smartphone e um avatar padrão apareceu nos locais correspondentes.
- Driver para apresentação de PDF: informações foram apresentadas ao visitante, em seu smartphone, quando ele se aproximou dos locais preestabelecidos (Prédio do Centro de Ciências Computacionais, Centro de Convivência e Biblioteca). A Figura 33 ilustra o cenário do visitante obtendo a visualização das informações, à medida que recebe em seu dispositivo.

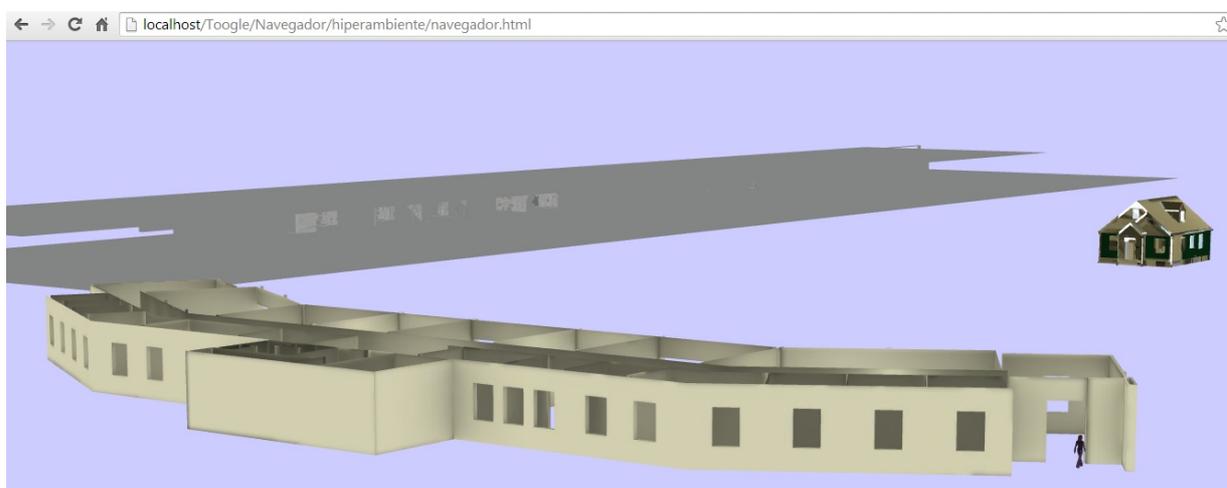


Figura 32: Navegador Toogle (apresentação 3D) - Estudo de caso 1

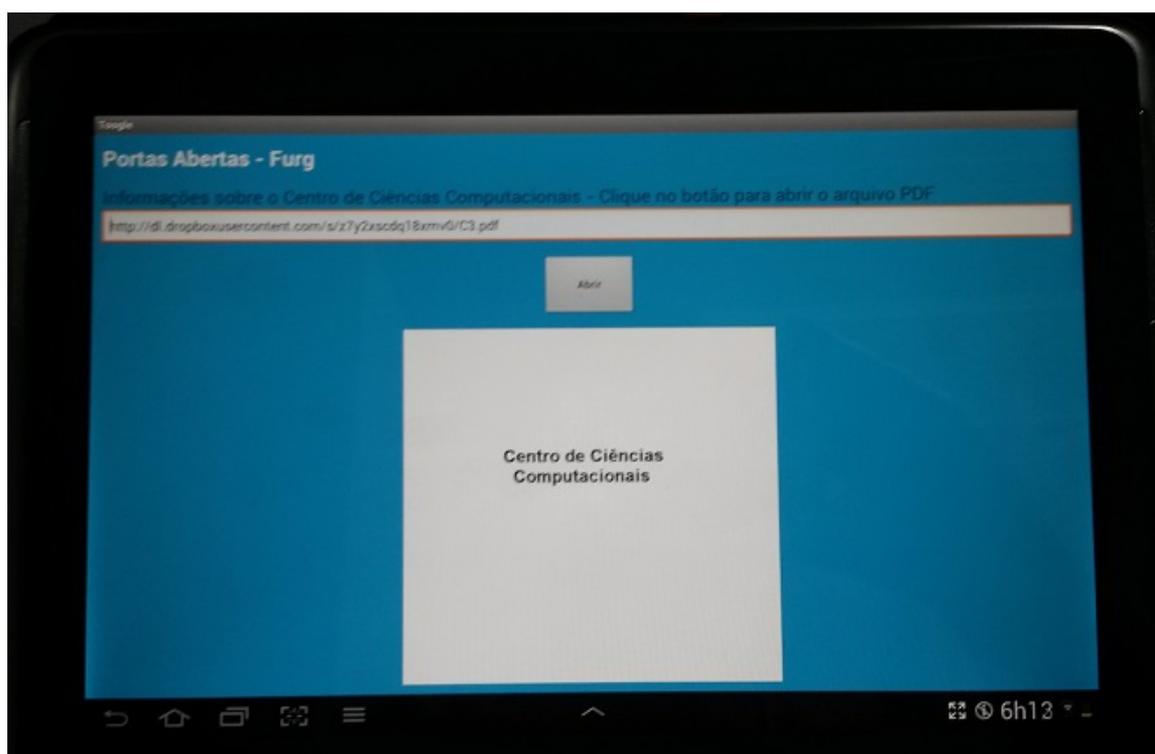


Figura 33: Navegador Toogle (apresentação PDF) - Estudo de caso 1

4.2. Estudo de caso 2

A seguir, apresenta-se a descrição do desenvolvimento de um AFVA para o estudo de caso descrito abaixo, sob duas perspectivas, analisando-se inicialmente os módulos da plataforma Toogle e posteriormente o modelo conceitual proposto para AFVAs:

Um professor pretende criar uma aula sobre determinado assunto, utilizando conteúdos físico-virtuais. Para isso, ele pretende utilizar duas apostilas (arquivos pdf), relacionando-as à localizações geográficas, como bibliotecas, parques, praças, áreas de lazer, etc. Como objetivo de aprendizagem, o professor deseja que os alunos recebam e visualizem tais apostilas, sendo que a primeira é pré-requisito para a segunda, ou seja, o aluno só poderá receber a segunda após já ter visualizado a primeira.

4.2.1. Criando um hiperambiente com a Toogle

Criação dos componentes através do Editor Toogle

O desenvolvimento do AFVA teve seu início pela criação dos *componentes* do ambiente. A Figura 34 apresenta o esquemático da arquitetura da Toogle, centrado no módulo Editor e instanciado para o estudo de caso 2. Pela figura, é possível notar que o professor atua no editor Toogle, através das criações dos *componentes* que farão parte do *hiperambiente* e dos *objetivos de aprendizagem*. É possível verificar também que objetos 3D e drivers são disponibilizados pela plataforma para utilização na etapa de criação. Para este estudo de caso foram disponibilizados três objetos 3D:

- Prédio C3: modelo 3D do prédio do Centro de Ciências Computacionais da Universidade Federal do Rio Grande;
- Biblioteca: modelo 3D de uma biblioteca, baixado de um banco de objetos 3D presente na internet (BLEND SWAP, 2009);

- Avatar: modelo 3D de uma pessoa, baixado de um banco de objetos 3D presente na internet (BLENSWAP, 2009);
Também foram disponibilizados dois drivers:
- Provê_Posição: implementação que provê localização a partir dos dados de GPS de um dispositivo smartphone ou tablet;
- Enviar_PDF: implementação que envia um arquivo PDF a um componente, através do motor de sensações virtuais, quando as *propriedades* de localização dos *componentes* forem iguais.

A seguir são apresentados detalhes desta etapa de criação de *componentes*.

