



ISSN 2359-0386



3ª EDIÇÃO

ERI·GO

ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA

ANAIIS



3ª EDIÇÃO

ERI · **GO**

ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA

ANAIIS

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

E74a Escola Regional de Informática de Goiás (3. : 2015 : Goiânia, GO)
Anais [e-book] /organização geral Marcelo Akira Inuzuka, Jean
Pierre Borges de Sousa ; organização do material Luciana Berretta e
Vinicius C. M. Borges ; projeto gráfico e editoração Rhaydrick
Sandokhan P. T. Tavares. – Goiânia : Instituto de Informática/UFG :
2015.

183 p. : il.

Inclui bibliografia.

ISSN: 2359-0386

Disponível em: <http://inf.ufg.br/erigo/AnaisERIGO2015.pdf>
e <http://erigo.net.br/anais/>

1. Software livre – Estudo e ensino. 2. Informática. I. Encontro
Regional de Informática de Goiás (3. : 2015 : Goiânia, GO). II. Inuzu-
ka, Marcelo Akira. III. Sousa, Jean Pierre Borges de. IV. Berretta,
Luciana. V. Borges, Vinicius C. M. VI. Título.

CDU: 004.4

COMITÊ

ORGANIZAÇÃO GERAL LOCAL

Marcelo Akira Inuzuka (INF-UFG)
Jean Pierre Borges de Sousa(INF-UFG)

COORDENAÇÃO DO COMITÊ CIENTÍFICO

Vinicius Borges (INF-UFG)
Luciana Berretta (INF-UFG)

COMITÊ DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA

André Ribeiro (IFGoiano/Rio Verde)
Antônio Oliveira Jr (INF/UFG)
Cristiane Bastos Rocha Ferreira (INF/UFG)
Christiane Borges (IFG/Luziânia)
Fábio S. Marques (IFG/Goiânia)
Juliana Pereira de Souza Zinader (INF/UFG)
Marcelo Akira Inuzuka (INF/UFG)
Marcos Alves Vieira (IFGoiano/Iporá)
Marcos Caetano (UnB)
Marcos Wagner de Souza Ribeiro (UFG/Jataí)
Ole Peter Smith (IME/UFG)
Otávio Calaça Xavier (IFG/Goiânia)
Paulo Cesar Ferreira Melo (IFGoiano/Ceres)
Ricardo Rocha (UFG/Catalão)
Rodrigo Cândido Borges (IFG/Inhumas)
Sérgio Teixeira de Carvalho (INF/UFG)
Taciana Novo Kudo (INF/UFG)
Tércio Alberto Santos Filho (UFG/Catalão)
Wendell Bento Geraldes (IFG/Luziânia)
William Ferreira (INF/UFG)

REVISORES EXTERNOS

Anderson Soares (INF/UFG)
Edison Morais (INF/UFG)
Eduardo Simões de Albuquerque (INF/UFG)
Fábio Moreira Costa (INF/UFG)
Fábio Nogueira Lucena (INF/UFG)
Marcelo Ricardo Quinta (INF/UFG)
Rogério Salvini (INF/UFG)
Thierson Rosa (INF/UFG)
Vinicius Sebba Patto (INF/UFG)

E-mail de Contato: erigo@inf.ufg.br

DIRETOR DO INSTITUTO DE INFORMÁTICA - UFG

Eduardo Simões Albulquerque



3ª EDIÇÃO

ERI • **GO**

ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA

ANAIIS

2015

Goiânia, GO

Apresentação

A 3ª Edição do Encontro Regional de Informática de Goiás (ERI-GO 2015) é um evento promovido pela UFG, IFGoiano e IFG. Esta edição do evento tem como objetivos: tornar público os projetos de software livre (SL) desenvolvidos regionalmente; estimular ações de pesquisa, ensino e extensão sobre a temática de SL e informática em geral nas instituições de ensino superior e centros de pesquisa no Estado de Goiás; e promover a cooperação entre produtores e usuários de software livre visando ampliar o desenvolvimento tecnológico e a inovação em soluções de SL no Estado. Além disso, o ERI-GO 2015 será realizado em conjunto com o Fórum Goiano de Software Livre (FGSL) contribuindo assim para a maior integração entre a comunidade goiana de pesquisadores e os usuários e profissionais atuantes na área de SL. O ERI-GO 2015 ocorrerá no dia 05 de dezembro de 2015, em Goiânia,GO. Dezesesseis artigos completos (apresentação oral) foram selecionados pelo comitê de avaliação técnica e científica para o ERI 2015, os quais tratam de vários temas de pesquisa e desenvolvimento em Software Livre. Os anais também estão disponibilizados eletronicamente nos sites: <http://inf.ufg.br/~erigo/AnaisERIGO2015.pdf> e <http://erigo.net.br/anais/>.

SUMÁRIO

Artigos Completos

11

- 11 Desenvolvimento de um Ambiente Virtual Inclusivo para Deficientes Visuais com o uso de *Game Engines*
Allan Costa Avelar
Luciana Oliveira Berretta
Deller James Ferreira
- 21 Configuração de Espaços Inteligentes para Sistemas Ubíquos de Monitoramento de Pacientes Domiciliares
Marcos Alves Vieira
Sergio T. Carvalho
- 33 Plano de Cuidados Ubíquo com Sistema de Notificação voltado a Pacientes Domiciliares
Eliseu Germano
Sergio T. Carvalho
Juliana Pereira de Souza-Zinader
- 45 Gamification como ferramenta auxiliar na adesão ao tratamento de hipertensão
Matheus B. Nascimento
Eduardo S. Albuquerque
- 57 Controle de Congestionamento Multiusuário Baseado em Modelo Multifractal Adaptativo, Funções de Base Ortonormais e Lógica Fuzzy
Álisson A. Cardoso
Flávio H. T. Vieira
- 69 Metodologia de Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Baseada em Maximização da Produtividade de Energia
Ricardo A. P. Franco
Flávio H. T. Vieira
Marcelo S. Castro
- 81 O Impacto das Funções de Redes Virtualizadas de um Ponto de Acesso Wi-fi no Tráfego TCP
Telmo Queiroz da Silva
Vinicius da C. M. Borges
- 91 RaspiWRT: Dispositivo Aberto para Programação e Configuração de Redes Domésticas usando Raspberry Pi e Linux
Phillipi de Oliveira Giobini
Silvia das Dores Rissino
Wilian Hiroshi Hisatugu
Renato Elias Nunes de Moraes
Rodolfo da Silva Villaça
- 101 O uso do Software Livre na educação básica, técnica e tecnológica
Wendell Bento Geraldes
- 109 Metodologia de Implantação de Plataformas MOOCs
Tadeu A. A. Borges
Ricardo H. D. Borges
Hugo A. D. do Nascimento
Marcelo Akira Inuzuka

- 121 Robótica e Lógica de Programação como forma de atrair meninas para a tecnologia
Christiane Borges Santos
Aldo Lúcio de Freitas Mundim
Audir da Costa Oliveira Filho
Luiz Fernando Batista Loja
- 131 Avaliação do Uso de Middleware Baseado em DDS para Disseminação de Dados em Smart Spaces
Marcelo Rodrigues Fortes
Fábio Moreira Costa
- 143 Uma Revisão Sistemática sobre Pesquisas em Ontologias no Contexto do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação
Maickon Assunção da Silva
Taciana Novo Kudo
Renato de Freitas Bulcão Neto
- 155 Uma Revisão Sistemática Sobre o Uso de Aprendizagem de Máquina no Monitoramento de Pacientes
Rommel Guimarães Caixeta
Renato de Freitas Bulcão Neto
- 167 Image Segmentation Based in Pulse Coupled Neural Network
Daniela O. Albanez
Sérgio F. da Silva
Marcos A. Batista

Desenvolvimento de um Ambiente Virtual Inclusivo para Deficientes Visuais com o uso de *Game Engines*

Allan Costa Avelar, Luciana de Oliveira Berretta, Deller James Ferreira

Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação – Instituto de Informática (INF) –
Universidade Federal de Goiás (UFG) – Campus Samambaia
74690-900 – Goiânia – GO – Brasil

allanc.avelar@gmail.com, luciana.berretta@gmail.com,
dellerjames@gmail.com

Abstract. *This paper presents the development of a virtual model of a university campus for mobile devices, using the tool Unreal Engine 4 to assist mainly visually impaired to move around in the real environment. The system allows interactive navigation with sound answers that can facilitate the creation of mental map of the explored environment, and consequently, a more autonomous navigation.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma maquete virtual de um campus universitário para dispositivos móveis, com o uso da ferramenta Unreal Engine 4, para auxiliar principalmente deficientes visuais a se locomoverem no ambiente real. O sistema permite uma navegação interativa com respostas sonoras que pode propiciar a criação do mapa mental do ambiente explorado, e consequentemente, uma navegação mais autônoma.*

1. Introdução

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 285 milhões de pessoas ao redor do mundo possuem algum tipo de deficiência visual (WHO Media Centre, Jun, 2012). No Brasil, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), mais de 506 mil pessoas são cegas e mais de 6 milhões possuem deficiência visual severa.

As maiores dificuldades enfrentadas pelos deficientes visuais estão ligadas às limitações no campo da locomoção (Machado, 2003). Uma pessoa para se deslocar de um ponto para outro, é fundamental saber onde se está em relação à onde se deseja ir e em que direção se deve seguir (Silverman; Choi, 2005). Deve-se construir um mapa cognitivo do ambiente a sua volta (Monteiro, 2004). O mapa cognitivo é uma representação mental de um ambiente. Estes mapas são representações de indícios visuais, táteis e auditivos que modelam o ambiente e permitem as pessoas se localizarem no espaço (Zanelli; Andrade; Bastos, 2007). Para Lloyd e Buncch (2005), estes mapas são estruturas de memórias internas que representam a informação espacial aprendida.

Vários estudos recentes (Loomis, et al., 1994), (Ohuchi et al., 2006), (Sanchez, 2010), (Zollmer; Huber, 2011), (NSK, 2011), (Patel, 2012), (Oliveira, et al, 2015), relatam que os mapas cognitivos espaciais podem ser desenvolvidos, por deficientes visuais, por meio da interação com o Ambiente Virtual com respostas sonoras.

Um Ambiente Virtual (AV) pode ser entendido como um sistema de software que

cria a ilusão de um mundo que não existe na realidade. Isto requer a combinação de entrada (interação do usuário), computação (simulação de processos) e saída (estímulos multi-sensoriais). Pode ter várias formas, representando prédios ou objetos ou não ter nenhuma referência no mundo real, constituindo-se um modelo abstrato (Ribeiro, 2006).

Os Ambientes Virtuais têm sido considerados como a forma mais natural de interação entre homem e máquina, pois permitem que o ser humano use seus sentidos, como tato, audição e visão, de forma semelhante ao mundo real, para realizar operações, enviando e recebendo informações do computador (Mine, 1995).

O presente trabalho propõe um ambiente virtual com respostas sonoras para dispositivos móveis, desenvolvida com a ferramenta *Unreal Engine 4*, para auxiliar deficientes visuais a navegarem no campus universitário.

O artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados os trabalhos relacionados. Na seção 3 é descrita a ferramenta *Game Engine* e algumas de suas características. Os elementos do Ambiente Virtual e a forma com a ferramenta auxilia na construção desses elementos são destacados na seção 4. As seções 5 e 6 descrevem a implementação e o funcionamento do sistema. E finalmente, na seção 7, são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

A *HKS Architects*, uma grande e importante empresa de arquitetura, usa o motor gráfico *Unreal* em seus maiores projetos. Com uma equipe dedicada para a modelagem, a empresa revolucionou o mercado ao usar maquetes interativas. Segundo a empresa, não há comparação entre usar modelos 3D realistas no lugar de perspectivas 2D, no qual o cliente usaria a imaginação para visualizar a construção como um todo. O *AT&T Stadium* (lar do time de futebol americano *Dallas Cowboys*), o estádio do *Indianapolis Colts* e o estádio de futebol em *Liverpool* são exemplos de maquetes virtuais construídas com uso da *Engine* (Gaudiosi, J, 2011). A Figura 1 apresenta a visão superior do *AT&T Stadium* modelado com a *Unreal Engine 3*.



Figura 1. *AT&T Stadium*

A *Immersive Design Studios* está desenvolvendo uma experiência imersiva para seu centro de vendas de imóveis. A ideia do projeto é criar um ambiente único de vendas da mais alta torre residencial do mundo. Com o centro de vendas imersivo, os usuários

começam a sua visita da mesma forma que faria na vida real, tendo controle dos espaços do imóvel que deseja conhecer, por exemplo, visitar os jardins e quadras de basquete, ou passar algum tempo no spa (Van Den Bulcke, 2015). A Figura 2 apresenta a visão exterior do centro de vendas de imóveis modelado com *Unreal Engine 4*.



Figura 2. Centro de venda de imóveis

Sánchez et al. (2010) criaram o *Audio-Based Environment Simulator*, uma ferramenta para auxiliar o desenvolvimento das habilidades cognitivas e sensoriais de pessoas cegas e baixa visão. No *Audio-Based Environment Simulator*, o usuário explora um prédio, movendo-se no ambiente e ouvindo sugestões depois de cada passo. Após a utilização desse jogo, os usuários foram capazes de navegar no prédio real. A Figura 3 apresenta (A) a planta real de um edifício; (B) a representação virtual da planta do edifício mostrando vários objetos com os quais o usuário pode interagir.

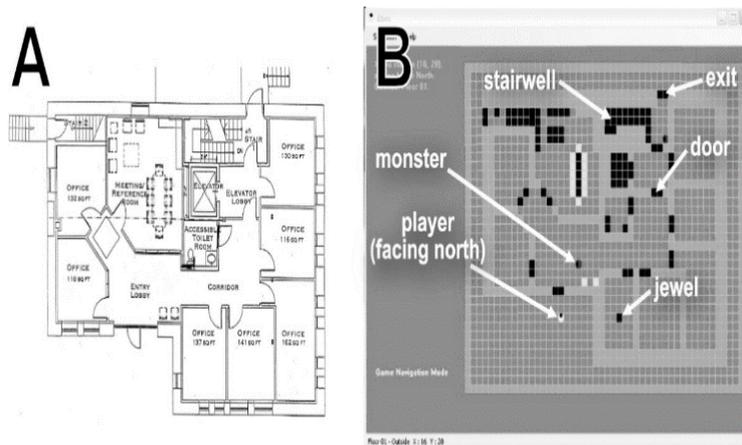


Figura 3. *Environment Simulator*

No trabalho de Oliveira et. al (2015), foi desenvolvida uma interface de locomoção com interação natural para auxiliar deficientes visuais a se locomoverem em ambientes desconhecidos. O sistema é um ambiente virtual controlado pelo dispositivo *Kinect*. O ambiente virtual é usado para fornecer aos usuários informações espaciais por meio de instruções de áudio e o *Kinect* é utilizado para o reconhecimento de poses pré-definidas e para a realização de ações de exploração e navegação no ambiente. A figura 4 apresenta a interface do sistema.

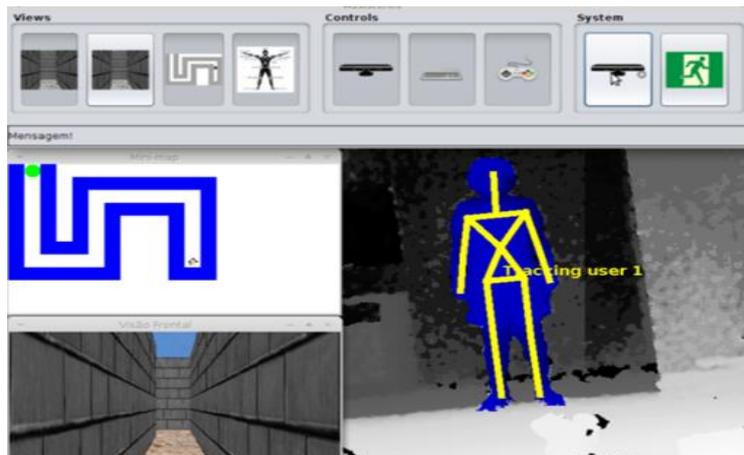


Figura 4. Interface do Sistema Oliveira et. al

A maquete virtual deste trabalho, foi desenvolvida para dispositivos moveis, diferentemente dos trabalhos de Sanchez (2010) e Oliveira et. al (2015) que são para *desktop*. O usuário não necessita de nenhum treinamento especial para utilizá-la, o processo é natural e intuitivo, é preciso apenas repetir os movimentos padrões de deslizar os dedos na tela do *smartphone* ou *tablet*.

3. Game Engine (Motor Gráfico)

As ferramentas para criação de jogos e ambientes virtuais oferecem funcionalidades que possibilitam um maior nível de abstração e, principalmente, permitem a construção de códigos portáteis (Coelho; Iorio, 2005).

O *Game Engine* tem por finalidade simular a física do mundo real dentro do ambiente virtual. Pode ser considerado “a alma” de uma animação interativa, pois, é a parte do *software* que controla e permite a interação dos objetos no ambiente (Brito, 2011).

O *engine*, segundo Clua e Bittencourt (2005) tem a função de entender-se com o *hardware* gráfico, controlar os modelos para serem renderizados e tratar das entradas de dados do usuário e do processamento de baixo nível. De acordo com as funcionalidades para a criação e o desenvolvimento dos ambientes virtuais podem ser subdivididos nas seguintes ferramentas:

- *Engine Core* – componente responsável por executar a aplicação do jogo, manipular a fase e os objetos e renderizar as cenas.
- *Engine SDK* – código fonte do *engine core*. Através dele pode-se alterar o funcionamento do *engine*.
- *Level Editors* – componentes que permitem unificar modelagens feitas em diversos programas, associá-los à programação e inserir códigos em *scripts*. Em muitos casos, dentro destes editores é possível também criar modelos 3D.
- Conversores/Exportadores - instrumentos para importar modelos para o formato específico do *engine*. Estes conversores poderão ser *plug-ins* instalados ou podem estar incluídos no *level editor*.
- *Builders* – componentes que permitem realizar os pré-processamentos para algumas operações que são necessárias.

- Linguagens *Script* – cada *engine* possui sua linguagem de programação *script*, as mais comuns são: *JavaScript*, *Python* e *LUA*. A lógica do jogo e a Inteligência Artificial dos elementos dinâmicos são implementados sobre *scripts* e não diretamente sobre o *engine core*.

3.1. Unreal Engine 4

Para a criação do ambiente virtual do campus universitário, foi utilizada a *Unreal Engine 4*, que é um conjunto completo de ferramentas, gratuito, de desenvolvimento de ambientes virtuais e jogos (What is Unreal, set 2015).

A primeira versão da *Unreal* foi criada em 1998, sendo que o motor já contava com detecção de colisão, inteligência artificial e renderização, sistema de rede e sistema de arquivo, linguagem de *script* e um sistema cliente-servidor.

Em 2002, surgiu sua segunda versão com código de renderização totalmente reescrito. Tornou-se uma ferramenta de desenvolvimento multi-plataforma.

A *Unreal Engine 3* chegou com uma grande adição de efeitos gráficos e novos recursos, que facilitaram muito o desenvolvimento e o aprendizado.

Em sua última versão, a *UE4*, apresentou recursos que facilitam o processo de animação facial, texturas de plantas, inteligência artificial, construção de cenários; adicionou o recurso de iluminação global em tempo real usando o algoritmo *voxel cone tracing*, eliminando a iluminação pré-renderizada e acrescentou suporte a realidade virtual, permitindo que o grau de imersão no mundo virtual e as possibilidades de uso sejam ainda maiores. Além de dar suporte para o desenvolvimento de projetos em várias plataformas como, *web*, *mobile* e *desktop* (What is Unreal, set 2015).

4. Elementos do Ambiente Virtual

4.1. Cenário

Cada objeto que vemos ou interagimos no cenário do ambiente virtual é composto de uma coleção de malhas estáticas, volumes, luzes e *scripts*. Quanto mais detalhes em um cenário, mais processamento e memória são requeridos.

De acordo com a documentação da *Unreal Engine 4*, um cenário é composto das classes *GameMod*, que define o tipo e regras do ambiente; e *GameState* que contém as informações de estado do ambiente. O *PlayerController* permite que os usuários possuam personagens para que possam ter algum tipo de representação no ambiente e também dão aos usuários controles de entrada, e uma *PlayerCameraManager* para a manipulação de vista da câmera.

A opção de câmera escolhida para esse trabalho é a que apresenta a visão em primeira pessoa, ou seja, representa o ponto de vista do usuário no cenário e como ele vê o mundo. Neste cenário também inserimos um *PlayerStart*, que é um ator que é colocado para designar a posição inicial do usuário quando o aplicativo está em execução.

A Figura 5 apresenta um fluxograma que ilustra como as classes básicas da ferramenta se relacionam entre si. Essas classes criam todos os tipos de atores. Esses atores podem ser qualquer objeto, pois são uma classe genérica com suporte a

transformações 3D, como posicionamento, rotação e escala. Existem vários tipos diferentes de atores, a exemplo alguns atores usados no projeto: *StaticMeshActor*, *CameraActor* e *PlayerStartActor*.

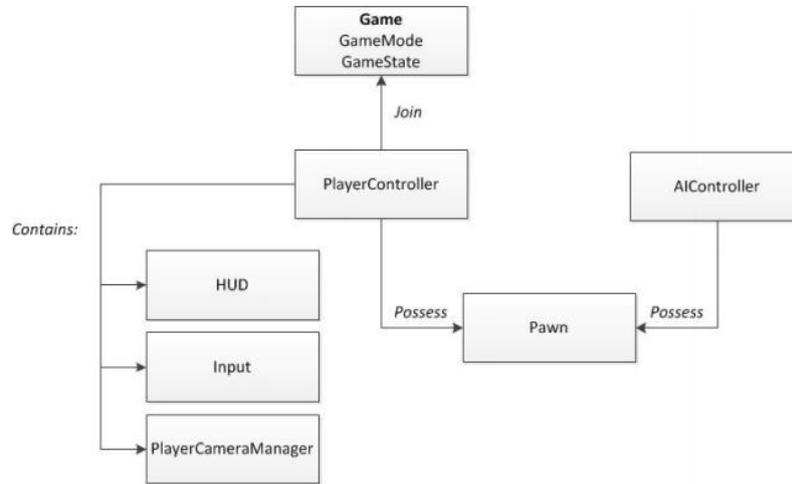


Figura 5. Classes básicas da Unreal 4.0

4.2. Iluminação do Ambiente Virtual

A ferramenta *Lightmass* é responsável por toda complexidade das interações de luz, sombra e reflexão e por pré-computar toda posição de luz do ambiente (Gameplay Programming, set 2015). Como o projeto é focado em dispositivos móveis, muitos cálculos de luz influenciam diretamente no desempenho da aplicação, por isso foram utilizados os tipos mais simples de luzes no cenário.

4.3. Materiais do Ambiente

StaticMesh é um tipo simples de ator que exibe uma malha na cena. Estas malhas são estáticas e sua geometria não muda (Gameplay Programming, set 2015). Esses atores são geralmente usados como geometria no mundo e malhas decorativas para criar o ambiente. No ambiente virtual do campus universitário, foram usados principalmente para projetar a arquitetura dos prédios e caminhos do cenário.

4.4. Som do Ambiente

Atores de som ambiente são usados para reproduzir sons que podem ser *loop* ou não *loop* e têm espacialização e atenuação. O formato aceito é o *.wave*, que é facilmente importado para a *Unreal* e colocado dentro do cenário (Gameplay Programming, set 2015). No projeto foram utilizados vários sons para que pudesse orientar o usuário, informando os nomes de prédios e suas distâncias em relação ao usuário. A figura 6 (a), mostra como são posicionados os atores de som ambiente. Cada ícone, representa uma área que executa um som específico em sua delimitação, como identificada nas linhas amarelas da figura 6 (b).

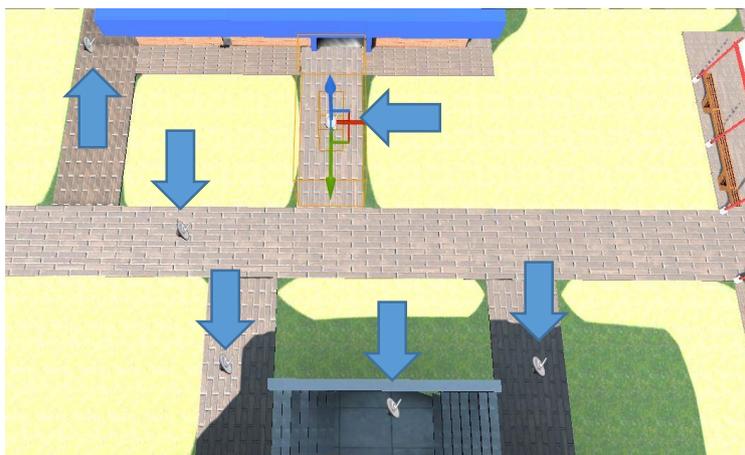


Figura 6 (a). Posicionamento das áreas de som

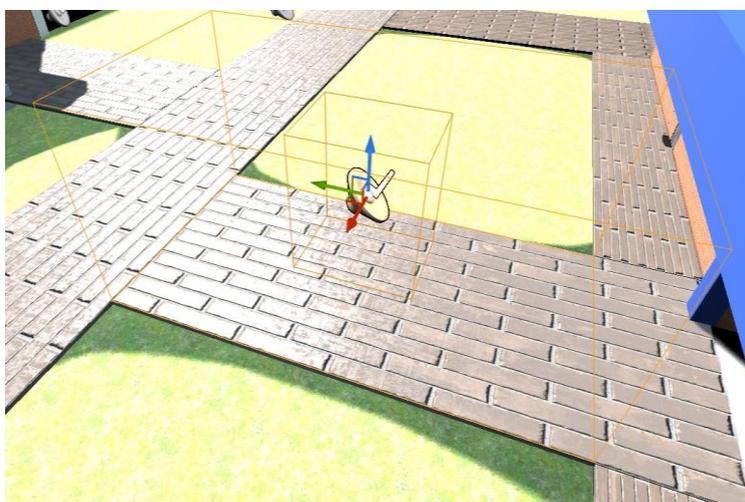


Figura 6 (b). Delimitação da área de som ambiente

5. Implementação do Ambiente Virtual

O desenvolvimento do campus universitário virtual, foi realizado com a utilização do motor gráfico *Unreal Engine 4*. O sistema operacional *mobile* utilizado para executar a aplicação é o *Android 4.4 KitKat*. Como diferentes dispositivos suportam diferentes formatos, a versão do *Android* escolhida e testada, foi para dispositivos (*smarthphones* ou *tablets*) baseados nos processadores *SnapDragon* da *Qualcomm*.

O design estrutural do mundo virtual foi projetado com ferramentas do próprio motor gráfico utilizado. Estruturas como paredes, fachadas, escadas e placas foram criadas com as *StaticMesh* e *Brushes*. Também foram utilizados objetos criados fora do motor gráfico, janelas, calçadas e ruas, foram obtidos usando modelos 3D disponíveis no *SketchUp* e sua *Warehouse*. Para usá-los foi preciso exportar os objetos usando o *SketchUp* no formato *.fbx*, que é o formato aceito pelo motor gráfico, e importá-los ao cenário.

A modelagem do ambiente teve como base imagens de satélite e fotografias dos prédios, corredores e ruas do campus universitário. Para criar um mundo virtual com tamanho proporcional ao ambiente real, foi utilizada a ferramenta de medição de distância

do *Google Maps*. Assim, foi possível obter a largura e comprimento dos prédios e a distância entre eles. A Figura 6 apresenta parte da visão, em *wireframes*, do campus universitário modelado em *Unreal Engine 4*.

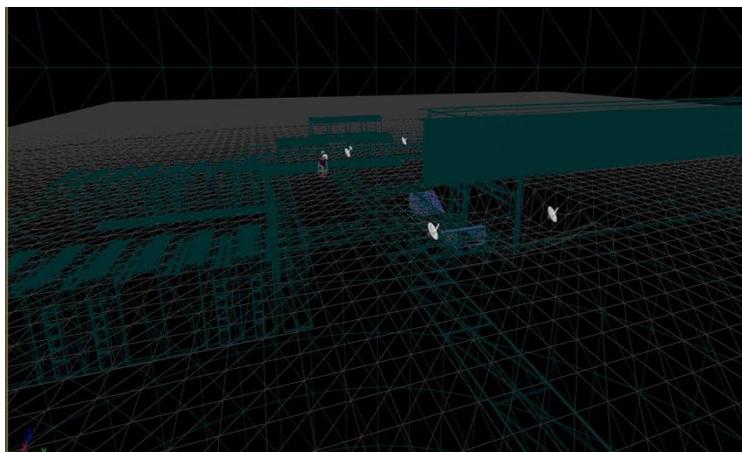


Figura 7. Visão em *wireframes*

6. Funcionamento do Sistema

A navegação no ambiente virtual é realizada com a utilização de *smartphones* ou *tablets*. O usuário utiliza o movimento dos dedos sobre a tela sensível ao toque para movimentar a câmera em primeira pessoa no ambiente. O controle do lado esquerdo do dispositivo, permite deslocar a câmera pelo cenário nas direções: frente (norte), atrás (sul), esquerda (oeste) e direita (leste), fazendo com que simule uma pessoa andando pelo ambiente nos respectivos sentidos. Já o controle do lado direito é responsável por girar a câmera em um ângulo de 360° graus. A combinação desses dois comandos permite que o usuário vá a qualquer parte do cenário sem muito esforço.



Figura 8. Disposição dos controles de navegação

Assim que o usuário inicia o aplicativo, uma mensagem em forma de áudio é emitida pelo som ambiente, com a função de informar o usuário o local onde se encontra no ambiente virtual, os nomes e as distâncias/direções dos prédios que existem a sua volta. Por exemplo, “Você está na frente do centro de aulas X. A 60 metros a oeste está a Faculdade Y”.

De acordo com a interação do usuário, outros sons posicionados em lugares específicos no cenário informam a existência de objetos, como escadas, ponto de ônibus, faixa de pedestre, corredores, entre outros. Quando o usuário se distanciar do ponto central da área do som ambiente o áudio irá atenuar, e desaparecer se ele sair dos limites da área, o que passa a sensação de movimento no ambiente. No percurso entre um prédio e outro, há vários sons que são emitidos com a presença do usuário para que ele saiba exatamente o local onde se encontra e para onde deseja ir.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

O ambiente virtual para dispositivos móveis desenvolvido neste trabalho, abrange vários tipos de usuários e tem o propósito de ajudar qualquer pessoa, principalmente deficientes visuais, a criar o mapa mental do ambiente real e consequentemente, navegar com mais autonomia e facilidade no mesmo.

O motor gráfico *Unreal 4.0*, criado pela *EPIC GAMES*, se mostrou eficiente no desenvolvimento do ambiente virtual. Assim é possível que a ferramenta seja utilizada facilmente para o desenvolvimento de qualquer outro ambiente virtual baseado em um ambiente real.

Como trabalho futuro pretende-se avaliar o desempenho do sistema e verificar se os usuários são capazes de criar o mapa cognitivo do ambiente virtual explorado e deseje-se evoluir esse sistema e transformá-lo em jogo educacional para deficientes visuais.

Referências

- Brito, A. (2011). *Blender 3D Jogos e Animações Interativas*. São Paulo: Novatec Editora.
- Clua, E. W. G.; Bittencourt, J. R. (2005). Desenvolvimento de Jogos 3D: Concepção, Design e Programação. *Anais da XXIV Jornada de Atualização em Informática do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, pp. 1313-1356, São Leopoldo, Brazil, Julho de 2005.
- Coelho, R. S.; IORIO, V. O. (2005). Desenvolvimento de Jogos de Computadores Usando Software Livre. *INFOCOMP Journal of Computer Science*, vol. 4, no. 2, pp.79-84.
- Gaudiosi, J. (2011). "Cowboys stadium: Unreal engine 3 brings architecture to life". Disponível em: <https://www.unrealengine.com/showcase/cowboy-stadium>. Acesso em: 19 set 2015.
- IBGE. Censo Demográfico de 2010. Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência.
- J. Sanchez, M. Saenz, A. Pascual-Leone, and L. Merabet, (2010). "Navigation for the Blind through Audio-Based Virtual Environments," in 28 th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems.
- Lloyd, R. E.; Buncch, L. R. (2005). Individual differences in map reading spatial abilities using perceptual and memory. *Cartography and Geographic Information Science*.
- Loomis, J. M.; Golledge, R. G.; Klatzky, R. L.; Speigle, J. M.; Tietz, J. (1994). Personal guidance system for the visually impaired. *Communications of the ACM*, v. 2, p. 85–91.