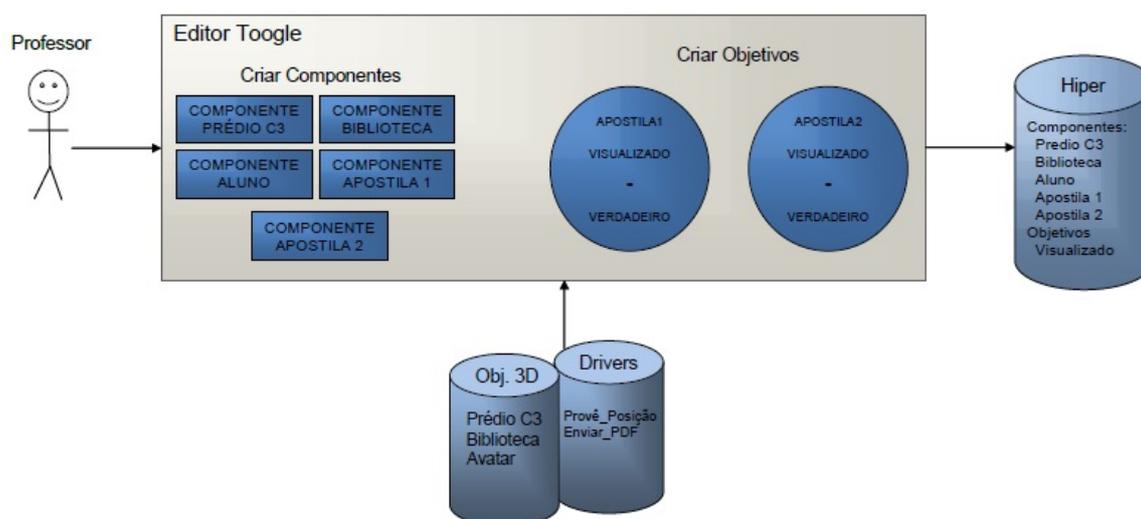


Figura 34: Arquitetura Toogle Editor - Estudo de caso 2

Como já apresentado no estudo de caso anterior, a criação do *hiperambiente* inicia-se pelo estabelecimento do referencial inercial. Para este segundo estudo, também foi utilizado como referencial inercial o modelo 3D do prédio do Centro de Ciências Computacionais da Universidade Federal do Rio Grande (Figura 24).

Após a inserção do referencial inercial, cada componente do AFVA foi criado, através do Editor Toogle. As *propriedades* e os *recursos* foram estabelecidos para cada *componente*. A Figura 35 apresenta, como exemplo, a criação de um *componente* do AFVA através do Editor Toogle.

Editor Web de Hiperambiente

Crie e adicione componentes ao hiperambiente:

[Inserir Componente](#) - [Inserir Objetivos](#)

[Adicionar Componente](#)

Componente - Propriedades

Nome do Componente

Modelo3D Estático ▼

Textura3D Estático ▼

Posição Estático ▼

TipodeObj Estático ▼

Conteúdo Estático ▼

Visualizado Estático ▼

[Remover Propriedade](#)

[Adicionar Propriedade](#)

Recursos

Nome driver ▼

Figura 35: Criação de um componente Toogle

Cabe ressaltar que cada *propriedade* de um *componente* pode ser associado a um valor constante (atribuído diretamente no editor) ou a um *recurso* de algum *componente* ou *driver* da Toogle (propriedade dinâmica). No caso dessa segunda opção, o *recurso* (ou *driver*) selecionado ficará responsável por atualizar constantemente o valor dessa *propriedade* (através do motor de componentes). Por exemplo, a *propriedade* “Localização” do componente Aluno é dinâmica e foi associada ao recurso “Provê_Posição” do dispositivo “Smartphone”, fazendo com que a localização do aluno esteja sempre sendo atualizada pelos dados do GPS do smartphone do aluno. É necessário mencionar que “Smartphone” é um dispositivo que disponibiliza *recursos* para qualquer *hiperambiente*, a partir da instalação de uma biblioteca de *drivers* da Toogle. Sendo assim, os seguintes *componentes* para o estudo de caso foram criados, cada um com suas *propriedades* e *recursos*: Sala de aula,

Biblioteca, Aluno, Apostila1 e Apostila2. Como exemplo, a Figura 36 apresenta os *componentes* criados no Editor Toogle, com suas *propriedades* e *recursos*.

Componente		Componente		Componente	
Propriedades		Propriedades		Propriedades	
Nome	Prédio C3	Nome	Biblioteca	Nome	Aluno
Modelo 3D	dropbox.com/predioc3.js	Modelo 3D	dropbox.com/biblio.js	Modelo 3D	dropbox.com/aluno.js
Posição Real	-32,325;-52,734	Posição Real	-32,518;-52,334	Posição	Smartphone.Provê_Posição
Posição	0; 0	Posição	25; -31,22	Tipo	Aluno
Tipo	Local	Tipo	Local	Dispositivo	Smartphone

Componente		Componente	
Propriedades		Propriedades	
Nome	Apostila1	Nome	Apostila2
Modelo 3D		Modelo 3D	
Posição	Prédio C3	Posição	Biblioteca
Tipo	Objeto de Aprendizagem	Tipo	Objeto de Aprendizagem
Conteúdo	dropbox.com/Apostila1.pdf	Conteúdo	dropbox.com/Apostila2.pdf
Visualizado	FALSO	Visualizado	FALSO
Recursos		Recursos	
Nome	Enviar Apostila	Nome	Enviar Apostila
Implement.	Enviar_PDF	Implement.	Enviar_PDF

Figura 36: Descrição dos componentes - Estudo de caso 2

Para o contexto de aprendizado do estudo de caso, associou-se a *propriedade* “Localização” do *componente* “Apostila1” a sala de aula utilizada para os testes, enquanto que a “Localização” do *componente* “Apostila2” foi associada biblioteca. Para esses dois *componentes* também foi criado um *recurso* do tipo “Enviar_PDF”, que foi escolhido da biblioteca de drivers implementados e disponíveis no AFVA. Esse *recurso* foi implementado para enviar um arquivo PDF a um aluno, através do motor de sensações virtuais, quando o motor de ações indicar seu disparo. O motor de ações, por sua vez, fica verificando as pré-condições de disparo, no caso, se as *propriedades* de localização são iguais. Para o estudo de caso, a ideia é que, quando a *propriedade* de “Localização” do Aluno for igual a propriedade de “Localização” da “Apostila1”, o arquivo PDF, associado ao *componente* “Apostila1”, seja enviado para o Aluno, através do motor de sensações virtuais.

O Editor Toogle possibilita também que os objetivos de aprendizagem sejam definidos a partir de especificações de algumas *propriedades* dos *componentes* do ambiente. Dessa forma, foi estabelecido como *objetivos de aprendizagem* que as *propriedades* “visualizado” dos *componentes* “Apostila1” e “Apostila2” sejam “verdadeiro”. Cabe ressaltar que o recurso “Enviar_PDF” mencionado anteriormente

modifica a *propriedade* “Visualizado” de um *componente* quando o arquivo PDF é enviado/recebido.