- Mine, M. (1995). Virtual Environment Interaction Techniques. UNC Chapel Hills DS Dept.
- Monteiro, L. M. F. de. (2004). Apostila do Curso de Orientação e Mobilidade. Rio de Janeiro - RJ.
- M. Zollner and S. Huber (2011). NAVI - A Proof-of-Concept of a Mobile Navigational Aid for Visually Impaired Based on the Microsoft Kinect, in *Interact*, pp. 584-587.
- NSK - Motion & Control (2012). NSK Develops a Guide-Dog Style Robot, Acesso em: Oct 2011. [Online].
- Ohuchi, M.; Iwaya, Y.; Suzuki, Y.; Munekata, T. (2006). Cognitive-map formation of blind persons in a virtual sound environment. In: 2th International Conference on Auditory Display .p. 20–23.
- Oliveira, L., et. Al (2015). Locomotion Interface with Natural Interaction for Assisting Mobility of Visually Impaired. *IEEE Latina Americana*.
- Patel, K.K.; Vij, S. (2012). Spatial Learning using locomotion Interface to Virtual Environment. *IEEE Transaction on Learning Tecnologies*.
- Ribeiro, M. W. S. (2006). Arquitetura para Distribuição de Ambientes Virtuais multidisciplinares, UFU.
- Silverman, I.; Choi, J. (2005). Locating places. *The handbook of evolutionary psychology*, The handbook of evolutionary psychology, New York, p. 177–199.
- Unreal Documentation - Android Quick Start. Disponível em: <https://docs.unrealengine.com/latest/CHN/Platforms/Android/GettingStarted>. Acesso em: 6 set 2015.
- Unreal Documentation - Gameplay Programming. Disponível em: <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Programming/UnrealArchitecture>. Acesso em: 5 set 2015.
- Unreal Documentation - What is Unreal Engine 4. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/what-is-unreal-engine-4>. Acesso em: 6 out 2015.
- Van Den Bulcke, Kora. (2015). “Immersive Design Studios Takes UE4 Beyond Gaming”. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/showcase/immersive-design-studios-beyond-gaming>. Acesso em: 20 set 2015.
- Who Media Centre. Visual Impairment and blindness. (2012)
- Zanelli, J. C.; Andrade, J. E. B.; Bastos, A. V. B. (2007). *Psicologia, organizações e trabalho no Brasil*. Porto Alegre: Artmed.

Configuração de Espaços Inteligentes para Sistemas Ubíquos de Monitoramento de Pacientes Domiciliares

Marcos Alves Vieira^{1,2}, Sergio T. Carvalho¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Goiânia – GO – Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano)
Iporá – GO – Brasil

{marcosalves, sergio}@inf.ufg.br

Abstract. *The world population is getting older and the technology can be a great ally in developing solutions to facilitate the day-to-day of the elderly. Advances in electronics are enabling the creation of everyday devices with computing capabilities, called smart objects. Smart objects compose smart spaces which host ubiquitous systems, helping people in performing their tasks. Each user carries their smart objects, preferences and peculiarities, forming their personal smart space. This paper presents a metamodel to enable the design of personal and fixed smart spaces to host ubiquitous systems aimed at remote patient monitoring. As a means to validate the metamodel, an example of its usage is shown in the scenario of a smart home.*

Resumo. *A população mundial está envelhecendo e a tecnologia pode ser uma grande aliada no desenvolvimento de soluções para facilitar o dia a dia dos idosos. Os avanços em eletrônica estão possibilitando a criação de dispositivos do cotidiano com capacidades computacionais, chamados de objetos inteligentes. Os objetos inteligentes compõem espaços inteligentes e estes hospedam sistemas ubíquos, auxiliando as pessoas na realização de suas tarefas. Cada usuário carrega consigo seus objetos inteligentes, preferências e particularidades, formando seu espaço inteligente pessoal. Este artigo apresenta um metamodelo para modelagem de espaços inteligentes pessoais e fixos para hospedagem de sistemas ubíquos voltados ao monitoramento remoto de pacientes. Como forma de validar o metamodelo, um exemplo de seu uso é mostrado no cenário de uma casa inteligente.*

1. Introdução

O crescimento da população de idosos é um fenômeno mundial, não estando restrito apenas aos países desenvolvidos. O declínio da fecundidade, associado com a queda da mortalidade acarretou em um processo de envelhecimento populacional e de aumento da longevidade da população [Alves et al. 2007]. Projeções da Organização Mundial de Saúde (OMS) indicam que até o ano de 2050 a proporção de idosos irá ultrapassar um quinto da população mundial [World Health Organization 2014]. Para acompanhar este crescimento, a OMS recomenda uma série de medidas, entre elas, a prevenção e tratamento de doenças crônicas associadas ao envelhecimento, e o desenvolvimento de serviços que facilitem o dia a dia dos idosos.

Nesse sentido, uma das medidas que podem ser tomadas é a Assistência Domiciliar (AD), uma vez que reduz os custos do tratamento e tem como característica ser uma abordagem menos intrusiva. Além disso, a AD possibilita o aumento da adesão do paciente, pois permite prosseguimento ao seu tratamento em casa, onde outras atividades do seu cotidiano podem ser desenvolvidas paralelamente.

A tecnologia é uma grande aliada da AD, pois possibilita o acompanhamento remoto de pacientes, viabilizado pela crescente miniaturização dos equipamentos de monitoramento de sinais vitais e das técnicas de computação ubíqua, as quais oferecem uma forma transparente de integrar dispositivos do mundo físico com os sistemas computacionais.

O conceito de ubiquidade vislumbrado por Mark Weiser [Weiser 1991] está sendo concretizado pela recente convergência, disseminação e popularização das tecnologias de rádio, dos microprocessadores e dos dispositivos eletrônicos digitais pessoais, aliadas aos novos paradigmas computacionais, como a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) e a Web das Coisas (*Web of Things* - WoT).

Nesse contexto, dispositivos inteligentes, tanto móveis quanto fixos, coordenam-se entre si para prover aos usuários acesso imediato e universal a novos serviços que visam aumentar as capacidades humanas. A computação ubíqua permite incorporar tecnologia de forma transparente a ambientes físicos, possibilitando auxiliar as pessoas na realização de suas tarefas diárias de forma contínua e onipresente. Os dispositivos são integrados aos espaços físicos cotidianos, transformando-os, assim, em espaços inteligentes.

Espaços inteligentes, porém, são complexos e difíceis de modelar e manter, pois, entre outros fatores, precisam lidar com diferentes objetos inteligentes (e.g., sensores de sinais vitais e de movimento; atuadores, tais como fechaduras e interruptores inteligentes; e dispositivos como TVs, *smartphones* e *tablets*) e, ainda, com a mobilidade do usuário, que envolve, por exemplo, a sua entrada e saída de diferentes ambientes, tais como a sala, o quarto ou o banheiro de uma residência.

Este artigo apresenta um metamodelo para auxiliar os engenheiros de software na modelagem de espaços inteligentes mistos, ou seja, espaços inteligentes compostos tanto por espaços inteligentes fixos quanto por espaços inteligentes pessoais. O metamodelo proposto possibilita uma visão em alto nível dos componentes do espaço inteligente e suas inter-relações, facilitando a construção de sistemas ubíquos voltados ao monitoramento remoto de pacientes. O uso do metamodelo é exemplificado no cenário de uma casa inteligente, na qual residem dois idosos que possuem, cada um, seu próprio sistema de saúde pessoal, que compartilha os objetos inteligentes da casa com outra aplicação ubíqua.

O restante do trabalho está organizado em 5 (cinco) seções. A Seção 2 discorre sobre alguns dos fundamentos relacionados à modelagem de espaços inteligentes. A Seção 3 apresenta a proposta para modelagem de espaços inteligentes, e a Seção 4 demonstra a aplicação do metamodelo proposto. A Seção 5, por sua vez, aponta alguns trabalhos relacionados e, por fim, a Seção 6 traz a conclusão e as perspectivas de trabalhos futuros.

2. Fundamentos para Modelagem de Espaços Inteligentes

Esta seção apresenta alguns dos fundamentos teóricos necessários para a construção de um metamodelo para modelagem de espaços inteligentes.

2.1. Computação ubíqua

Mark Weiser [Weiser 1991] vislumbrou a possibilidade de tornar a utilização da computação invisível ao usuário, fundindo-a com elementos do dia-a-dia, ou seja, fazendo com que o usuário não precise perceber a tecnologia para aproveitar seus benefícios. Segundo este conceito, a computação estaria permeada nos objetos do ambiente físico do usuário, não requerendo dispositivos computacionais tradicionais para a interação, tais como teclado e *mouse*. Na computação ubíqua, o foco do usuário sai do dispositivo computacional que ele manipula e passa para a tarefa ou para a ação a ser realizada.

Sistemas de computação ubíqua são encontrados em diversos domínios. Um sistema ubíquo para assistência domiciliar, por exemplo, pode ser utilizado para identificar as atividades físicas cotidianas de um indivíduo ou auxiliar no tratamento de pessoas, indicando os horários para tomar as medicações [Sztajnberg et al. 2009, Carvalho et al. 2011]. Sistemas ubíquos para aprendizagem podem possibilitar a formação de grupos de alunos para trabalhar em conjunto na solução de um determinado problema proposto pelo professor, cada um utilizando seu próprio dispositivo móvel pessoal [Yau et al. 2003], ou facilitar a participação em salas de aula virtuais por meio de reconhecimento de voz e gestos [Shi et al. 2003].

2.2. Rede corporal

Os avanços tecnológicos, a miniaturização de dispositivos e a crescente eficiência destes no que diz respeito ao consumo de energia possibilitaram uma nova geração de dispositivos vestíveis [Jovanov et al. 2005] que podem ser utilizados, por exemplo, em aplicações de monitoramento da saúde. Distribuídos pelo corpo humano, seja diretamente na pele, seja como parte de uma vestimenta especial, estes dispositivos são capazes de monitorar continuamente diversos sinais vitais humanos e outros parâmetros fisiológicos, tais como taxa de respiração, frequência cardíaca, temperatura corporal, pressão arterial e saturação de oxigênio, além da postura e, ainda, da atividade física que a pessoa esteja desempenhando em um dado momento [Lo et al. 2005].

Esses dispositivos são interligados entre si e, geralmente, a um dispositivo central, também chamado de *sink*, que serve como agregador dos dados coletados pelos dispositivos, formando uma rede corporal [Latré et al. 2011, Chen et al. 2011]. O dispositivo central, por sua vez, pode ser conectado à Internet, e, no caso de aplicações de saúde, transmitir os dados para um hospital ou para um profissional de saúde.

O conceito de rede corporal, também conhecido como Rede de Sensores Corporais (do inglês, *Body Sensor Network - BSN*), pode ser dividido em duas categorias: Rede de Área Corporal (do inglês, *Body Area Network - BAN*), quando os dispositivos são interligados por meio de fios; Rede de Área Corporal Sem Fio (do inglês, *Wireless Body Area Network - WBAN*), quando os dispositivos são interligados por uma rede sem fio (e.g. ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth) [Chen et al. 2011].

2.3. Espaços Inteligentes

A convergência de tecnologias móveis e da Internet, propiciada principalmente pela popularização dos dispositivos e pela facilidade de acesso por meio de conexões móveis de terceira e quarta gerações (3G e 4G), está tornando o mundo mais conectado e com acesso à Internet mais disponível. Isso combinado com Web das Coisas (*Web of*

Things - WoT) [Guinard et al. 2009] e Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) [Atzori et al. 2010], traz como potencial a capacidade de interligar, monitorar e controlar remotamente diversos dispositivos cotidianos (TVs, fechaduras, interruptores de lâmpadas, alarmes residenciais, etc.), fortalecendo o conceito de computação ubíqua.

Um espaço inteligente (do inglês, *Smart Space*) é uma área física delimitada, como uma sala, prédio ou bloco, permeada com serviços computacionais que orquestram a infraestrutura existente no ambiente [Singh et al. 2006, Coulouris et al. 2011].

Os diversos sensores, atuadores e dispositivos que um usuário carrega formam uma rede corporal [Latré et al. 2011, Chen et al. 2011] e esta, por sua vez, forma o seu espaço inteligente pessoal. Em contraste com os espaços inteligentes tradicionais que são fixos e limitados a uma determinada área lógica ou física, um espaço inteligente pessoal (do inglês, *Personal Smart Space* - PSS) é formado com base nos conceitos de computação ubíqua aliados a uma rede corporal. O PSS acompanha o usuário durante sua mobilidade, ou em outras palavras, o PSS acompanha seu dono, estando sempre disponível e permitindo a interação com outros espaços inteligentes, sejam fixos ou mesmo pessoais [Taylor 2008].

Programar apenas espaços inteligentes fixos pode levar a ilhas de ubiquidade separadas por espaços vazios, onde o suporte à computação ubíqua é limitado, pois não há o compartilhamento de objetos inteligentes entre esses espaços inteligentes [Crotty et al. 2009].

A nossa proposta de modelagem de espaços inteligentes considera o conceito de espaços inteligentes pessoais explorado pelo projeto PERSIST (*Personal Self Improving Smart Spaces*) [Dolinar 2008], o qual apresenta a visão de que os espaços inteligentes pessoais fornecem uma interface entre o usuário e os vários serviços e dispositivos disponíveis. Dessa forma, o espaço inteligente pessoal de um usuário formado pelos objetos inteligentes (sensores, atuadores e demais dispositivos) que ele carrega consigo pode interagir com outros espaços inteligentes, sejam estes pessoais ou fixos.

2.4. Metamodelagem

O conceito de Engenharia Dirigida por Modelos (do inglês, *Model-Driven Engineering* - MDE) considera os modelos como os principais artefatos no desenvolvimento de um sistema. Assim, além de descrever ou documentar um software, os modelos também atuam no seu desenvolvimento, manutenção e operação [Seidewitz 2003, Schmidt 2006].

Um modelo é uma representação gráfica ou textual de alto nível de um sistema, onde cada um de seus elementos é uma representação virtual de um componente presente no sistema real. Os relacionamentos e as abstrações utilizadas em um modelo são descritos por um metamodelo [Völter et al. 2013]. Caso modificações sejam feitas no modelo elas também são aplicadas no sistema, ou modificações feitas no sistema são aplicadas no modelo, formando, portanto, uma conexão causal entre o modelo e o sistema.

Dada a popularidade do uso de modelos, surgiu a necessidade de uma padronização para a construção de metamodelos e modelos. Dessa forma, o *Object Management Group* (OMG) apresentou uma arquitetura de metamodelagem de quatro camadas, denominada *Meta-Object Facility* (MOF). Na MOF, cada elemento de uma camada inferior é uma instância de um elemento de uma camada superior. As camadas

MOF podem ser descritas da seguinte forma [Seidewitz 2003]:

- Camada M3: representa o meta-metamodelo da MOF, utilizado para construção de metamodelos. Outro exemplo de membro desta camada é o Ecore, derivado do MOF, mas que posteriormente evoluiu para o nível M3 por conta de suas ferramentas [Steinberg et al. 2008]. O meta-metamodelo Ecore foi usado no desenvolvimento do metamodelo proposto neste artigo (descrito na Seção 3).
- Camada M2: nesta camada estão os metamodelos que podem ser utilizados para modelar sistemas de domínio específico. A UML e o próprio metamodelo proposto neste artigo são exemplos de metamodelos que pertencem a este nível.
- Camada M1: composta por modelos que descrevem sistemas utilizando as definições presentes em seus respectivos metamodelos presentes em M2.
- Camada M0: contém as entidades ou objetos que formam o sistema em tempo de execução, que são criadas a partir das definições presentes em M1.

3. Metamodelo Proposto

A Figura 1 apresenta o metamodelo proposto para configuração de espaços inteligentes mistos, compostos por espaços inteligentes fixos e espaços inteligentes pessoais, para hospedagem de aplicações ubíquas voltadas ao monitoramento de pacientes domiciliares. A arquitetura, suas abstrações e relacionamentos propostos no metamodelo servem como linguagem de modelagem. Um exemplo de sua utilização é apresentado na Seção 4.

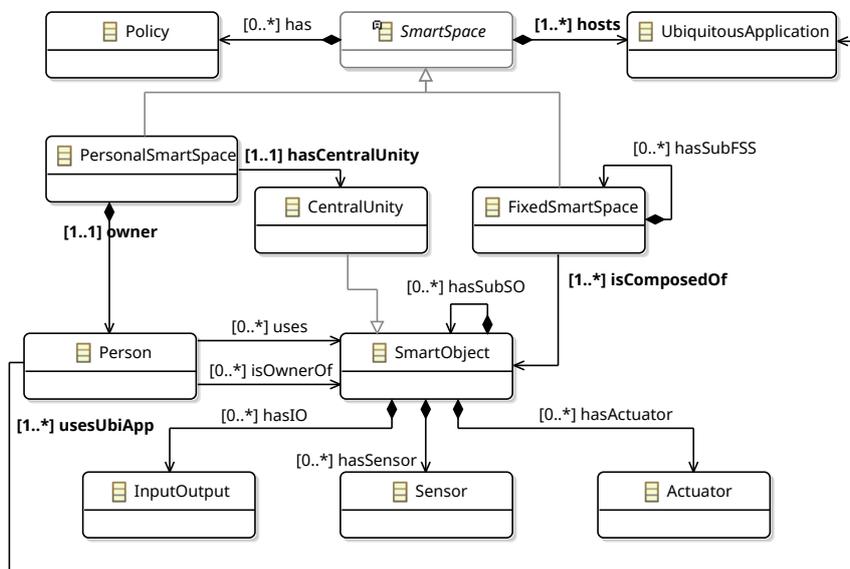


Figura 1. Metamodelo proposto para modelagem de espaços inteligentes para aplicações ubíquas de monitoramento remoto de pacientes domiciliares.