Após todos *componentes* terem sido inseridos no Editor Toogle, a criação e formalização do ambiente ocorreu. A descrição dos *componentes*, com suas *propriedades* e *recursos*, somada a caracterização dos objetivos, produziu o *hiperambiente* (um arquivo XML contendo todas informações de forma organizada). Um trecho dessa descrição, para o estudo de caso apresentado, pode ser visto na Figura 37.

```

▼<eeml xmlns="http://www.eeml.org/xsd/0.5.1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/1
▼<environment updated="2014-09-12T17:16:22.2452Z" creator="Toogle" id="1">
  <title>Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem</title>
  ▼<description>
    Hiperambiente do Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem
  </description>
  ▼<component id="0">
    ▼<data id="Nome">
      <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">Prédio C3</current_value>
    </data>
    ▼<data id="Modelo3D">
      ▼<current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">
        https://dl.dropboxusercontent.com/s/jmueh5xy1fd3ido/PredioC3.js
      </current_value>
    </data>
    ▼<data id="Posição Real">
      ▼<current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">
        <lat>-32.4654</lat>
        <lon>-52.1421</lon>
        <ele>0.0</ele>
      </current_value>
    </data>
    ...
  </component>
  ▼<component id="1">
    ▼<data id="Nome">
      <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">Apostila1</current_value>
    </data>
    ▼<data id="Modelo3D">
      <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z"/>
    </data>
    ▼<data id="Posição">
      <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">Prédio C3</current_value>
    </data>
    ▼<data id="Conteúdo">
      ▼<current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">
        https://dl.dropboxusercontent.com/s/wicw3vumca749id/Apostila1.pdf
      </current_value>
    </data>
    ▼<data id="Visualizado">
      <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">Falso</current_value>
    </data>
  </component>
  ...
  ▼<objetivos>
    ▼<component id="1">
      <data id="Nome">Apostila1</data>
      <data id="Visualizado">Verdadeiro</data>
    </component>
    ▼<component id="2">
      <data id="Nome">Apostila2</data>
      <data id="Visualizado">Verdadeiro</data>
    </component>
  </objetivos>
</environment>
</eeml>

```

Figura 37: XML - Estudo de caso 2

Criação efetiva dos componentes, comunicação e inteligência (Módulos Middleware e Componentes e Inteligência)

A Figura 38 apresenta o esquemático do módulo Middleware e Componentes da plataforma Toogle, instanciada para o estudo de caso implementado.

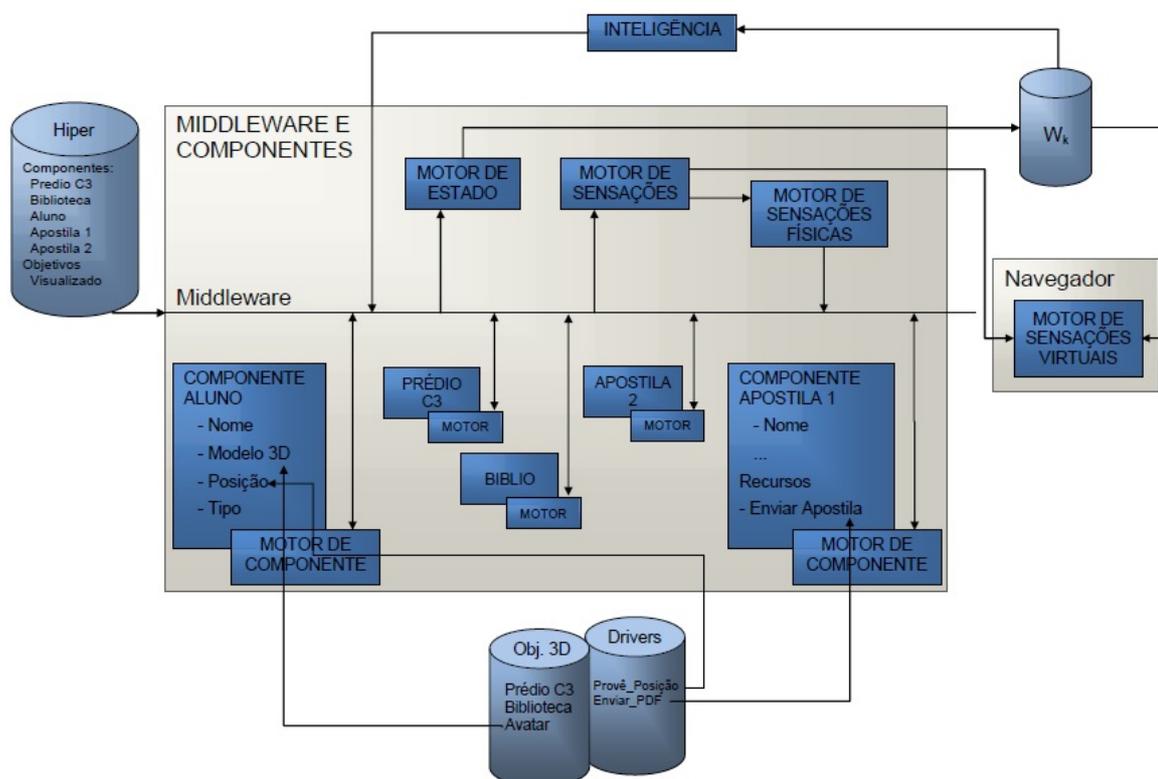


Figura 38: Arquitetura Toogle Middleware e Componentes - Estudo de caso 2

No momento em que o *hiperambiente* foi finalizado (geração do arquivo XML), o módulo Middleware e Componentes criou de fato todos os *componentes* na plataforma, sendo, a partir disso, responsável por toda comunicação dos *componentes*. Isto foi feito através dos *recursos* existentes em cada *componente*, implementados através de tópicos e serviços do ROS. Por exemplo, o Motor de Componente do Componente Aluno, passou a atualizar a *propriedade* “Posição” através do *driver* “Provê_Posição”.

Como já mencionado, o módulo Inteligência do Ambiente, permite que situações sejam planejadas, a partir da formalização do mundo em um estado inicial, para se chegar em um estado final de mundo (este elaborado através dos objetivos do ambiente/de aprendizagem). Embora os objetivos de aprendizagem sejam definidos

pelo professor, as situações planejadas pelo módulo Inteligência também consideram as interações do aluno no ambiente.

Sendo assim, o estado inicial do *hiperambiente* do estudo de caso, após terem sido inseridos os *componentes* no Editor Toogle, foi recebido pelo módulo Inteligência e formalizado de maneira semelhante à Figura 37.

O módulo Inteligência também recebeu a formalização do estado futuro do ambiente, gerada a partir dos *objetivos de aprendizagem*, que pode ser visto na Figura 39. As *propriedades Visualizado* estão destacadas, pois se referem ao objetivo definido para o AFVA.

```

▼<eeml xmlns="http://www.eeml.org/xsd/0.5.1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
  ▼<environment updated="2014-09-12T17:16:22.2452Z" creator="Toogle" id="1">
    <title>Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem</title>
    ▼<description>
      Hiperambiente do Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem
    </description>
    ▼<component id="0">
      ▼<data id="Nome">
        <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">Prédio C3</current_value>
      </data>
      ▼<data id="Modelo3D">
        ▼<current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">
          https://dl.dropboxusercontent.com/s/jmueh5xy1fd3ido/PredioC3.js
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Posição Real">
        ▼<current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">
          <lat>-32.4654</lat>
          <lon>-52.1421</lon>
          <ele>0.0</ele>
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Posição">
        ▼<current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">
          <x>0</x>
          <y>0</y>
          <z>0</z>
        </current_value>
      </data>
    </component>
    ...
    ▼<component id="1">
      ▼<data id="Nome">
        <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">Apostila1</current_value>
      </data>
      ▼<data id="Modelo3D">
        <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z"/>
      </data>
      ▼<data id="Posição">
        <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">Prédio C3</current_value>
      </data>
      ▼<data id="Conteúdo">
        ▼<current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">
          https://dl.dropboxusercontent.com/s/wicw3vumca749id/Apostila1.pdf
        </current_value>
      </data>
      ▼<data id="Visualizado">
        <current_value at="2014-09-12T17:16:22.2452Z">Verdadeiro</current_value>
      </data>
    </component>
  </environment>
</eeml>

```

Figura 39: XML Estudo de Caso 2 - Estado Final

Por fim, o módulo Inteligência, através do Planificador, planejou as ações (execução de *recursos*) para que o ambiente atingisse o estado futuro, a partir do estado inicial (conforme pode ser visto na Figura 40). Após este planejamento ser feito, o motor de ações presente no módulo, passou a verificar constantemente a possibilidade de execução dos *recursos* planejados.

```

domain.pddl x task01.pddl x task01.pddl.soln x
1 (mover aluno1 sala3 sala2)
2 (enviar-pdf apostila2 aluno1 sala2)
3 (mover aluno1 sala2 sala1)
4 (enviar-pdf apostila1 aluno1 sala1)

```

Figura 40: Planejamento - Estudo de caso 2

Navegação pelo AFVA (Módulo Toogle Navegador)

Por fim, após os *componentes* terem sido criados e formalizados para o estudo de caso, o aluno pôde navegar pelo *hiperambiente*, através do Navegador Toogle. A Figura 41 apresenta um esquemático sobre a navegação.