O metamodelo foi desenvolvido utilizando como base o *Eclipse Modeling Framework* (EMF)¹ [Steinberg et al. 2008] e o meta-metamodelo Ecore. O EMF é um *framework* que possibilita a construção de metamodelos com base no Ecore. Após a construção de um metamodelo no EMF, é possível instanciar um modelo com base nesse metamodelo

¹<http://www.eclipse.org/emf>

e gerar automaticamente as classes Java que o representam. Estas, por sua vez, podem ser enriquecidas posteriormente, de maneira similar a qualquer outro código Java.

Cada uma das entidades do metamodelo representa uma meta-classe de um determinado tipo, com características, funcionalidades e relacionamentos específicos, conforme descrito a seguir:

- *SmartSpace*: um espaço inteligente é uma generalização de espaços inteligentes pessoais (*PersonalSmartSpace*) e espaços inteligentes fixos (*FixedSmartSpace*), que, por sua vez, hospedam as aplicações ubíquas (*UbiquitousApplication*).
- *Policy*: um espaço inteligente pode possuir políticas (*Policy*) para a utilização dos objetos inteligentes (*SmartObject*) pelas aplicações ubíquas e pelas pessoas (*Person*) ou políticas para a utilização das aplicações ubíquas pelas pessoas. Estas políticas podem ser, por exemplo, do tipo evento-condição-ação (do inglês, *event-condition-action* - ECA) [Bailey et al. 2004]. Um exemplo de política ECA pode ser: quando uma pessoa se aproximar da TV da sala (evento), se a pessoa for do tipo paciente (condição), configurar a TV da sala como dispositivo de interface gráfica primário da aplicação ubíqua (ação).
- *UbiquitousApplication*: representa uma aplicação projetada para ser executada em um espaço inteligente pessoal (*PersonalSmartSpace*) ou fixo (*FixedSmartSpace*). Uma aplicação ubíqua é naturalmente sensível ao contexto, ou seja, ela pode reagir a mudanças “sensoriadas” no ambiente no qual ela está sendo executada. Essas informações são repassadas à aplicação por meio de um serviço de contexto externo, como o Hermes [Veiga et al. 2014] ou Context Toolkit [Salber et al. 1999]. A aplicação ubíqua pode se basear no contexto obtido para executar alguma ação no ambiente. Essa ação leva em consideração políticas (*Policy*) definidas pelo usuário e pelo espaço inteligente.
- *PersonalSmartSpace*: define um espaço inteligente pessoal. Cada pessoa, representada por uma entidade *Person*, possui seu próprio espaço inteligente pessoal e este pode ser estendido, na medida em que novos objetos inteligentes, pertencentes ou não a outros espaços inteligentes, são nele configurados.
 - *hasCentralUnity*: para que seja definido um espaço inteligente pessoal, deve haver uma unidade central (*CentralUnity*).
- *CentralUnity*: é o dispositivo central ou *sink* (mais detalhes na Seção 2.2) de um *PersonalSmartSpace*. Para definição de um espaço inteligente pessoal, deve haver um objeto inteligente com essa associação. Os sinais vitais e demais parâmetros fisiológicos do paciente capturados pelos sensores médicos vestíveis são armazenados no dispositivo central para, então, serem encaminhados ao hospital ou profissional de saúde. Faz-se necessário um *link* de comunicação entre este dispositivo e o sistema do hospital ou profissional de saúde, possibilitando a transmissão dos dados capturados. Um *smartphone* é um exemplo deste tipo de objeto inteligente. Uma rede celular 3G ou conexão Wi-Fi podem ser citados como exemplos de *link* de comunicação.
- *Person*: define uma pessoa. As associações possíveis entre uma pessoa e um objeto inteligente são:
 - *uses*: define que um objeto inteligente pode eventualmente ser compartilhado e usado simultaneamente entre espaços inteligentes. As políticas avaliadas para solução de conflitos na utilização dos objetos inteligentes

compartilhados são definidas por meio da entidade *Policy*. Por exemplo, o uso de uma mesma TV para exibir informações de diversas aplicações ubíquas, simultaneamente ou não.

- *isOwnerOf*: define que um determinado objeto inteligente é de uso particular de uma pessoa. Um objeto inteligente configurado em um espaço inteligente pessoal com associação *isOwnerOf* não pode ser compartilhado com (utilizado por) qualquer outro espaço inteligente, a não ser que haja alguma política específica para tal. Por exemplo, um sensor de eletrocardiograma requer uso continuado e suas medições são compostas por dados históricos, coletados de uma determinada pessoa durante um dado período de tempo. Dessa forma, um objeto inteligente só pode estar associado a uma única pessoa por meio da associação *isOwnerOf*.
- *FixedSmartSpace*: define um espaço inteligente fixo. Um espaço inteligente fixo pode ser constituído de vários outros espaços inteligentes fixos. Por exemplo: cada sala do instituto de informática de uma determinada universidade pode ser um espaço inteligente fixo (ou *Fixed Smart Space* - FSS). O prédio do instituto de informática, por sua vez, pode ser um FSS, constituído por suas várias salas e laboratórios. E cada instituto, ou faculdade, de uma universidade pode fazer parte do FSS de um de seus câmpus. Dessa forma, o metamodelo aqui proposto permite modelar desde espaços inteligentes pequenos e simples, como grandes e complexos, a depender da granularidade desejada no modelo.
 - *isComposedOf*: um espaço inteligente é composto por objetos inteligentes, que são compartilhados entre as pessoas que nele entram e saem. A associação *isComposedOf* indica que as políticas para utilização de um determinado objeto inteligente são regidas pelo espaço inteligente fixo ao qual este está relacionado por essa associação. Dessa forma, um objeto inteligente só pode estar associado a um único espaço inteligente fixo por meio da associação *isComposedOf*.
- *SmartObject*: representa um objeto inteligente. Um objeto inteligente pode ser composto por sensores (*Sensor*), atuadores (*Actuator*) ou interfaces de entrada e saída (*InputOutput*). Um *smartphone*, por exemplo, é um objeto inteligente que possui diversos sensores, tais como acelerômetro, bússola e medidor de temperatura; atuadores, como *vibracall* e alto-falantes; e interfaces de entrada e saída, como tela, botões físicos (liga/desliga, volume, etc...) e leitor de impressão digital. Além disso, um objeto inteligente pode ser constituído por vários outros objetos inteligentes. Porém, pode-se desejar modelar separadamente cada um destes dispositivos como um objeto inteligente independente, por exemplo, um sensor de temperatura. Dessa forma, o metamodelo permite ser tão específico quanto se desejar ou, em outras palavras, a granularidade da modelagem pode ser fina ou grossa.

4. Modelando Espaços Inteligentes para uma Aplicação de Monitoramento Remoto de Pacientes Domiciliares

Esta seção descreve um cenário e a configuração de seus espaços inteligentes utilizando o metamodelo proposto. A instância do metamodelo é apresentada na forma de um Diagrama de Objetos da UML.

4.1. Cenário

Uma casa pode reunir aplicações ubíquas exigindo a configuração de diferentes espaços inteligentes pessoais e fixos. A Figura 2 mostra o cenário de uma casa inteligente descrito a seguir.

O Senhor Genaro e a Dona Rute formam um casal de idosos que vivem juntos. Sr. Genaro possui hipertensão arterial, e, por conta disso, desenvolveu recentemente arritmia cardíaca. D. Rute também é hipertensa, além de sofrer de osteoporose. Ambos tomam medicação de forma contínua e recebem recomendação médica para realizar exercícios físicos diários. Na residência do casal foram instalados sensores e atuadores fixos. Adicionalmente, dispositivos médicos vestíveis são usados por eles de acordo com suas enfermidades. Estes objetos inteligentes enviam informações para um sistema pessoal de saúde instalado em seus *smartphones*. Tanto o Sr. Genaro quanto a D. Rute possuem os seus próprios espaços inteligentes pessoais (como representado na Figura 2), compostos pelos seus dispositivos vestíveis, seus *smartphones*, o sistema pessoal de saúde e demais dispositivos configurados sob demanda, como é o caso da TV da sala de estar, que é usada para exibir informações e alertas do sistema pessoal de saúde. Além disso há ainda na casa um sistema ubíquo de segurança, hospedado em um espaço inteligente fixo que abrange toda a casa e é composto pela sala de estar, banheiro e quarto.

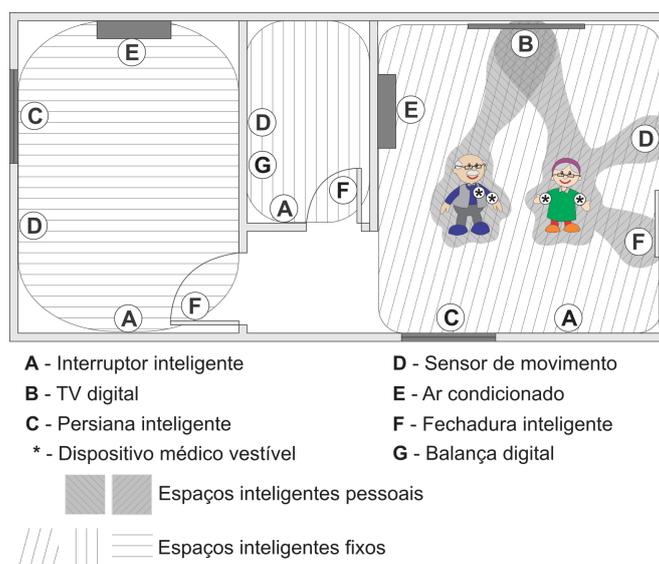


Figura 2. Cenário em que dois usuários compartilham dispositivos simultaneamente configurados em diferentes espaços inteligentes.

A Figura 3 ilustra o modelo completo da configuração do cenário, isto é, uma instância do metamodelo proposto. As entidades de cor azul e as entidades de cor alaranjada compõem os espaços inteligentes pessoais, as entidades de cor verde compõem os espaços inteligentes fixos e as entidades de cor vermelha referem-se aos objetos inteligentes que estão configurados simultaneamente em diferentes espaços inteligentes.

O usuário identificado por *patient1*, possui configurados em seu espaço inteligente pessoal um sensor de quedas (*fallDetector*) e um sensor de frequência cardíaca (*heartRateMonitor*), ambos do tipo *SmartObject* e definidos como de uso privado, isto é,

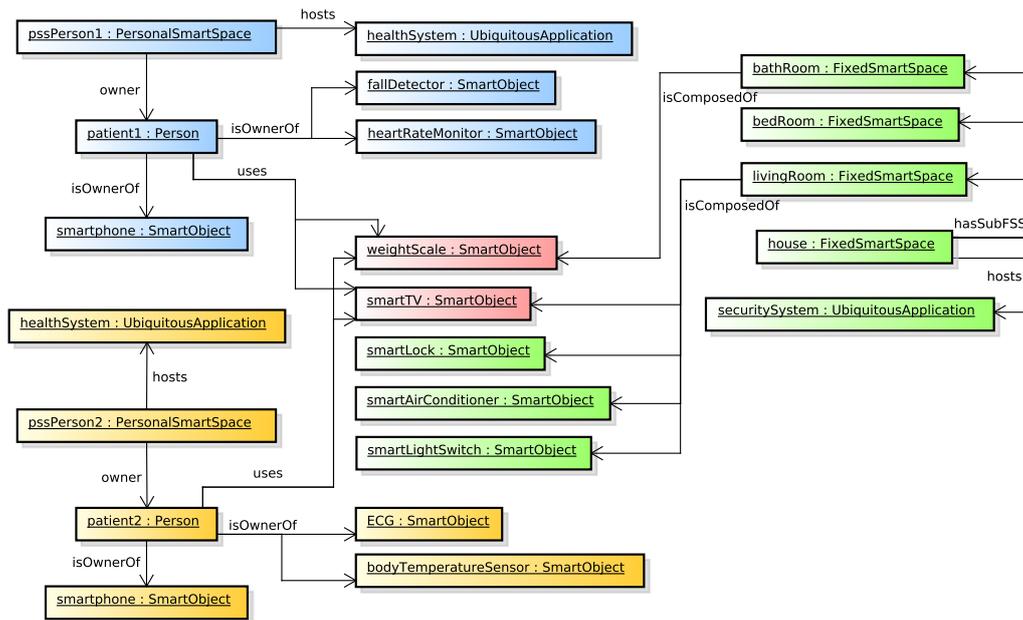


Figura 3. Configuração de uma casa inteligente, composta de espaços inteligentes pessoais e fixos, além de diversos objetos inteligentes.

não compartilhado, conforme indicado pelo papel da associação *isOwnerOf*. Além disso, o usuário eventualmente utiliza uma balança (*weightScale*) para medir seu peso, a qual é compartilhada com o usuário *patient2*, e ainda uma *SmartTV* configurada no espaço inteligente fixo *livingRoom* para exibir as informações e alertas enviados pelo sistema pessoal de saúde. Essas associações estão representadas pelo papel *uses*.

O usuário *patient2* utiliza um sensor de eletrocardiograma e um sensor de temperatura corporal, ambos vestíveis, além de ocasionalmente também medir seu peso na balança compartilhada pelo casal. Semelhante ao que acontece com *patient1*, seu sistema pessoal de saúde utiliza a *SmartTV* da sala de estar (*livingRoom*) para exibir informações e alertas.

O sistema de segurança está hospedado no espaço inteligente fixo da casa, que, neste cenário, abrange os espaços inteligentes fixos do banheiro (*bathRoom*), do quarto (*bedRoom*) e da sala de estar (*livingRoom*). O espaço inteligente fixo da sala é composto por uma fechadura inteligente (*smartLock*), um aparelho de ar-condicionado (*smartAirConditioner*) e uma *SmartTV*. No espaço inteligente fixo do banheiro está configurada a balança (*weightScale*). Os demais objetos inteligentes do cenário foram omitidos por questões de espaço e visando simplificar a leitura do modelo.

5. Trabalhos Relacionados

Existem vários sistemas ubíquos voltados ao monitoramento remoto de pacientes, como, por exemplo o ACUMAAF [de Sousa Nunes et al. 2012], e o SCIADS [Carvalho et al. 2011]. O primeiro é um sistema de acompanhamento em tempo real e avaliação remota de atividade física em grupo, enquanto que o segundo é um sistema construído para identificar a situação de saúde do paciente de forma contínua, aliando inteligência artificial e computação ubíqua. As duas técnicas também são empregadas no trabalho apresentado em [Pötter and Sztajnberg 2013].

O trabalho de Corredor *et al.* [Corredor et al. 2012] propõe uma metodologia chamada de *Resource-Oriented and Ontology-Driven Development* (ROOD), que disponibiliza um conjunto de ferramentas de modelagem e se baseia nos conceitos de ontologias e arquitetura dirigida a modelos (do inglês, *Model-Driven Engineering* - MDA) para apoiar o desenvolvimento de espaços inteligentes.

Em [Freitas et al. 2014] é apresentada a linguagem 2SML, que permite modelar espaços inteligentes em alto nível, usando a abordagem de modelos em tempo de execução. O 2SML divide a programação do espaço inteligente em dois modelos: modelo do engenheiro e modelo do usuário. Cada um desses modelos possui sua própria linguagem de modelagem, com sintaxes diferentes. Os modelos gerados devem ser processados por uma máquina própria, chamada 2SVM, que possui arquitetura em camadas, inspirada pela CVM (*Communication Virtual Machine*) [Deng et al. 2006].

O projeto PERSIST (*Personal Self Improving Smart Spaces*) [Dolinar 2008] introduz a visão de que os espaços inteligentes pessoais fornecem uma interface entre o usuário e os vários serviços e objetos inteligentes que estão disponíveis, interagindo com outros espaços inteligentes pessoais para criar um ambiente poderoso e flexível para o usuário [Crotty et al. 2009].

A nossa proposta difere dos trabalhos apresentados, pois considera que cada pessoa pode formar seu próprio *espaço inteligente pessoal*. O metamodelo proposto apresenta formas de modelar espaços inteligentes voltados à aplicações ubíquas para monitoramento remoto de pacientes domiciliares.