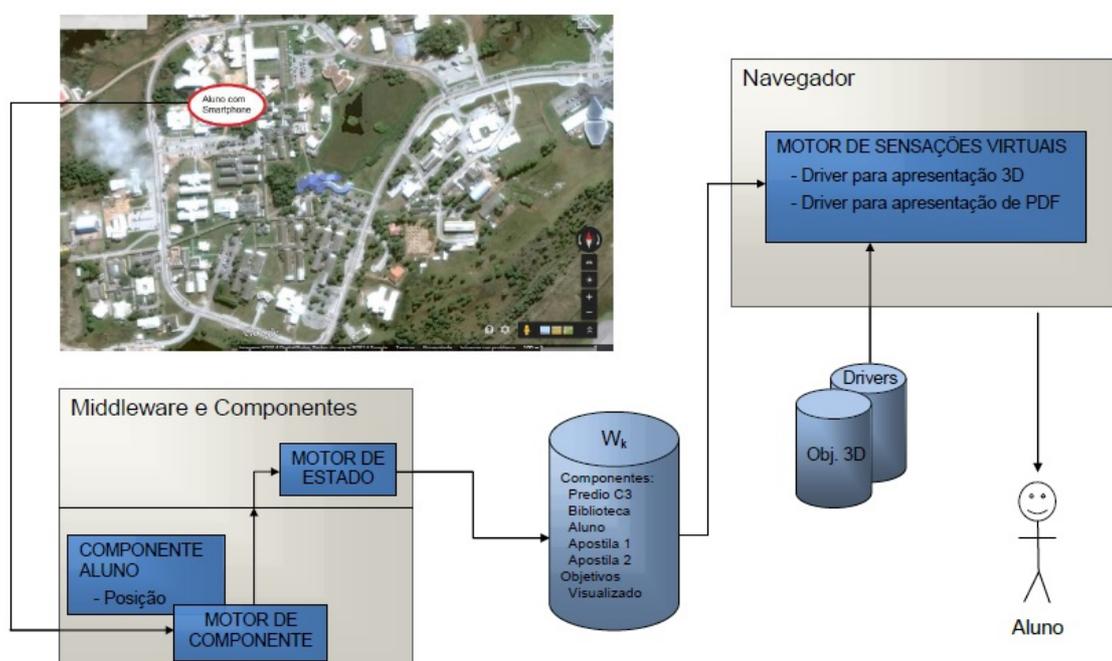


Figura 41: Arquitetura Toogle Navegador - Estudo de caso 2

Todas informações dos *componentes* são armazenadas e atualizadas constantemente no *hiperambiente*, em um arquivo XML, pelo motor de estados. Este arquivo, que representa o estado do mundo em cada tempo (W_k), é lido pelo *driver* para apresentação 3D do navegador, e os *componentes* que possuem *propriedades* de representação 3D e localização são apresentados em um ambiente virtual web. No estudo de caso aqui apresentado, conforme pode ser visto na Figura 41, à medida que o aluno se deslocava pelo mundo físico, foi percebido pelo módulo Middleware e Componentes da Toogle, através de seu Smartphone, O motor de estados gerou o *hiperambiente* no tempo corrente (W_k) com as propriedades de todos *componentes*. A *propriedade* de posição do aluno, por exemplo, foi atualizada pelos dados de GPS de seu Smartphone (próxima ao prédio do Centro de Ciências Computacionais). Dessa forma, o módulo Navegador leu as informações do *hiperambiente* corrente e, através do *driver* de apresentação 3D, o avatar do aluno apareceu no local correspondente (Figura 42).

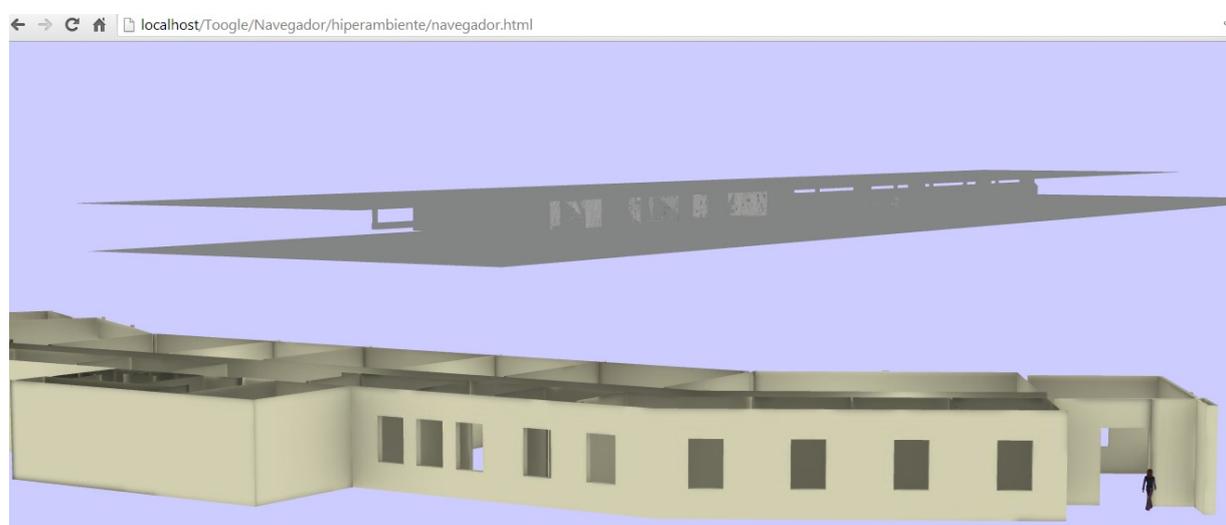


Figura 42: Navegador Toogle (apresentação 3D) - Estudo de caso 2

Os objetos de aprendizagem (Apostila1 e Apostila2) foram apresentados quando o aluno entrou nos locais correspondentes a suas localizações (sala de aula e biblioteca), visto que o motor de ações do módulo Inteligência, verificou que as condições de disparo das ações planejadas tinham sido satisfeitas. A Figura 43 ilustra o cenário do aluno obtendo a visualização do objeto de aprendizagem Apostila1, a medida que ele entrou na sala de aula.