6. Conclusão

Este artigo apresentou um metamodelo para a configuração de espaços inteligentes em alto nível, como ferramenta auxiliar na concepção de sistemas ubíquos para o monitoramento remoto de pacientes domiciliares. Foi apresentado também um exemplo de sua utilização no cenário de uma casa inteligente.

Para definição do metamodelo, o conceito de espaço inteligente pessoal foi transportado para o domínio da informática em saúde, possibilitando a criação de modelos voltados para a configuração de espaços inteligentes mistos, ou seja, tanto fixos quanto pessoais, considerando o compartilhamento objetos inteligentes entre os espaços inteligentes.

Como próximos passos, está o detalhamento do metamodelo em relação à representação das políticas de uso dos objetos inteligentes e das aplicações ubíquas. Uma ferramenta de modelagem a partir do metamodelo proposto, com base no Eclipse EMF, pode facilitar a tarefa de modelar os espaços inteligentes e garantir sua conformidade com o metamodelo. Sendo assim, a construção de tal ferramenta também faz parte dos trabalhos futuros. Por fim, temos também como trabalho futuro, adaptar o metamodelo proposto tornando-o mais genérico e possível de ser utilizado para modelar espaços inteligentes para qualquer que seja o domínio de suas aplicações ubíquas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo suporte financeiro e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) – Câmpus Iporá pelo apoio.

Referências

- Alves, L. C., Leimann, B. C. Q., Vasconcelos, M. E. L., Carvalho, M. S., Vasconcelos, A. G. G., da Fonseca, T. C. O., Lebrão, M. L., and Laurenti, R. (2007). A influência das doenças crônicas na capacidade funcional dos idosos do Município de São Paulo. *Cad. Saúde Pública*, 23(8):1924–1930.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787 – 2805.
- Bailey, J., Papamarkos, G., Poulouvassilis, A., and Wood, P. T. (2004). An event-condition-action language for XML. In *Web Dynamics*, pages 223–248. Springer.
- Carvalho, S. T., Copetti, A., and Loques Filho, O. G. (2011). Sistema de computação ubíqua na assistência domiciliar à saúde. *Journal Of Health Informatics*, 3(2).
- Chen, M., Gonzalez, S., Vasilakos, A., Cao, H., and Leung, V. (2011). Body area networks: A survey. *Mobile Networks and Applications*, 16(2):171–193.
- Corredor, I., Bernardos, A. M., Iglesias, J., and Casar, J. R. (2012). Model-driven methodology for rapid deployment of smart spaces based on resource-oriented architectures. *Sensors*, 12(7):9286–9335.
- Coulouris, G. F., Dollimore, J., Kindberg, T., and Blair, G. (2011). *Distributed Systems: Concepts and Design*. International computer science series. Addison-Wesley.
- Crotty, M., Taylor, N., Williams, H., Frank, K., Roussaki, I., and Roddy, M. (2009). A pervasive environment based on personal self-improving smart spaces. In Gerhäuser, H., Hupp, J., Efstratiou, C., and Heppner, J., editors, *Constructing Ambient Intelligence*, volume 32 of *Communications in Computer and Information Science*, pages 58–62. Springer Berlin Heidelberg.
- de Sousa Nunes, D. F., de Souza, W. L., Francisco, A., and do Prado, M. M. P. D. (2012). ACUMAAF: Ambiente de computação ubíqua para o monitoramento e avaliação de atividade física. *XIII Workshop de Informática Médica*.
- Deng, Y., Sadjadi, S. M., Clarke, P. J., Zhang, C., Hristidis, V., Rangaswami, R., and Prabakar, N. (2006). A communication virtual machine. In *Computer Software and Applications Conference, 2006. COMPSAC'06. 30th Annual International*, volume 1, pages 521–531. IEEE.
- Dolar, K. (2008). D3.1: Detailed design for personal smart spaces. <http://www.ict-persist.eu/?q=content/persist-deliverables-and-publications>. [Online; Acessado em Julho-2015].
- Freitas, L. A., Costa, F. M., Rocha, R. C., and Allen, A. (2014). An architecture for a smart spaces virtual machine. In *Proceedings of the 9th Workshop on Middleware for Next Generation Internet Computing*, page 7. ACM.
- Guinard, D., Trifa, V., Pham, T., and Liechti, O. (2009). Towards physical mashups in the web of things. In *Proceedings of INSS 2009 (IEEE Sixth International Conference on Networked Sensing Systems)*, Pittsburgh, USA.

- Jovanov, E., Milenkovic, A., Otto, C., and De Groen, P. C. (2005). A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and rehabilitation*, 2(1):6.
- Latré, B., Braem, B., Moerman, I., Blondia, C., and Demeester, P. (2011). A survey on wireless body area networks. *Wireless Networks*, 17(1):1–18.
- Lo, B. P., Thiemjarus, S., King, R., and Yang, G.-Z. (2005). *Body sensor network—a wireless sensor platform for pervasive healthcare monitoring*. na.
- Pötter, H. and Sztajnberg, A. (2013). Arquitetura de software de um sistema de telemonitoramento de pacientes idosos. *XII Workshop de Informática Médica*.
- Salber, D., Dey, A. K., and Abowd, G. D. (1999). The context toolkit: aiding the development of context-enabled applications. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 434–441. ACM.
- Schmidt, D. C. (2006). Guest editor’s introduction: Model-driven engineering. *Computer*, 39(2):0025–31.
- Seidewitz, E. (2003). What models mean. *IEEE software*, 20(5):26–32.
- Shi, Y., Xie, W., Xu, G., Shi, R., Chen, E., Mao, Y., and Liu, F. (2003). The smart classroom: merging technologies for seamless tele-education. *IEEE Pervasive Computing*, 2(2):47–55.
- Singh, R., Bhargava, P., and Kain, S. (2006). State of the art smart spaces: application models and software infrastructure. *Ubiquity*, 2006(September):7.
- Steinberg, D., Budinsky, F., Merks, E., and Paternostro, M. (2008). *EMF: Eclipse Modeling Framework*. Pearson Education.
- Sztajnberg, A., Rodrigues, A. L. B., Bezerra, L. N., Loques, O. G., Copetti, A., and Carvalho, S. T. (2009). Applying context-aware techniques to design remote assisted living applications. *International Journal of Functional Informatics and Personalised Medicine*, 2(4):358–378.
- Taylor, N. (2008). Personal espace and personal smart spaces. In *Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops, 2008. SASOW 2008. Second IEEE International Conference on*, pages 156–161.
- Veiga, E. F., Melo e Maranhão, G., and Bulcão Neto, R. F. (2014). Apoio ao desenvolvimento de aplicações de tempo real sensíveis a contexto semântico.
- Völter, M., Stahl, T., Bettin, J., Haase, A., and Helsen, S. (2013). *Model-driven software development: technology, engineering, management*. John Wiley & Sons.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3):94–104.
- World Health Organization (2014). 10 facts about ageing and the life course. <http://www.who.int/features/factfiles/ageing/en/>. [Online; acessado em Abril-2015].
- Yau, S. S., Gupta, S. K., Karim, F., Ahamed, S. I., Wang, Y., and Wang, B. (2003). Smart classroom: Enhancing collaborative learning using pervasive computing technology. In *ASEE 2003 Annual Conference and Exposition*, pages 13633–13642. sn.

Plano de Cuidados Ubíquo com Sistema de Notificações voltado a Pacientes Domiciliares

Eliseu Germano¹, Sergio T. Carvalho¹, Juliana Pereira de Souza-Zinader¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 – 74001-970 – Goiânia – GO – Brasil

{eliseusilva, sergio, juliana}@inf.ufg.br

Abstract. *A care plan is a set of information that links patients to their health care. One of its main functions is to systematize the prescriptions elaborated by health professionals to allow better control of compliance with prescriptions. This paper presents a proposal to implement a care plan which aims to increase home patient compliance with treatments through the use of ubiquitous computing techniques. The implemented prototype has a notification system that alerts the patient on the tasks and prescriptions using a computer interface coupled to your everyday objects, such as smartphones, tablets and TVs.*

Resumo. *Um plano de cuidados consiste em um conjunto de informações que relaciona os pacientes a seus respectivos tratamentos de saúde. Uma de suas principais funções é a de sistematizar as prescrições elaboradas pelos profissionais de saúde para permitir um melhor controle do cumprimento das prescrições. Este artigo apresenta uma proposta de implementação de plano de cuidados que visa aumentar a adesão dos pacientes domiciliares aos tratamentos por meio do uso de técnicas de computação ubíqua. O protótipo implementado possui um sistema de notificações que alerta o paciente quanto às tarefas prescritas por meio de interfaces computacionais acopladas a objetos do seu cotidiano, tais como smartphones, tablets e TVs.*

1. Introdução

Devido aos avanços científicos e tecnológicos das últimas décadas, houve um expressivo aumento na expectativa de vida das pessoas, e, conseqüentemente, do número de pessoas dependentes de serviços prestados pela área da saúde. Em se tratando especialmente de idosos e pacientes com doenças crônicas (e.g., hipertensão), há ainda a necessidade de um acompanhamento contínuo do seu estado de saúde. Nesse sentido, a assistência domiciliar à saúde viabilizada pela aplicação de técnicas de computação ubíqua, tem sido investigada como uma alternativa para lidar com esses problemas [Sztajnberg et al. 2009] [Wood et al. 2008][ElHelw et al. 2009][Chung et al. 2007][Lee et al. 2008].

Quando se refere a tratamentos prolongados, em que o paciente tem um alto poder de decisão sobre as tarefas a serem realizadas, um problema recorrente é a sua baixa taxa de adesão. Em outras palavras, o paciente deixa de cumprir as prescrições a ele definidas. Uma medida para proporcionar um aumento dela é por meio do uso de um plano de cuidados [Sabaté 2003][Paz and Santos 2003], uma vez que fomenta uma maior aproximação e controle do cuidador em relação ao paciente em tratamento. Um plano de cuidados refere-se ao conjunto de prescrições voltadas ao paciente, tais como as medições que o

paciente deve realizar e com qual frequência (e.g., pressão arterial), quais medicamentos e quando devem ser ingeridos, além de recomendações voltadas à dieta e exercícios físicos, dentre outras.

A elaboração de um plano de cuidados de forma manual pode ser complexa, exigindo uma equipe com diversos profissionais de saúde com conhecimentos específicos, além de demandar o acompanhamento constante de um cuidador, tanto para lembrar o paciente da realização das tarefas prescritas no plano, quanto para verificar a realização dessas tarefas.

O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de implementação de um Plano de Cuidados Ubíquo, em que o paciente em tratamento possa ser notificado por meio do uso de tecnologias que são comuns em seu cotidiano, como, por exemplo, *smartphones*, *tablets* e TVs. Essa solução visa não apenas resolver os problemas citados anteriormente, mas também propor diversas interfaces de acesso a um sistema que permita melhor monitoramento do paciente pelo seu cuidador. Além disso, essas interfaces podem oferecer uma melhor interação tanto do paciente com o plano de cuidados, para efeitos de visualização das prescrições, quanto do cuidador com o mesmo, para a verificação do cumprimentos delas.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta conceitos de planos de cuidados e processos de enfermagem, correlacionando-os com conceitos de computação ubíqua e assistência domiciliar à saúde; a Seção 3 aborda os aspectos arquiteturais e de implementação do Plano de Cuidados Ubíquo; a Seção 4 apresenta alguns cenários de uso do protótipo implementado; e a Seção 5 apresenta as considerações finais.

2. Plano de Cuidados no contexto de Assistência Domiciliar à Saúde

São vários os motivos pelos quais a Assistência Domiciliar à Saúde tem se tornado uma alternativa aos tratamentos hospitalares convencionais. Um dos principais está relacionado com o fato de que os sistemas de saúde têm dificuldade em lidar com tratamentos contínuos e prolongados dos pacientes [Bonfim et al. 2012]. Outras questões como a redução nos gastos dos pacientes com internações e a minimização dos riscos de infecções hospitalares [Caffrey et al. 2011] também têm influenciado essa mudança de paradigma em relação ao local de tratamento dos pacientes. Apesar disso, para que a assistência domiciliar à saúde seja uma solução viável para os problemas que foram mencionados, algumas de suas dificuldades devem ser analisadas e tratadas. A principal delas está relacionada com a questão da adesão dos pacientes aos seus tratamentos.

2.1. Adesão

O conceito de adesão é complexo e multidimensional, no sentido de que ele deve ser definido com base em um conjunto de fatores. A Organização Mundial da Saúde (OMS) define o termo adesão no relatório *Adherence to long-term therapies* [Sabaté 2003] como “o grau em que o comportamento de uma pessoa – tomar o medicamento, seguir um regime alimentar e executar mudanças no estilo de vida – corresponde às recomendações acordadas com um prestador de assistência sanitária”.

As cinco dimensões ditas pela OMS são: sistema e equipe de saúde, fatores socioeconômicos, fatores relacionados ao paciente, fatores relacionados à doença e fatores relacionados ao tratamento. Cada uma dessas dimensões apresenta alguns fatores que

influenciam na adesão dos pacientes aos tratamentos de saúde. Entre os fatores mencionados pela OMS, os de maior relevância neste artigo são aqueles relacionados ao paciente, como, por exemplo, esquecimentos em relação ao cumprimento de tarefas prescritas, falta de conhecimento e habilidade em lidar com os sintomas e tratamento da doença, má compreensão das instruções de tratamento, entre outros. Tais fatores podem ser tratados por meio da sistematização de um plano de cuidados.

2.2. Sistematização de Planos de Cuidados

Devido à existência dos fatores citados anteriormente, muitos pacientes deixam de cumprir algumas prescrições estabelecidas para o seu tratamento, influenciando negativamente na adesão. Isso ocorre pois, estando em domicílio, os pacientes têm um controle maior sobre os seus próprios cuidados com a saúde. Dessa forma, torna-se essencial a sistematização de um plano de cuidados que tenha registradas as prescrições do tratamento a ser realizado. Também é importante que haja um processo de acompanhamento da evolução da saúde do paciente e uma verificação das prescrições realizadas nesse plano de cuidados.

Um termo conhecido como “processo de enfermagem” conceituado por Wanda de Aguiar Horta [Horta 1979], é dito como “a dinâmica das ações sistematizadas e inter-relacionadas, visando à assistência ao ser humano”. Cada uma dessas ações sistematizadas e as inter-relações entre elas são divididas da seguinte forma: histórico de enfermagem, diagnóstico de enfermagem, plano assistencial, plano de cuidados ou prescrição de enfermagem, evolução de enfermagem e prognóstico de enfermagem. A Figura 1 ilustra essa divisão e o inter-relacionamento entre cada um dos seus componentes.

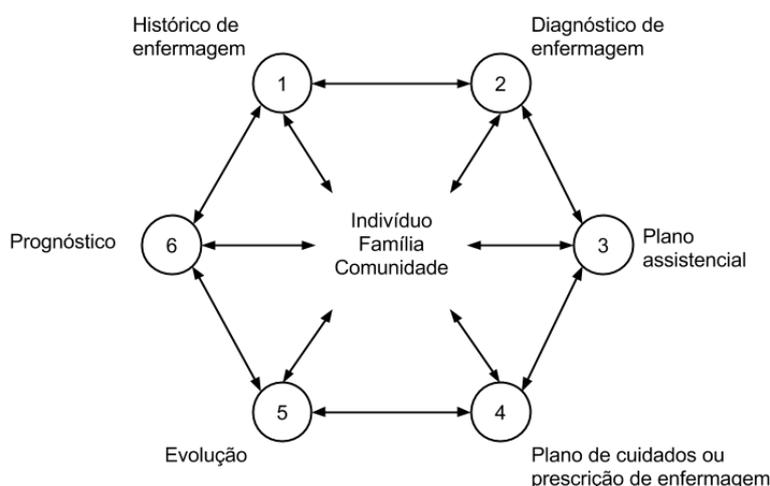


Figura 1. Processo de enfermagem (Adaptado de [Horta 1979])

O processo de enfermagem permite a compreensão do conceito de plano de cuidados sob a perspectiva de um profissional de saúde. Segundo [Horta 1979], o plano de cuidados é uma “implementação do plano essencial pelo roteiro diário que coordena a ação da equipe de enfermagem na execução dos cuidados adequados ao atendimento das necessidades básicas e específicas do ser humano”. O plano essencial consiste em uma análise do diagnóstico de enfermagem, tendo em vista os dados que foram coletados do

paciente. Sendo assim, o plano de cuidados é uma etapa do processo de enfermagem que mantém organizadas essas prescrições do paciente em tratamento.