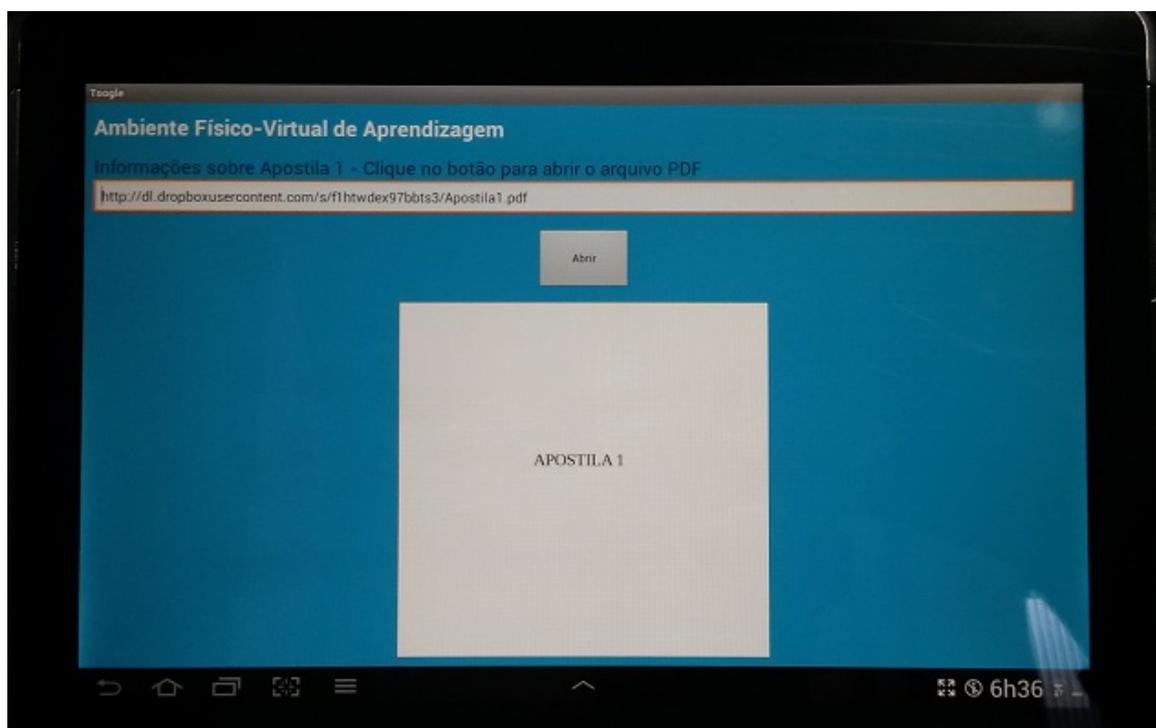


Figura 43: Navegador Toogle (apresentação PDF) - Estudo de caso 2

4.2.2. Análise pela ótica dos AFVAs

A seguir são analisadas as entidades do modelo conceitual para AFVAs, para o estudo de caso apresentado.

Professor:

O professor foi o responsável pela criação dos *componentes* através do editor Toogle. É importante notar a importância do preparo do professor para trabalhar em um ambiente desse tipo, já que o conhecimento a respeito dos novos objetos de aprendizagem é fundamental para suas criações e utilizações.

Componentes Curriculares:

Sob o ponto de vista do modelo conceitual para AFVAs, os *componentes* “Apostila1” e “Apostila2” são inseridos como objetos de aprendizagem (conteúdos) que fazem parte do modelo Componentes Curriculares.

Objetivos de aprendizagem:

Os *objetivos de aprendizagem* foram definidos no editor Toogle pelo professor, que configurou o ambiente de modo que a visualização das apostilas 1 e 2 significasse a obtenção da aprendizagem.

Situação:

Situações de aprendizagem foram disponibilizadas no AFVA, como nos momentos de envio do *recurso Enviar_PDF* para o aluno. Essas situações foram formalizadas e tratadas no módulo Middleware e Componentes da Toogle.

Oportunismo:

O modelo de Oportunismo do AFVA planejou as situações de aprendizagem a serem oferecidas aos alunos, de forma que possibilitassem a obtenção dos objetivos. Isto pode ser compreendido no estudo de caso, quando a situação relacionada ao envio do PDF é planejada para o aluno, uma vez que o modelo Oportunismo percebe essa necessidade para o cumprimento dos objetivos.

Interação:

A interação do aluno com as situações de aprendizagem se deu através do navegador. O aluno pôde utilizar o navegador para visualizar o ambiente de ensino através de um cenário 3D e também para receber informações das situações de aprendizagem em seu *smartphone*.

Aluno e Contexto:

Tanto o aluno, como seu contexto (localização geográfica), foram representados no AFVA através do módulo Middleware e Componentes.

4.3. Discussão dos resultados

A fim de discutir sobre o desenvolvimento de um ambiente físico-virtual de aprendizagem através da plataforma Toogle, retoma-se aqui os requisitos definidos para a Toogle e para os AFVAs, analisando-os sob a ótica dos resultados obtidos.

- Informação Multi-Modal/Multissensorial: através da Toogle, foi possível desenvolver um AFVA, pelo qual, representações 3D dos ambientes reais foram apresentadas aos usuários. Também é possível inserir outros tipos de

informações no AFVA na etapa de criação dos *componentes*. O motor de sensações da plataforma foi implementado para dar suporte a diferentes experiências sensoriais. Em trabalhos futuros, o banco de *componentes* do Editor Toogle incluirá objetos de aprendizagem que permitirão se trabalhar com sons, animações, objetos táteis, etc.

- Edição e Navegação: através de Editor Toogle criou-se todo cenário e os *componentes* existentes do AFVA para o estudo de caso apresentado. Por meio do Navegador Toogle também foi possível a navegação por tal ambiente, através de diferentes experiências sensoriais.
- Comunicação e interação: toda comunicação e interação entre os *componentes* do AFVA foi possível através do módulo Middleware e Componentes. Essa comunicação se deu pela implementação de tópicos e serviços ROS em cada um dos componentes existentes. Embora não se tenha desenvolvido uma ferramenta para comunicação entre os usuários, essa se mostra uma tarefa relativamente simples e está prevista como um módulo adicional a plataforma nos trabalhos futuros.
- Ferramentas administrativas: embora as ferramentas administrativas não tenham sido ainda implementadas, já existem diversos aspectos da plataforma que facilitam seu desenvolvimento. Por exemplo, a possibilidade de se associar a localização de um aluno aos dados de GPS de um smartphone, torna simples a implementação de uma ferramenta do tipo “lista de presença”.
- Ferramentas de avaliação: tendo todas as situações de aprendizagem e os contextos formalizados, bem como as interações dos alunos registradas frequentemente, através de logs, é possível desenvolver importantes ferramentas de avaliação. Tais ferramentas também podem ser de grande utilidade no modelo Oportunismo, permitindo a adaptação de situações de aprendizagem baseado no acompanhamento da evolução do aluno. Trabalhos futuros também pretendem desenvolver ferramentas de avaliação para AFVAs.
- Abordagem pedagógica: a proposta de AFVAs permite abordagens pedagógicas construtivistas, inclusive caracterizando um modelo de Interação, que é implementado pelos módulos Navegador e Middleware e Componentes da

plataforma Toogle. Esse modelo permite o desenvolvimento das relações entre sujeito e objetos, o que torna a plataforma adequada para esse paradigma educacional. O modelo conceitual para AFVAs, implementado através da Toogle, também permite aprendizagem colaborativa, pois o professor pode criar componentes curriculares que sejam utilizados por grupos, permitindo que o conhecimento se dê através do diálogo e da colaboração. A criação de novos componentes curriculares que contemplem esse tipo de abordagem pedagógica faz parte dos trabalhos futuros a serem desenvolvidos. Outras abordagens pedagógicas, como a aprendizagem baseada em problemas, onde o contexto (que pode ser capturado pela Toogle) tem real significado para o aluno, envolvendo-o nas atividades propostas, também são possíveis de serem aplicadas com os AFVAs e serão estudadas e avaliadas futuramente.

- Ferramentas de autoria: a plataforma Toogle possui um editor que permite a criação de ambientes educativos diferenciados, que consideram os contextos e as vivências do aluno.
- Percepção: o módulo Middleware e Componentes permitiu o monitoramento das atividades do ambiente, como por exemplo, sensoreando a localização do aluno através do GPS de seu smartphone.
- Heterogeneidade: a plataforma Toogle permitiu o uso de diferentes tipos de sensores e atuadores para o desenvolvimento de AFVAs. No estudo de caso proposto, foram utilizados os dados de GPS de um smartphone, no entanto poderia ser utilizado um sistema de RFID também para detecção de presença dos alunos. Na sua atual implementação, qualquer dispositivo que possua driver para ROS pode ser utilizado no desenvolvimento de Ambientes Físico-Virtuais de Aprendizagem.
- Abstração semântica: a plataforma Toogle proveu abstração semântica com o seu módulo Middleware e Componentes, tornando simples a comunicação entre os elementos do ambiente. Predicados, como Localização, e *recursos* foram capazes de utilizar abstrações semânticas, não tendo a necessidade de se trabalhar com informações brutas, como latitudes e longitudes de uma coordenada GPS, por exemplo.

- Modularidade: a modularidade se mostrou eficaz, uma vez que a plataforma é constituída apenas de quatro módulos, onde cada um é bem definido e lida com questões importantes para o desenvolvimento de um hiperambiente (edição, navegação, comunicação e inteligência).
- Verificação, Validação e Simulação: questões que envolvem a verificação, validação e simulação de sistemas físico-virtuais, como as diferenças entre o mundo físico (contínuo) e o mundo virtual (discreto), ainda devem ser melhor exploradas e estudadas no contexto de AFVAs.
- Inteligência: ainda que de maneira simples, o estudo de caso demonstrou que o módulo Inteligência da Toogle é capaz, a partir da formalização do estado atual do mundo, planejar com algum grau de inteligência, as oportunidades de aprendizado a serem oferecidas aos alunos em um AFVA, a fim de que esses atinjam os objetivos de aprendizagem definidos pelo professor.
- Engajamento: pelo estudo de caso apresentado, foi visto a possibilidade de se associar conteúdos curriculares à localizações geográficas. Nesse sentido, o sistema apresenta a possibilidade de um maior engajamento aos alunos, uma vez que os diferentes contextos do seu dia a dia podem ser levados em conta ao se propor as situações de aprendizagem em um AFVA.

4.4. Considerações finais

Este capítulo apresentou a plataforma Toogle, que foi aprimorada nesta tese, constituindo-se em uma ferramenta com grande potencial para tratar os problemas relacionados aos sistemas físico-cibernéticos.

Também foi apresentado, neste capítulo, os aspectos físicos e virtuais dos ambientes que podem ser modelados, implementados e integrados de forma a contribuir nos processos de aprendizagem. A abordagem aqui demonstrada, de AFVAs, procura proporcionar tal integração para o desenvolvimento de novas propostas educacionais.

Capítulo 5

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1. Conclusões

Esta tese apresentou o conceito de AFVAs, que procura integrar ambientes físicos com AVAs. Em um primeiro momento, foi realizada uma revisão bibliográfica, abordando diversos aspectos envolvidos em AVAs e nas IHCs.

Após a realização da revisão bibliográfica, a plataforma Toogle foi proposta como implementação de CPSs. Ela se baseia em um modelo conceitual definido para problemas envolvidos com a IoT, e sua arquitetura possui uma série de módulos que criam, editam, navegam, formalizam, planejam e simulam o comportamento de componentes físicos e virtuais.

Posteriormente, questões relacionadas à integração dos ambientes físicos e virtuais em AVAs, foram apresentadas como foco do trabalho, com a proposta de um Ambiente Físico-Virtual de Aprendizagem (AFVA). Suas características e um modelo conceitual de referência foram discutidos, bem como as possibilidades de desenvolvimento através da plataforma Toogle. Foram apresentadas ainda as etapas envolvidas na criação de AFVAs em cenários de testes.

Após a descrição dos aspectos metodológicos envolvidos em uma aprendizagem físico-virtual, bem como do desenvolvimento dos estudos de caso, cabe aqui retomar e discutir os requisitos iniciais desta tese.

Um AFVA possui características semelhantes (com, pelo menos, uma diferente) às de um AVA

O estudo bibliográfico, através dos eixos de análise propostos, e as definições dos requisitos e das características de um AFVA mostraram semelhanças em diversos aspectos envolvidos na utilização de AVA/AFVAs. No entanto, ao contrário dos AFVAs, as propostas de AVAs não possibilitam que os espaços físicos dos alunos contemplem elementos do mundo virtual e vice-versa.

Dessa maneira, o objetivo desta tese, de definir os requisitos e as características de um AFVA foram alcançados, mesmo que ainda se tenha a necessidade do desenvolvimento de novos estudos de caso para melhor caracterização.

Um modelo conceitual para um AVA pode ser utilizado para um AFVA, desde que adaptado

O modelo conceitual para AVAs, tomado como referência, quando relacionado de maneira adequada com as novas condições que envolvem elementos físico-virtuais e com os módulos da plataforma Toogle, habilitou-o como modelo conceitual a ser utilizado para AFVAs.

O objetivo de propor um modelo conceitual para um AFVA, envolvendo a definição dos elementos, foi alcançado. No entanto, novos estudos de caso serão utilizados para aprimorar o modelo.

A plataforma Toogle pode implementar AFVAs

Ainda que com recursos simples e limitados em sua primeira versão, a plataforma Toogle foi utilizada com sucesso no estudo de caso que se propôs a criar um AFVA, cumprindo, dessa maneira, um dos objetivos da tese. A utilização de novas interfaces humano-computador avançadas que sejam integradas aos AFVAs, a fim de prover maior interação, está prevista como trabalho futuro.

Por fim, os resultados do trabalho se mostraram importantes, uma vez que consolidam uma proposta/ferramenta inovadora, que busca contemplar recursos físicos e virtuais para criação de espaços de aprendizagem. A identificação de elementos que constituem esses ambientes físico-virtuais de aprendizagem, através de um modelo conceitual, se caracteriza como principal contribuição do trabalho, além de uma proposta de ferramenta para sua implementação..

5.2. Trabalhos futuros

Esta tese cunhou o termo AFVA através do seu modelo conceitual e características e propôs a ferramenta Toogle para sua implementação. O desenvolvimento da Toogle como ferramenta integradora para criação de AFVA requer um grande esforço de programação, o qual conduziu a uma primeira versão da ferramenta, capaz de disponibilizar recursos ainda limitados e simples para o desenvolvimento de AFVAs. Atualmente, novos drivers para sensações virtuais estão sendo desenvolvidos, bem como expande-se a biblioteca de recursos e melhora-se os aspectos de interface do sistema. Uma nova versão da ferramenta já é a curto termo um trabalho futuro desta tese.

Nesta nova versão, pretende-se também aprimorar as questões referentes ao módulo Inteligência do Ambiente, para que seja possível melhorar os sistemas de percepção e sugestão de situações de aprendizagem.

Além disso, novos estudos de caso, envolvendo situações escolares do cotidiano, estão sendo implementados, pretendendo-se assim, ajustar nas próximas etapas do trabalho, tanto a plataforma, quanto o modelo conceitual proposto.