Apesar dos modelos de planos de cuidados oferecerem uma estrutura rígida e padronizada, cada paciente possui suas próprias necessidades e características, muitas vezes determinadas pelo tipo de tratamento [Aguiar et al. 2012]. Nesse sentido, a concepção de um plano de cuidados mais flexível em relação às suas funcionalidades pode atender a uma demanda maior de pacientes. Por exemplo, a criação de um plano de cuidados com um sistema de notificações personalizado e individualizado que lembre o paciente de executar as suas tarefas prescritas, são fundamentais para o aumento da adesão dos pacientes aos tratamentos [Haynes et al. 2002].

Um outro recurso adicional que pode ser implementado em um plano de cuidados é a possibilidade de permitir diferentes visões das informações prescritas nele, de forma que elas sejam apresentadas de acordo com a função de cada profissional de saúde ou cuidador. Além disso, uma visão específica para familiares do paciente poderia ser implementada, como uma forma de incentivar que esse paciente cumpra as tarefas prescritas, e, conseqüentemente, ajudá-lo no aumento da adesão ao tratamento. Essas e outras questões foram trabalhadas na implementação de um Plano de Cuidados Ubíquo, proposta neste artigo.

2.3. Sistemas Ubíquos de monitoramento à saúde domiciliar

Em 1991, Mark Weiser publicou o artigo “The computer for the 21st century” [Weiser 1991], no qual, pela primeira vez, o termo Computação Ubíqua (Ubiquitous Computing) foi usado. Nesse trabalho foram previstas algumas mudanças que ocorreriam na computação, tendo em vista o grande aumento de dispositivos com poder computacional que teríamos nas décadas seguintes. Weiser considerou ainda algumas mudanças que haveria no comportamento das pessoas em relação à utilização dos computadores, os quais passariam a ser um objeto tão comum que os detalhes técnicos relativos ao seu uso para a realização de tarefas seriam imperceptíveis a essas pessoas.

Uma das motivações de se desenvolver um Plano de Cuidados Ubíquo, é a de permitir que ele possa ser integrado a um sistema de monitoramento à saúde domiciliar como o SCIADS (Sistema de Computação Ubíqua na Assistência Domiciliar à Saúde) [Carvalho and Loques 2010][de Carvalho et al. 2011]. Do ponto de vista da arquitetura do SCIADS, o plano de cuidados é um componente de software que deve ser integrado a um conjunto de outros componentes que realizam um monitoramento completo de um paciente em sua residência. Esses outros componentes realizam algumas tarefas como a coleta de dados do paciente por meio de sensores, a análise e tomada de decisões em relação aos dados coletados, e o armazenamento e distribuição das informações quando necessário.

A nossa proposta de implementação de um Plano de Cuidados Ubíquo avança em relação ao do SCIADS, pois, além de se tratar de um componente capaz de alertar de forma pró-ativa o paciente de alguma tarefa prescrita a ser cumprida, pode ser visto ainda como uma extensão do ambiente domiciliar de monitoramento, pois, mesmo fora do ambiente, o paciente ainda é notificado em relação às prescrições a serem realizadas.

3. Plano de Cuidados Ubíquo

Essa seção apresenta a proposta, arquitetura e implementação de um Plano de Cuidados Ubíquo. A arquitetura e implementação aqui propostas complementam a ideia básica de plano de cuidados descrita em [de Carvalho et al. 2011], e consistem de um sistema distribuído que combina o uso de tecnologias móveis, serviços de descoberta de recursos e serviços *web*.

3.1. Proposta

A proposta do Plano de Cuidados Ubíquo tem como objetivo o aumento da adesão dos pacientes aos tratamentos de saúde por meio do uso de tecnologias que os auxiliem na visualização das suas prescrições médicas, aproximando-os dos profissionais de saúde e proporcionando um tratamento individualizado.

A característica de ubiquidade do plano de cuidados proposto torna possível, tanto ao paciente quanto ao profissional de saúde, o seu acesso a partir de qualquer local que tenha conexão à Internet disponível. Isso aumenta as chances do paciente visualizar o plano e receber efetivamente os seus alertas, uma vez que dispositivos comuns em seu cotidiano podem ser usados, como, por exemplo, *smartphones*, *tablets* e TVs. O profissional de saúde, por sua vez, pode, via *web*, criar, editar e disponibilizar o plano de cuidados ao seu paciente, além de acompanhar a sua evolução.

A Figura 2 apresenta um cenário de uso do Plano de Cuidados Ubíquo em uma residência. No cenário, pode-se observar as TVs posicionadas de forma que as informações nelas exibidas possam ser visualizadas na maior parte da residência. As TVs são convencionais e funcionam no contexto desse cenário como uma das interfaces visuais para o plano de cuidados. Vale a pena observar que as informações são apresentadas e os alertas emitidos sem qualquer interação direta do usuário, bastando que, para isso, a TV esteja em modo *stand by* ou mesmo ligada.

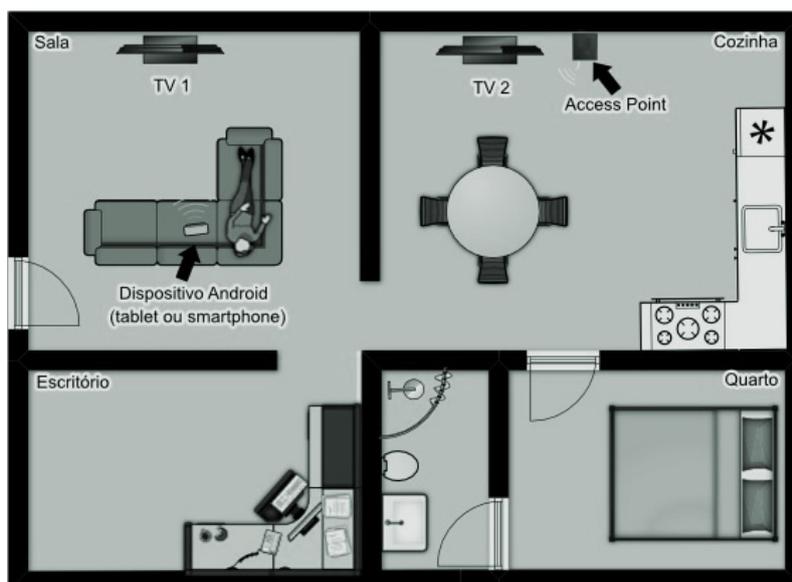


Figura 2. Cenário de uso do Plano de Cuidados Ubíquo em uma residência

Diante do cenário, uma questão a ser analisada se refere a qual das TVs o plano de cuidados deve ser apresentado. Diante disso, é necessário estabelecer um parâmetro

que determine a posição do paciente em relação à posição da TV, a fim de se evitar que as informações sejam exibidas em um local que o paciente não esteja. Uma forma de se tratar isso é utilizar algum tipo de sensor vestível com o objetivo de determinar a posição do paciente na residência. Nossa proposta utiliza um dispositivo Android (*tablet* ou *smartphone*), que além de localizar o paciente, pode ser usado para navegar na interface que será exibida na TV.

O cálculo da distância entre o dispositivo Android e a TV é feito utilizando-se técnicas de triangulação de antenas Wi-Fi [Hightower et al. 2006] que levam em consideração a potência do sinal da rede Wi-Fi da residência. A partir desse cálculo e de um mapa da residência previamente definido, localiza-se o quadrante (cômodo da casa) em que o dispositivo Android se encontra, e, portanto, a TV mais próxima do paciente.

Como forma de viabilizar a implementação dessa proposta, dispositivos Chromecast¹ são usados em TVs com entradas HDMI e funcionalidade CEC (Consumer Electronics Control). O Chromecast é um dispositivo utilizado para realizar *streaming* de mídias a partir de dispositivos móveis ou do navegador Google Chrome para TVs que possuem entrada HDMI, e CEC é um recurso para permitir que diferentes dispositivos que usam HDMI e que sejam compatíveis com essa tecnologia possam comandar e controlar uns aos outros. Detalhes a respeito da arquitetura e da implementação são abordados nas subseções a seguir.

3.2. Arquitetura

A arquitetura do Plano de Cuidados Ubíquo foi construída a partir de alguns possíveis cenários de uso do sistema. Essa arquitetura consiste basicamente em dois módulos, o Gerenciador do Plano de Cuidados (GPC) e o Notificador do Plano de Cuidados (NPC). Cada um dos módulos possui duas interfaces: GPC-Android, GPC-Web; NPC-Android, NPC-Chromecast. A Figura 3 apresenta um Diagrama de Implantação da UML (*Unified Modeling Language*), representando os módulos, interfaces (em destaque) e seus respectivos inter-relacionamentos.

O módulo GPC implementa os campos de preenchimento de um plano de cuidados convencional, reunindo as estruturas para a criação de prescrições (e.g., tomar determinado medicamento diariamente pela manhã), de dados do paciente (e.g., nome) e de dados do tratamento (e.g., pressão arterial). Esse módulo é acessado por todos os usuários do plano de cuidados, com o devido controle de acesso e de visualização definido conforme o perfil do respectivo usuário. Os perfis disponíveis são: *Paciente*, *Profissional de Saúde* e *Família* do paciente. O acesso ao módulo pode ocorrer tanto via *web* quanto por meio de aplicativo Android.

Uma das formas de se acessar o GPC é utilizando a interface GPC-Web, pela qual cada usuário precisa se autenticar utilizando um *login* e uma senha pessoal, cabendo ao sistema identificar o seu perfil. Por exemplo, caso seja um usuário com perfil *Profissional de Saúde*, este poderá registrar prescrições do paciente, definir horários em que cada atividade prescrita deve ser realizada, verificar se o paciente está visualizando os alertas das prescrições, além de registrar outras informações a respeito do tratamento do paciente, tais como fatores de risco e avaliações.

¹<http://www.google.com/chrome/devices/chromecast>

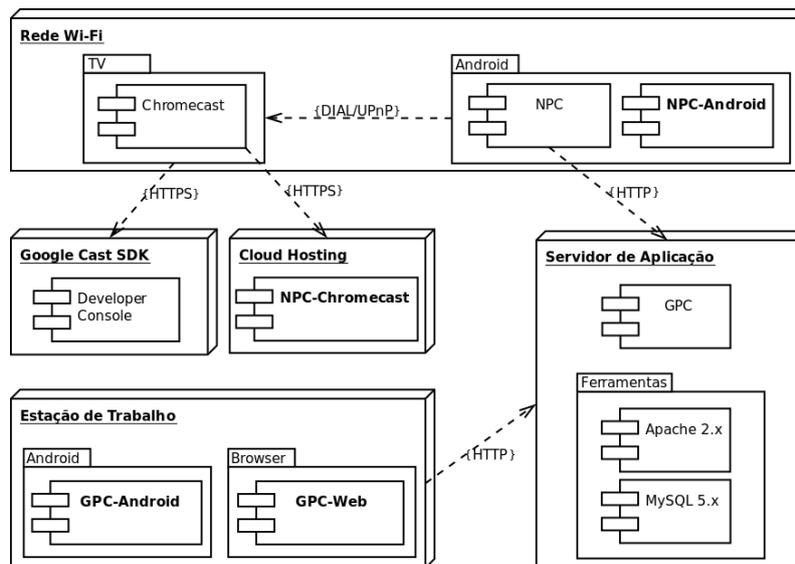


Figura 3. Diagrama de Implantação

Outra forma de acessar o GPC é por meio da interface GPC-Android, exclusiva para os profissionais de saúde e disponibilizada por um aplicativo Android. As funcionalidades dessa interface são reduzidas se comparadas às do GPC-Web, uma vez que contêm, basicamente, campos para a manipulação das prescrições e avaliações do tratamento.

O módulo NPC, por sua vez, consiste em um aplicativo Android exclusivo para o paciente interagir com o plano de cuidados no que se refere às visualizações das notificações e aos alertas disponibilizados. A principal interface do NPC é a NPC-Chromecast, a qual permite que uma TV equipada com a funcionalidade HDMI-CEC e com um dispositivo Chromecast conectado, seja usada para visualizar as notificações e receber os alertas. Essa interface consiste em uma aplicação *chromecast receiver*, a qual é controlada pelo próprio módulo NPC, o qual se comporta como uma aplicação *chromecast sender*. A interface NPC-Chromecast fica hospedada em um ambiente de nuvem, sendo carregada no dispositivo Chromecast por meio do módulo NPC. Esta arquitetura *sender-receiver* é típica de aplicações desenvolvidas para os dispositivos Chromecast. Aplicações *senders* e *receivers* são combinadas por meio de um *appId* e por um *namespace*. Isso é feito por meio do *Google Cast SDK*, também apresentado na Figura 3.

Na nossa proposta, o módulo NPC, usado como uma aplicação *sender* na comunicação com o dispositivo Chromecast, possui como parte integrante a interface denominada de NPC-Android. Essa interface é usada quando não há um dispositivo Chromecast disponível para apresentar as informações do plano de cuidados. Neste caso, as informações são apresentadas no próprio *smartphone*.

3.3. Implementação

A implementação do Plano de Cuidados Ubíquo tem como foco principal as variáveis colocadas pela OMS como responsáveis pela redução da adesão. Para isso, nossa proposta emprega recursos tecnológicos que permitem não apenas a automatização do plano de cuidados, mas também a facilidade de acesso, tornando-o disponível em objetos e dispositivos que geralmente fazem parte do cotidiano das pessoas.

A implementação inclui cada um dos módulos e interfaces que constituem a arquitetura da solução, apresentada no Diagrama de Implantação (Figura 3), assim como toda a lógica responsável pela persistência e pela recuperação de dados. Em termos de recursos tecnológicos empregados na implementação, destacam-se os dispositivos Android (*smartphones* e *tablets*) e os dispositivos Chromecast, que implementados em conjunto, estabelecem um sistema capaz de mostrar as tarefas a serem cumpridas em uma TV do paciente e ainda alertá-lo de forma pró-ativa.

Em relação à disponibilização do plano de cuidados via *web*, voltada em especial ao profissional de saúde, a solução implementada permite, além da criação e manipulação das prescrições dos pacientes, visões específicas das informações do plano, tanto para o próprio paciente quanto para os seus familiares.

De forma mais específica, as ferramentas e recursos tecnológicos empregados na implementação envolvem: (i) o uso de servidor de aplicações *web* com um sistema gerenciador de banco de dados MySQL, responsável pela persistência, e um interpretador PHP para o funcionamento do módulo GPC; (ii) o uso de dispositivos Android (*smartphones* e *tablets*) responsáveis pela execução do módulo NPC, desenvolvido usando as APIs do Android e as APIs necessárias para a comunicação com o dispositivo Chromecast; (iii) o uso de TVs com entradas HDMI, funcionalidade CEC e dispositivos Chromecast, sendo este último responsável pela apresentação da interface NPC-Chromecast, a qual deve ser implantada em um ambiente de nuvem (*cloud computing*).

Vale a pena ressaltar um aspecto importante da solução implementada no que se refere à comunicação entre os módulos GPC e NPC. Falhas de comunicação entre esses módulos impediria a apresentação do plano de cuidados ao paciente. Com o objetivo de evitar que isso ocorra, parte da base de dados do plano de cuidados é também mantida em um banco de dados SQLite, localizado no NPC, o qual é sincronizado periodicamente com o banco de dados remoto.

4. Uso do Protótipo e Ambiente de Testes

A Figura 4 ilustra a comunicação dos diferentes módulos do plano de cuidados por meio de *screenshots* de algumas partes da implementação. A partir dessa figura, pode-se analisar a forma com a qual os usuários interagem usando as diferentes interfaces do sistema.

Na parte superior direita da Figura 4 está a interface do GPC-Web sendo utilizada em um navegador *web*. Nela estão todas as funcionalidades de gerenciamento de informações do sistema, desde a parte de cadastro de usuários até a parte de manipulação de informações do paciente. Na parte esquerda da figura está a interface NPC-Android sendo executada em um dispositivo Android, e, por último, na parte inferior direita está a interface NPC-Chromecast sendo executada em uma TV equipada com o dispositivo Chromecast.