REFERÊNCIAS

- AKYILDIZ, I F, et al. (2002). A survey on sensor networks. *Communications magazine IEEE*, 40, 8, 102-114.
- ALEMDAR, HANDE, e CEM ERSOY. (2010). "Wireless sensor networks for healthcare: A survey." *Computer Networks* 54.15: 2688-2710.
- ALMEIDA, M.E.B. (2003). Dos ambientes digitais de aprendizagem. *Educação e pesquisa*, 29, 2, 327-340.
- AMARAL, M. (2013). Dissertação de mestrado: Sistema Toogle, Ferramenta de Design e Navegação para CPS. Centro de Ciências Computacionais, Universidade Federal do Rio Grande.
- ATZORI, L., IERA, A. e MORABITO, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54, 15, 2787-2805.
- BARWISE, J. e PERRY, J. (1983). *Situations and Attitudes*. Cambridge, MA, MIT Press.
- BARWISE, J. e ETCHEMENDY, J. (1987). *The Liar: An Essay in Truth and Circularity*, Oxford University Press.
- BILLINGHURST, M. e DÜNSER, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer*, 45, 7, 56-63.
- BLENDSWAP, (2009). Blend Swap LLC. <http://www.blendswap.com/> acessado em 04/09/2014.
- BOTTS, M., e ROBIN, A. (2007). OpenGIS sensor model language (SensorML) implementation specification. *OpenGIS Implementation Specification OGC*, 07-000.
- BRI, D., GARCIA, M., COLL, H., e LLORET, J. (2009). A study of virtual learning environments. *WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education*, 6(1), 33-43.
- BRITAIN, S., e LIBER, O. (2004). A framework for pedagogical evaluation of virtual learning environments.
- BROWNE, T., HEWITT, R., JENKINS, M. e WALKER, R. (2008). 2008 Survey of Technology Enhanced Learning for higher education in the UK.

- BROWNE, T., e JENKINS, M. (2003). VLE Surveys: A longitudinal perspective between March 2001 and March 2003 for Higher Education in the United Kingdom. UCISA Report. Retrieved September, 1, 2004.
- BROWNE, T., JENKINS, M., e WALKER, R. (2005). VLE Surveys: A longitudinal perspective between March 2001, March 2003 and March 2005 for higher education in the United Kingdom. UCISA. Retrieved March, 3, 2006.
- CALVO, R. A., GHIGLIONE, E. e ELLIS, R. (2003, July). The OpenACS e-learning infrastructure. In Proceedings of the 9th Australian World Wide Web Conference (pp. 175-183).
- CHEN, D., TSAI, S., HSU, C. H., SINGH, J. P. e GIROD, B. (2011). Mobile augmented reality for books on a shelf. In Multimedia and Expo (ICME), 2011 IEEE International Conference on (pp. 1-6). IEEE.
- CHONG, J. W. S., ONG, S. K., NEE, A. Y. C. e YOUCEF-YOUMI, K. (2009). Robot programming using augmented reality: An interactive method for planning collision-free paths. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(3), 689-701.
- CLARK, RUTH C. e RICHARD E. MAYER. (2011). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. Wiley.
- CLASSES, I. F. (2013). International alliance for interoperability.
- COMPTON, M., BARNAGHI, P., BERMUDEZ, L., GARCÍA-CASTRO, R., CORCHO, O., COX, S. e TAYLOR, K. (2012). The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 17, 25-32.
- DD DE SOUZA, D. e ARROIO, A. (2013). Explorando a aprendizagem multimodal em aulas de química: o caso do equilíbrio químico. XVI ENEQ/X EDUQUI-ISSN: 2179-5355.
- DIAS, P. (2001). Comunidades de conhecimento e aprendizagem colaborativa." Seminário Redes de Aprendizagem, Redes de Conhecimento. Lisboa, Conselho Nacional de Educação. Pág. 85-94.
- DILLENBOURG, P. et al. (2002). Virtual learning environments. Proceedings of the 3rd Hellenic Conference'Information & Communication Technologies in Education.
- DONGMING, XU et al. (2005). A conceptual model of personalized virtual learning environments. *Expert Systems with Applications*, 29, 3, 525-534.

- DOUGIAMAS, M., e TAYLOR, P. (2003). Moodle: Using learning communities to create an open source course management system. In World conference on educational multimedia, hypermedia and telecommunications (Vol. 2003, No. 1, pp. 171-178).
- DYSON, M. C. e CAMPELLO, S. B. (2003). Evaluating Virtual Learning Environments: what are we measuring. *Electronic Journal of E-learning*, 1(1), 11-20.
- FARMER, J., e DOLPHIN, I. (2005). Sakai: eLearning and more. *EUNIS 2005- Leadership and Strategy in a Cyber-Infrastructure World*.
- FILHO, N.D. et al. (2013) Human Computer Interface (HCI) for Intelligent Maintenance Systems (IMS): The role of Human Factors. Em: 8th World Congress on Engineering Asset Management & 3rd International Conference on Utility Management & Safety, Hong Kong, 1, 1-6.
- FRANCISCATO, F. T., DA SILVA RIBEIRO, P., MOZZAQUATRO, P. M. e MEDINA, R. D. (2008). Avaliação dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem Moodle, TelEduc e Tidia-ae: um estudo comparativo. *RENOTE*, 6(1).
- FRIEDEWALD, M. e RAABE, O. (2011). Ubiquitous computing: An overview of technology impacts. *Telematics and Informatics*. 28, 2, 55-65.
- GOLDBERG, M. W. e SALARI, S. (1997). An update on WebCT (World-Wide-Web Course Tools)-a tool for the creation of sophisticated web-based learning environments. In *Proceedings of NAUWeb* (Vol. 97, pp. 12-15).
- GRUBER, T.R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5, 2, 199-220.
- HAGUENAUER, C. J., LOPEZ, F. B. e MARTINS, F. N. (2010). Estudo comparativo de ambientes virtuais de aprendizagem. *Colabor@-A Revista Digital da CVA-RICESU*, 2(5).
- HALEY-HERMIZ, T., CONNELLY, P. E., GASPER, A., SCALONE, V., SCEUSA, N. e STAEHLER, C. (2012). Augmented Cinematography: A Look at the Use of Augmented Reality in Film Production. In 66 th Mid-year Conference of ASEE Engineering Design Graphics Division (pp. 214-223).
- HANSEN, C., WIEFERICH, J., RITTER, F., RIEDER, C. e PEITGEN, H. O. (2010). Illustrative visualization of 3D planning models for augmented reality in liver surgery. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 5(2), 133-141.
- HARASIM, L., CALVERT, T. e GROENEBOER, C. (1997). Virtual-U: A Web-based system to support collaborative learning. *Khan*, 62, 149-158.

- HOYER, H., JOCHHEIM, A., ROHRIG, C. e BISCHOFF, A. (2004). A multiuser virtual-reality environment for a tele-operated laboratory. *Education, IEEE Transactions on*, 47(1), 121-126.
- HWANG, C. H. e SCHUBERT, L. K. (1993). Episodic logic: A situational logic for natural language processing. *Situation Theory and its Applications*, 3, 303-338.
- IEEE/LTSC Learning Technology Standards Committee – WG12: Learning Object Metadata. Disponível em <http://ieee-sa.centraldesktop.com/ltsc/>. Acesso em: setembro de 2014.
- JONES, VICKI e JUN H. JO. (2004). Ubiquitous learning environment: An adaptive teaching system using ubiquitous technology. *Beyond the comfort zone: Proceedings of the 21st ASCILITE Conference*.
- KIRNER, C. e TORI, R. (2004). Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiperrealidade. *Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências*. São Paulo, 3–20.
- KOOHANG, A., e HARMAN, K. (2005). Open source: A metaphor for e-learning. *Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 8, 75-86.
- KUH, G. D. (2001). Assessing what really matters to student learning: Inside the National Survey of Student Engagement. *Change*, 33 (3), 10–17.
- KUH, G. D. (2009). The National Survey of Student Engagement: Conceptual and empirical foundations. In R. M. Gonyea & G. D. Kuh (Eds.). *Using NSSE in institutional research. New Directions for Institutional Research*, 141, 5–20.
- KUKULSKA-HULME, AGNES e TRAXLER, J. EDS. (2005). *Mobile learning: A handbook for educators and trainers*. Routledge.
- KUMAR, A., PAKALA, R., RAGADE, R. K. e WONG, J. P. (1998). The virtual learning environment system. In *Frontiers in Education Conference, 1998. FIE'98. 28th Annual (Vol. 2, pp. 711-716)*. IEEE.
- LAUREL, B. e MOUNTFORD, S. J. (1990). *The art of human-computer interface design*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- LEE, E. A. (2008). Cyber physical systems: Design challenges. 363-369.
- LEE, S. H., LEE, S., SONG, H. e LEE, H. S. (2009). Wireless sensor network design for tactical military applications: remote large-scale environments. In *Military Communications Conference, 2009. MILCOM 2009*. IEEE (pp. 1-7). IEEE.
- LEE, JACOB. (2010). Introduction to Situation Theory Part I. Em: <http://jacobleee.net/occamseraser/2010/10/03/introduction-to-situation-theory-part-1/>.

- LEI, C. U., MAN, K. L., LIANG, H. N., LIM, E. G. e WAN, K. (2013). Building an intelligent laboratory environment via a cyber-physical system. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013.
- LIAROKAPIS, F. e ANDERSON, E. F. (2010). Using augmented reality as a medium to assist teaching in higher education.
- LIM, H. B., TEO, Y. M., MUKHERJEE, P., LAM, V. T., WONG, W. F. e SEE, S. (2005, November). Sensor grid: integration of wireless sensor networks and the grid. In *Local Computer Networks, 2005. 30th Anniversary. The IEEE Conference on* (pp. 91-99). IEEE.
- MCCORMICK, A. C., JILLIAN K. e ROBERT M. G. (2013). Student engagement: Bridging research and practice to improve the quality of undergraduate education. *Higher education: Handbook of theory and research*. Springer Netherlands. Pág. 47-92.
- MILGRAM, P. et al. (1994). Augmented Reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies SPIE94*.
- MORAN, J.MI. (2008). O que é educação a distância.
- MORRISON, A., MULLONI, A., LEMMELÄ, S., OULASVIRTA, A., JACUCCI, G., PELTONEN, P. e REGENBRECHT, H. (2011). Collaborative use of mobile augmented reality with paper maps. *Computers & Graphics*, 35(4), 789-799.
- MUSSOI, E. M., FLORES, M. L. P. e BEHAR, P. A. (2007). Comunidades virtuais—um novo espaço de aprendizagem. *RENOTE*, 5(1).
- NEE, A. Y. C., ONG, S. K., CHRYSSOLOURIS, G. e MOURTZIS, D. (2012). Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals-manufacturing technology*, 61(2), 657-679.
- NICOLAU, S., SOLER, L., MUTTER, D. e MARESCAUX, J. (2011). Augmented reality in laparoscopic surgical oncology. *Surgical oncology*, 20(3), 189-201.
- NIELSEN, J. (1993). Iterative user-interface design. *Computer*, 26(11), 32-41.
- OLYMPIOU, G. e ZACHARIA, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96, 1, 21-47.
- PHIPPS, RONALD, e JAMIE MERISOTIS. (1999). What's the difference? A review of contemporary research on the effectiveness of distance learning in higher education.
- PIAGET, J., e DELVAL, J. (1970). La epistemología genética (pp. 127-190). A. Redondo.

- POOLE, E. S., MILLER, A. D., XU, Y., EIRIKSDOTTIR, E., CATRAMBONE, R. e MYNATT, E. D. (2011). The place for ubiquitous computing in schools: lessons learned from a school-based intervention for youth physical activity. In Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing (pp. 395-404). ACM.
- POPPE, E., BROWN, R. A., RECKER, J. C. e JOHNSON, D. M. (2011). A prototype augmented reality collaborative process modelling tool.
- PYPERPLAN. (2012). A lightweight STRIPS planner written in Python. <https://bitbucket.org/malte/pyperplan> acessado em 26/05/2014.
- QUIGLEY, M. et al. (2009). ROS: an open-source Robot Operating System. ICRA workshop on open source software. 3,2.
- RHEINGOLD, H. (1993). The virtual community: Homesteading on the electronic frontier. MIT press.
- ROCHA, H. D. e MORAES, M. C. (2002). O ambiente TelEduc para Educação à Distância baseada na Web: Princípios, Funcionalidades e Perspectivas de desenvolvimento. Educação a distância: Fundamentos e práticas. Campinas, SP: UNICAMP/NIED, 197-212.
- ROCHA, H.V. e BARANAUSKAS, M.C. (2003). Livro Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador.
- ROS, SALVADOR, et al. (2012). "Using virtualization and automatic evaluation: Adapting network services management courses to the ehea." Education, IEEE Transactions on 55.2. 196-202.
- ROSALES, G.C.M. et al. (2009). Aplicação de redes de sensores lógicos no monitoramento de ambientes de aprendizagem. XX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Florianópolis.
- RUSSELL, S.J. et al. (1995). Artificial intelligence: a modern approach. Vol. 74. Englewood Cliffs: Prentice hall.
- SCHALLER, R. R. (1997). Moore's law: past, present and future. Spectrum, IEEE, 34(6), 52-59.
- SERBANATI, A. et al. (2011). Building blocks of the internet of things: State of the art and beyond. Deploying RFID-Challenges, Solutions, and Open Issues, C. Turcu. Em: Tech.
- SHA, L., GOPALAKRISHNAN, S., LIU, X. e WANG, Q. (2008). CyberPhysical Systems: A New Frontier. Sensor Networks, Ubiquitous and Trustworthy Computing, 1, 9, 11-13.

- SHI, J., WAN, J., YAN, H e SUO, H. (2011). A survey of CyberPhysical Systems. *Wireless Communications and Signal Processing*. 1, 6, 9-11.
- SHIH, JU-LING, HUI-CHUN CHU e GWO-JEN HWANG. (2011). An investigation of attitudes of students and teachers about participating in a context-aware ubiquitous learning activity. *British Journal of Educational Technology*. 42, 3, 373-394.
- SNEHA, J. M. e G. S. NAGARAJA. (2014). Virtual Learning Environments-A Survey. arXiv preprint arXiv:1402.2404.
- TABAR, A. M., KESHAVARZ, A. e AGHAJAN, H. (2006). Smart home care network using sensor fusion and distributed vision-based reasoning. In *Proceedings of the 4th ACM international workshop on Video surveillance and sensor networks* (pp. 145-154). ACM.
- TIDIA-AE, 2004. Projeto TIDIA-Ae: Aprendizado Eletrônico. Disponível em: <http://www.tidia-ae.usp.br/portal>. Acesso em: 02 Set 2014.
- VALENTE, J. A. (2002). A espiral da aprendizagem e as tecnologias da informação e comunicação: repensando conceitos. A tecnologia no ensino: implicações para a aprendizagem. São Paulo: Casa do Psicólogo. Pág. 15-37.
- VOGEL, B., SPIKOL, D., KURTI, A. e MILRAD, M. (2010). Integrating mobile, web and sensory technologies to support inquiry-based science learning. In *Wireless, Mobile and Ubiquitous Technologies in Education (WMUTE), 2010 6th IEEE International Conference on* (pp. 65-72). IEEE.
- VOLONTÉ, F., PUGIN, F., BUCHER, P., SUGIMOTO, M., RATIB, O. e MOREL, P. (2011). Augmented reality and image overlay navigation with OsiriX in laparoscopic and robotic surgery: not only a matter of fashion. *Journal of hepatobiliary-pancreatic sciences*, 18(4), 506-509.
- WAN, J., YAN, H. E SUO, H. e LI, F. (2011). *Advances in Cyber-Physical Systems Research*. 5,1891-1908.
- WEISER, M. e BROWN, J. S. (1996). The coming age of calm technology. Xerox Parc.
- ZOUGANELI, E. e SVINNSET, I.E. (2009). Connected objects and the Internet of things - A paradigm shift. *International Conference on. IEEE Photonics in Switching*.