O módulo NPC, composto pelas interfaces NPC-Android e NPC-Chromecast, funciona como um sistema distribuído que, ao ser executado, age tanto como um seletor responsável por escolher o componente mais adequado para exibir a notificação, quanto como um controle de navegação para a interação do usuário com a interface NPC-Chromecast. Tal interface encontra-se no ambiente de nuvem, e é sempre apresentada no dispositivo Chromecast selecionado. Sempre que o NPC não encontra nenhum Chrome-

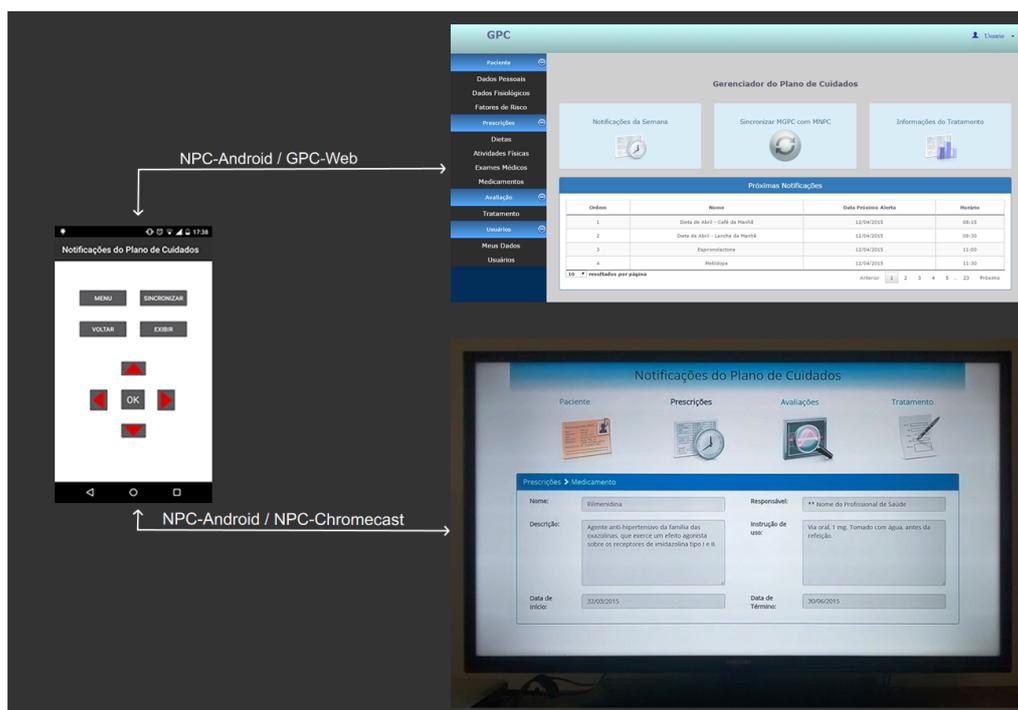


Figura 4. Protótipo do Plano de Cuidados Ubíquo

cast para executar sua interface correspondente, a notificação é exibida localmente por meio da interface NPC-Android.

Antes da emissão de um alerta do NPC ao paciente, nas situações em que é encontrado mais de um dispositivo Chromecast na rede, a interface NPC-Chromecast deve ser executada naquele mais próximo do dispositivo Android. Essa escolha é feita por meio de uma triangulação realizada no NPC e que considera a potência do sinal do Wi-Fi emitido pelo *Access Point* em que os dispositivos Chromecast estão conectados.

Uma configuração no NPC deve ser realizada antes que seja feito o primeiro processo de triangulação na rede. Essa configuração consiste na definição do cenário em que o sistema deve ser implantado e do nome da rede Wi-Fi que será utilizada. Para fins de teste, na atual implementação, essa definição do cenário foi feita de forma estática, tendo como estrutura um ambiente de testes semelhante ao apresentado na Figura 2. Já o nome da rede Wi-Fi é definida pela interface NPC-Android. É necessário que o nome da rede Wi-Fi informada seja a mesma que esteja sendo utilizada pelos dispositivos Chromecast.

Algo que deve ser considerado nesse protótipo é que uma vez realizadas as configurações no NPC, a comunicação de dados entre os módulos do sistema funciona de forma transparente para os usuários. Essa transparência está presente desde a sincronização das bases de dados local e remota até a parte de emissão de alertas ao paciente.

A implementação da triangulação faz uso das classes *WifiManager* e *ScanResult*, ambas disponibilizadas pelo *package android.net.wifi*, cuja documentação encontra-se na página *web Android Developers*². A obtenção de um valor para representar a potência

²<http://developer.android.com/intl/pt-br/reference/android/net/wifi/package-summary.html>

do sinal Wi-Fi considera, principalmente, a distância do dispositivo Android ao *Access Point*. Uma vez verificado esse valor, é identificado o quadrante no cenário em que se encontra o dispositivo Android com o NPC e, conseqüentemente, é selecionado o dispositivo Chromecast adequado para executar a aplicação receiver NPC-Chromecast.

Como forma de validar a proposta, vários testes foram realizados. Diante de um cenário como o descrito na Figura 2, foi verificado empiricamente que para valores com potência do sinal maiores que -55 dbm (decibel milliwatt), o dispositivo Android se localizava num quadrante que tornava adequado o uso da TV2 e, para valores menores que esse, o adequado seria o uso da TV1. Isso se deve, principalmente, ao posicionamento do *Access Point* que encontra mais próximo a TV2. Diante disso, ficou definido esse valor como um limiar para a tomada de decisão do sistema em relação à escolha da TV nesse cenário. Os resultados obtidos por estes testes foram bastante satisfatórios. Apesar disso, tanto a técnica de triangulação quanto o cenário utilizado apresentam suas limitações e o uso dos mesmos é tido apenas como prova de conceitos relacionados à implementação do protótipo de plano de cuidados proposto.

5. Conclusão

A solução apresentada nesse artigo tem como objetivo o aumento da adesão dos pacientes que dependem de tratamentos para doenças que exigem um monitoramento contínuo e prolongado. Isso foi feito por meio da integração do uso de objetos que geralmente fazem parte do cotidiano das pessoas, como, por exemplo, TVs e dispositivos Android, para implementar um serviço de notificação de eventos integrado a um plano de cuidados. O dispositivo Chromecast da Google também integra a solução como um dispositivo acessível e de fácil programação. O resultado é uma solução que pode ser usada também pelos profissionais de saúde, além dos próprios pacientes, sendo acessada em qualquer lugar que tenha conexão com a Internet.

Alguns trabalhos envolvendo a assistência domiciliar à saúde, adesão dos pacientes aos tratamentos e computação ubíqua vêm sendo desenvolvidos. Uma proposta envolvendo o uso de sensores ubíquos é apresentada em [Suzuki et al. 2011]. Outra proposta, apresentada em [Maglogiannis et al. 2014] faz uso de *gadgets* (*smartwatches* e dispositivos Android) como forma de lembrar os pacientes das tarefas diárias relacionadas aos seus respectivos tratamentos. Ambos os trabalhos [Suzuki et al. 2011][Maglogiannis et al. 2014] possuem pontos em comum com a nossa proposta, no entanto, nenhum deles mostra qualquer relação do uso dos dispositivos e a integração com um plano de cuidados.

Em [Pötter and Sztajnberg] é apresentada uma arquitetura de um sistema de telemonitoramento onde foi desenvolvida uma interface para a plataforma Android de forma integrada à plataforma JavaGinga, voltada para a execução de aplicações Java em infraestrutura de TV Digital no padrão Brasileiro. Essa plataforma é limitada no que se refere ao desenvolvimento de aplicações para dispositivos de *casting*, tanto do ponto de vista da integração com os principais serviços de *cloud computing* disponíveis, quanto da integração com as principais plataformas de hardware e software utilizadas atualmente, tais como Android, iOS e *desktop* por meio de navegadores *web*.

Algumas características em relação à nossa proposta apresentada, trazem uma série de facilidades aos pacientes em tratamento, entre elas, uma maior aproximação entre

eles e seus respectivos profissionais de saúde. Por meio do sistema de notificações disponibilizadas pelo Plano de Cuidados Ubíquo, problemas relacionados a esquecimento das tarefas prescritas são minimizados. Além disso, a visualização dos pontos de evolução dos tratamentos por meio das avaliações realizadas e registradas pelos profissionais de saúde no sistema, podem influenciar positivamente na motivação dos pacientes.

Atualmente estamos aperfeiçoando a implementação do Plano de Cuidados Ubíquo, incluindo o desenvolvimento de interface para a plataforma iOS, o uso de outros *gadgets*, como, por exemplo, *smartwatches* como interfaces de acesso pelo paciente, e ainda o uso de sensores vestíveis como uma forma de aprimorar o mecanismo de localização do paciente e dos dispositivos mais próximos a ele.

A implementação da proposta na forma de protótipo encontra-se na etapa de realização de avaliações determinadas por grupos de pacientes utilizando a solução. Nesse sentido, planejamos realizar avaliações com tais grupos de pacientes, com o objetivo de verificar os benefícios alcançados em termos do aumento da adesão e da interação com profissionais de saúde.

Referências

- Aguiar, D. T., Silveira, L. C., Palácio, P. D. d. B., and Duarte, M. K. B. (2012). A clínica de enfermagem em saúde mental. *Revista Baiana de Enfermagem*, 25(2).
- Bonfim, F., Coelho, K., Pasinato, M., Oliveira, M., and Veras, R. (2012). Plano de cuidado para idosos na saúde suplementar. *Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS)*.
- Caffrey, C. et al. (2011). *Home health care and discharged hospice care patients: United States, 2000 and 2007*. US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Health Statistics.
- Carvalho, S. T. and Loques, O. (2010). Arquitetura de software para sistemas pervasivos de assistência domiciliar a saúde. In *X Workshop de Informática Médica, XXX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Belo Horizonte, MG, Brasil*, pages 1542–1545.
- Chung, W.-Y., Bhardwaj, S., Purwar, A., Lee, D.-S., and Myllylae, R. (2007). A fusion health monitoring using ecg and accelerometer sensors for elderly persons at home. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, pages 3818–3821. IEEE.
- de Carvalho, S. T., Copetti, A., and Loques Filho, O. G. (2011). Sistema de computação ubíqua na assistência domiciliar à saúde. *Journal Of Health Informatics*, 3(2).
- ElHelw, M., Pansiot, J., McIlwraith, D., Ali, R., Lo, B., and Atallah, L. (2009). An integrated multi-sensing framework for pervasive healthcare monitoring. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2009. PervasiveHealth 2009. 3rd International Conference on*, pages 1–7. IEEE.
- Haynes, R. B., McDonald, H. P., and Garg, A. X. (2002). Helping patients follow prescribed treatment: clinical applications. *Jama*, 288(22):2880–2883.
- Hightower, J., LaMarca, A., and Smith, I. (2006). Practical lessons from place lab. *IEEE Pervasive Computing*, 5(3):32–39.

- Horta, W. d. A. (1979). Processo de enfermagem. In *Processo de enfermagem*. EPU.
- Lee, H., Park, K., Lee, B., Choi, J., and Elmasri, R. (2008). Issues in data fusion for healthcare monitoring. In *Proceedings of the 1st international conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, page 3. ACM.
- Maglogiannis, I., Spyroglou, G., Panagopoulos, C., Mazonaki, M., and Tsanakas, P. (2014). Mobile reminder system for furthering patient adherence utilizing commodity smartwatch and android devices. In *Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), 2014 EAI 4th International Conference on*, pages 124–127. IEEE.
- Paz, A. A. and Santos, B. R. L. d. (2003). Programas de cuidado de enfermagem domiciliar. *Rev Bras Enferm*, 56(5):538–41.
- Pötter, H. and Sztajnberg, A. Arquitetura de software de um sistema de telemonitoramento de pacientes idosos.
- Sabaté, E. (2003). *Adherence to long-term therapies: evidence for action*. World Health Organization.
- Suzuki, T., Jose, Y., and Nakauchi, Y. (2011). A medication support system for an elderly person based on intelligent environment technologies. In *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on*, pages 3207–3212. IEEE.
- Sztajnberg, A., Rodrigues, A. L. B., Bezerra, L. N., Loques, O. G., Copetti, A., and Carvalho, S. (2009). Applying context-aware techniques to design remote assisted living applications. *International Journal of Functional Informatics and Personalised Medicine*, 2(4):358–378.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3):94–104.
- Wood, A., Stankovic, J. A., Virone, G., Selavo, L., He, Z., Cao, Q., Doan, T., Wu, Y., Fang, L., and Stoleru, R. (2008). Context-aware wireless sensor networks for assisted living and residential monitoring. *Network, IEEE*, 22(4):26–33.

Gamification como ferramenta auxiliar na adesão ao tratamento de hipertensão

Matheus B. Nascimento, Eduardo S. de Albuquerque

¹ Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 – CEP 74.001-970 – Goiânia – GO – Brasil

{matheusbatista,eduardo}@inf.ufg.br

Abstract. *Hypertension is a highly prevalent public health problem, and its treatment shows a low adherence rate. Gamification have behavioral change characteristics that may help tackle this problem. This paper presents the concept of gamification, discusses its use in healthcare, and propose a system to aid hypertension treatment adherence, with gamification elements to increase patients' intrinsic motivation.*

Resumo. *A hipertensão é um importante problema de saúde pública, e seu tratamento apresenta baixa taxa de adesão. Gamification pode auxiliar neste problema por suas características de modificação comportamental. Este trabalho apresenta o conceito de gamification, discute sua utilização na área da saúde, e propõe um sistema para facilitar a adesão aos tratamentos de hipertensão, utilizando elementos de gamification para aumentar a motivação intrínseca dos pacientes.*

1. Introdução

No Brasil as doenças do aparelho circulatório, dentre elas a insuficiência cardíaca, representam a principal causa de morbimortalidade. A hipertensão arterial é o principal fator de risco para estas doenças, e por estar presente em 30% da população adulta e em 60% das pessoas com mais de 60 anos, tornou-se um dos mais importantes problemas de saúde pública [Sociedade Brasileira de Cardiologia 2010].

O tratamento da hipertensão envolve mudanças de hábitos do paciente, além dos medicamentos. A prática regular de atividades físicas é recomendada por profissionais de saúde para reduzir a pressão arterial, porém, 46% dos adultos brasileiros não praticam a quantidade recomendada de exercícios, e a taxa de inatividade sobe para 62,7% em pessoas com 60 anos ou mais [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2013].

Convencer os pacientes a mudar seus hábitos é uma tarefa complexa, mesmo quando estão cientes da necessidade. Há muito tempo as pesquisas sobre adesão a tratamentos tentam entender os motivos que levam os pacientes a não seguirem as prescrições médicas, e as melhores formas de intervenção para auxiliar nesta tarefa [Gritz et al. 1989].

Um termo pouco discutido nessa área, mas que vem ganhando atenção nos últimos anos, é *gamification*. Definido como “a utilização de elementos de design de jogos em contextos não relacionados a jogos” [Deterding et al. 2011], se baseia na motivação que os jogos geram nas pessoas, e promete auxiliar na modificação comportamental. Porém, a maioria das pesquisas sobre a utilização de *gamification* na área da saúde tratam apenas

de atividades físicas, sem considerar fatores específicos de não-adesão ao tratamento de hipertensão.

Este artigo apresenta a proposta de um sistema, com características de *gamification*, para ajudar pacientes hipertensos a seguirem seus tratamentos, tanto relacionados a medicamentos quanto para adoção de hábitos saudáveis de alimentação e atividade física.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2 são discutidas as barreiras para adesão aos tratamentos de hipertensão. A Seção 3 apresenta o conceito de *gamification*, suas características, elementos motivadores, e alguns resultados da literatura sobre sua utilização na área da saúde. Na Seção 4 a proposta é apresentada, com uma descrição em alto nível dos elementos e características de *gamification* que compõe o sistema. Finalmente, a Seção 5 mostra algumas opções para trabalhos futuros, e a Seção 6 conclui o artigo.

2. Adesão a tratamento

Apesar da grande importância da disseminação de informações sobre as doenças e medicamentos, e da necessidade de médicos preparados e engajados em sanar as dúvidas dos pacientes, a educação e a informação sozinhas não garantem a adesão ao tratamento [Bazian Ltd. 2005]. São necessários comportamentos que vão além de apenas seguir as orientações médicas, e englobam vários aspectos referentes ao tratamento, à doença, ao paciente, e até mesmo socioeconômicos [de Gusmão e Mion Jr 2006].

Na hipertensão, os estágios iniciais são assintomáticos e o tratamento se baseia na adoção de hábitos saudáveis. Os médicos recomendam, por exemplo, a prática regular de atividades físicas e reeducação alimentar, com redução de sódio, gordura, e limites no consumo de alguns alimentos. No entanto, muitos pacientes só percebem a doença em estágios mais avançados, quando a utilização de medicamentos anti-hipertensivos é necessária. Esta Seção trata de algumas das principais barreiras identificadas na literatura para a adesão aos tratamentos de hipertensão.

2.1. Medicamentos

Os índices de adesão ao tratamento baseado em medicamentos são influenciados por vários fatores, desde o ambiente familiar dos pacientes até características da instituição de saúde. O custo das consultas regulares e medicamentos é apresentado como uma barreira, principalmente por pacientes com baixa renda familiar [Santa-Helena et al. 2010].

Crenças do paciente podem levar ao abandono ou má utilização da medicação. Alguns pacientes não aceitam o diagnóstico quando não há a presença de sintomas, ou param de tomar os medicamentos quando apresentam efeitos colaterais. Há ainda os pacientes que acreditam estar “curados” após se sentirem melhor, e acabam abandonando a medicação [Manfroi e Oliveira 2010].

Quando as receitas médicas são complexas, envolvendo vários medicamentos em horários distintos, os pacientes podem apresentar esquecimento e dificuldade em adaptar o tratamento às suas rotinas diárias [Walker et al. 2014]. Esta sensação de “escravidão” do tratamento diminui a motivação dos pacientes, principalmente a longo prazo, e requer uma modificação na rotina tanto do paciente quanto de seus familiares [Santos et al. 2013].

2.2. Atividade física

A atividade física regular é essencial para a manutenção de um estilo de vida saudável, sendo parte integrante de muitos tratamentos de hipertensão, além de apresentar benefícios também para pessoas com problemas cardíacos congênitos [Stuart 2014]. Porém, assim como na utilização de medicamentos, vários fatores pessoais, sociais e financeiros influenciam na manutenção de hábitos sedentários.

Atividades físicas de forma estruturada e regular preocupam alguns pacientes hipertensos, que julgam seus corpos “muito fracos” para realizar exercícios, temendo o aumento da pressão arterial. Esta é a principal barreira em idosos, além da percepção negativa da sensação de cansaço, respiração “pesada”, dor muscular, e suor decorrentes dos exercícios [Cohen-Mansfield et al. 2003].

Em jovens e adultos, a falta de tempo é apresentada como uma barreira. Muitas vezes os pacientes têm uma rotina de trabalho que ocupa grande parte do dia, reduzindo a motivação para reservar uma janela de tempo dedicada à atividade física, principalmente quando há a necessidade de deslocamento. Já a segurança do local de exercícios é mais importante para os idosos, que preferem se deslocar para realizar as atividades físicas em locais com maior segurança [Schutzer e Graves 2004].

2.3. Alimentação

Os hábitos alimentares dependem de questões culturais e sociais complexas, e representam um grande desafio para a adoção de um estilo de vida saudável. Um estudo sobre tratamento de hipertensão sem o uso de medicamentos apresenta taxa de adesão à dieta de apenas 2,8%, em comparação a 38,8% para prática de atividades físicas [Baldissera et al. 2009].

Para o paciente, aceitar a dieta muitas vezes é difícil, pois a redução de sódio e gordura afeta todas as pessoas que vivem com ele. Os ambientes que o paciente frequenta também podem agir como uma barreira, pois muitas vezes os alimentos “saudáveis” custam caro ou não estão disponíveis. Já alguns pacientes interpretam as restrições como um “castigo”, ao ter que limitar ou cortar por completo o consumo de alguns alimentos, álcool, e tabaco [Manfroi e Oliveira 2010].

3. Gamification

Há muito tempo a indústria de *marketing* se utiliza do “fascínio” causado por jogos em programas de relacionamento com clientes, como milhas aéreas, selos colecionáveis, e descontos exclusivos. Atualmente, com o crescimento da indústria de jogos digitais, o termo *gamification* foi introduzido como a ideia de utilizar elementos desta mídia digital para influenciar o comportamento dos clientes [Currier 2008]. O objetivo de *gamification* é criar um contexto “divertido”, utilizando mecânicas de jogos, que aumente a motivação dos participantes na realização de alguma tarefa [Deterding et al. 2011].

Segundo a perspectiva da Teoria da Autodeterminação, a motivação se divide em dois tipos: Extrínseca, que se origina em fatores externos, como recompensas financeiras e pressão social [Deci e Ryan 2002]; E intrínseca, que se origina na própria realização da tarefa, por meio de sensações de significado, progresso, e competência [Cherry 2015].

Dos elementos de jogos utilizados em *gamification*, os mais conhecidos são pontos, distintivos e *rankings* (do inglês, *points*, *badges and leaderboards*). Pontos apresentam *feedback* instantâneo das tarefas realizadas, aumentando a sensação de progresso, distintivos podem ser utilizados na construção de desafios mais complexos, e junto com *rankings* eles podem gerar reconhecimento social. No entanto, a utilização destes elementos em *gamification* tem sido criticada, pois existem evidências de que o excesso na aplicação de motivadores extrínsecos pode causar a redução da motivação intrínseca [Bénabou e Tirole 2006].

Gamification não é utilizado apenas na área de *marketing*, com exemplos de sucesso como o *Foursquare* e os citados no livro *Play At Work* [Penenberg 2013]. Recentemente, empresas como *Bunchball* começaram a oferecer “plataformas de *gamification*”, camadas de software para *sites* e serviços *web* contendo elementos de reputação e recompensas, com pontos, distintivos, níveis, e *rankings*, com o objetivo de aumentar a participação e o engajamento dos usuários [Bunchball 2015].

Este “fenômeno” comercial de *gamification* atraiu a atenção de pesquisadores de diversas áreas, na busca de identificar as possibilidades, limitações, e formas de uso dos elementos de jogos em outras situações do dia a dia, como trabalho, educação, e saúde [McGonigal 2011, Reeves e Read 2013].

3.1. Gamification em saúde

Na área da saúde, o uso de *gamification* pela indústria *fitness* se tornou muito popular, principalmente em aplicativos para *smartphones*, e promete auxiliar os usuários a adquirir e manter hábitos saudáveis, melhorando sua saúde e bem-estar. Alguns sistemas com foco na realização de exercícios físicos alcançaram sucesso considerável, como:

- *Fitocracy* [Fitocracy, Inc. 2015], com um foco social permitindo que os usuários motivem uns aos outros;
- *Zombies, Run!* [Six to Start 2015], que contextualiza a atividade física em uma história onde o usuário deve fugir de zumbis;
- *Nike+* [Nike, Inc. 2015], utilizando *gadgets* e transmissores no tênis para adquirir mais dados sobre o exercício, além de permitir que o usuário crie metas pessoais.

No entanto, em geral há pouca padronização e integração de elementos da teoria comportamental, o que pode impactar negativamente a eficácia na mudança de hábitos prometida por estes aplicativos [Lister et al. 2014].

Gamification compartilha elementos em comum com abordagens empiricamente testadas de mudanças comportamentais em saúde, mas as pesquisas ainda estão em estado inicial e os resultados mistos levantam questões sobre a eficácia dos elementos utilizados. Porém, mesmo quando não há um aumento significativo no comportamento desejado, as características de *gamification* geralmente são bem recebidas pelos usuários [Cugelman 2013].

Para Knaving, os vários elementos de jogos utilizados fazem parte de uma camada de *gamification*, que deve ser adaptada ao contexto da forma mais “invisível” possível, e não pode ser obrigatória para o usuário, para que a motivação intrínseca da atividade principal não seja reduzida [Knaving e Björk 2013]. Permitir a criação e organização de objetivos pelo próprio usuário, como sua rotina semanal de exercícios, pode ser bem aceito e ainda gerar motivação intrínseca na superação de desafios [Munson e Consolvo 2012].

Quando se utilizam recompensas, é necessário que elas façam parte de um contexto. Um exemplo é o protótipo de Ahtinen, onde uma “viagem virtual” em um mapa familiar aos usuários é criada baseada no tempo de caminhada, e então um cartão postal da cidade “visitada” é gerado como recompensa [Ahtinen et al. 2010]. Já as recompensas genéricas apresentadas por Munson, como troféus e laços, falharam como elementos motivadores para a maioria dos participantes [Munson e Consolvo 2012].

O fator social envolvido em ferramentas de *gamification*, assim como a forma como ele é integrado com o sistema, por meio de comparações de progresso ou comunicação direta entre os participantes também apresenta resultados variados. No estudo de Munson, mensagens de apoio foram benéficas para a motivação dos usuários, mas muitos participantes hesitaram em utilizar as ferramentas de publicações em redes sociais [Munson e Consolvo 2012]. Já Zuckerman utiliza *rankings* para permitir comparações de pontuações com outros usuários, e os resultados não mostraram melhorias significativas comparados à versão do sistema sem *rankings* [Zuckerman e Gal-Oz 2014].

A maioria dos trabalhos sobre *gamification* em saúde trata de atividades físicas, e pode ajudar no tratamento de várias doenças, de forma preventiva. No caso da hipertensão, porém, uma abordagem diferente é necessária em razão das características específicas da doença. Por exemplo, além das atividades físicas, o nível de pressão arterial do paciente deve ser acompanhado, além do uso de medicamentos e se a alimentação está condizente com o que foi proposto pelo profissional de saúde.

4. Proposta

Muitos pacientes apresentam baixa motivação em aderir ao tratamento para hipertensão, mesmo cientes da necessidade de seguir as orientações médicas. Portanto, este trabalho propõe um sistema com o objetivo de auxiliar pacientes hipertensos na adesão ao tratamento, utilizando técnicas de *gamification* para motivá-los a realizar as atividades indicadas pelos profissionais de saúde. A proposta abrange aspectos de uso de medicamentos, atividade física e alimentação conforme apresentado na Seção 2.

Além disso, como a mudança nos hábitos depende principalmente de fatores sociais, um dos focos do sistema é a facilitação da comunicação entre pacientes e profissionais de saúde, assim como a formação de grupos entre os próprios pacientes, facilitando a disseminação de informações e a troca de experiências.

4.1. Sistema

A Figura 1 apresenta uma visão geral do sistema proposto, que pode ser acessado pelos usuários de dois modos, um portal *web* e um aplicativo pessoal para *smartphones*, cada um com características e funcionalidades diferentes.

O portal *web* é flexível, pois pode ser acessado em diversas plataformas diferentes, tem características simples, e não possui elementos de *gamification*. Por ele os profissionais de saúde podem organizar o tratamento personalizado de cada paciente na forma de um plano de cuidados composto de uma série de atividades a serem realizadas [Carvalho e Loques 2010]. Além disto, é possível visualizar dados importantes sobre o paciente, como o histórico de medições de peso e pressão arterial.

Já o aplicativo tem como objetivo a aquisição de dados e acompanhar o paciente em seu dia a dia. Os *smartphones* foram escolhidos como plataforma pois não geram

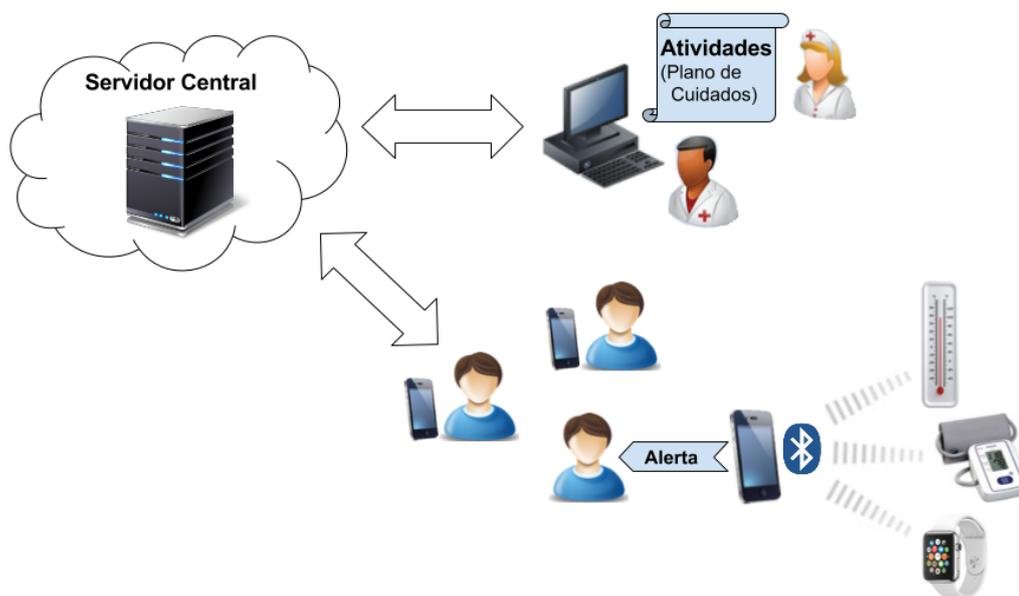


Figura 1. Smartphones adquirem dados e apresentam o plano de cuidados

custos extras de aquisição de *gadgets* específicos para o tratamento, além de, em geral, incluírem sensores que podem ser utilizados para detectar automaticamente quando alguma atividade física é realizada. Estes dispositivos ainda dispõem de comunicação sem fio, como *bluetooth*, facilitando o recebimento de dados de sensores médicos, tais como balanças, glicosímetros, medidores de pressão, e frequência cardíaca.

Outra vantagem dos *smartphones* é a capacidade de notificar diretamente o paciente, podendo lembrá-lo dos horários de medicamentos, consultas agendadas, e inclusive apresentar sugestões de alimentos saudáveis ou atividades físicas baseado na temperatura e previsão do tempo. Isto pode auxiliar a reduzir os fatores de não-adesão relacionados ao esquecimento e complexidade das receitas médicas.

As funcionalidades de interação social podem ser acessadas tanto pelo portal quanto pelo aplicativo. Pacientes podem discutir e se informar, por exemplo, sobre preços de medicamentos, novidades em tratamentos, ou *gadgets* úteis. Já os profissionais de saúde podem utilizar estas ferramentas para se comunicar diretamente com os pacientes, dar dicas sobre os tratamentos, ou tirar dúvidas sobre a doença. Para facilitar a adoção de hábitos saudáveis e promover o sentimento de comunidade, os pacientes podem se organizar em grupos com objetivos em comum, como praticar atividades físicas no mesmo local.

4.2. Elementos de gamification

Muitos trabalhos sobre a aplicação de *gamification* em saúde utilizam elementos com foco em motivação extrínseca, distintivos, e *rankings* na tentativa de engajar os usuários. Porém, como discutido na Seção 3.1, este modelo “clássico” de *gamification* baseado em recompensas virtuais genéricas pode acabar reduzindo a motivação intrínseca, gerando, a longo prazo, um efeito contrário ao desejado.

O foco em competição e pressão social gerado por *rankings* pode ser danoso na área de saúde. Um paciente muitas vezes enfrenta dificuldades para seguir os tratamen-

tos, e ser constantemente lembrado de como os outros estão com posições e pontuações melhores no *ranking* pode, na verdade, desmotivá-lo. E por se basear em recompensas, estas técnicas dificilmente permitem a criação de uma camada de *gamification* “invisível” e opcional, o que pode gerar uma experiência frustrante para usuários que não querem participar da “diversão obrigatória”.

Portanto, o sistema proposto tenta facilitar o aumento da motivação intrínseca na execução das atividades propostas, por permitir que o usuário tenha controle e autonomia sobre o tratamento. A aplicação de *gamification* neste caso não tenta transformar a vida do paciente em um jogo, e sim apresentar o tratamento como uma série de desafios claros e objetivos, que podem ser superados com pequenas mudanças nos hábitos do paciente.

Dividir o tratamento em “pequenos desafios” é uma forma de garantir que as atividades receitadas pelo profissional de saúde não sejam abstratas como “faça mais exercícios” ou “alimente-se melhor”. O sistema então apresenta estes desafios ao usuário, alguns com horários específicos como tomar os medicamentos, e outros baseados em quantidades e ações que podem ser executadas a qualquer momento do dia, como, por exemplo, medir a pressão arterial, o peso, ou caminhar por pelo menos 30 minutos.

O paciente pode ainda criar seus próprios desafios no sistema, gerando um maior sentimento de auto-eficiência e auto-realização ao completá-los. Além disto, “dicas” são geradas pelo sistema como ideias simples para ajudar na solução dos desafios. Por exemplo, subir pelas escadas e não pelo elevador para aumentar o tempo de atividade física realizada durante o dia sem interferir na rotina, ou substituir o açúcar por mel ao adoçar alguns alimentos.

O aplicativo também gera *feedback* instantâneo sobre as atividades, por exemplo, o tempo total de atividade física realizada, número de degraus escalados, distância percorrida, quantidades de calorias e sódio consumidas, ou detalhes sobre os remédios tomados, mostrando como eles ajudam no tratamento. Isto pode aumentar a motivação intrínseca do paciente, por permitir que ele perceba uma reação positiva às ações tomadas, e motivando-o a se esforçar “só mais um pouco” para alcançar resultados melhores.

A forma como as informações e os dados são apresentados pelo sistema o diferenciam de uma solução apenas informativa. Por exemplo, se a pressão arterial do paciente está estabilizada em um valor normal há sete dias, o sistema apresenta isto como uma conquista, e não somente como uma informação qualquer. Os “dados ruins” também são apresentados, pois o *feedback* negativo e as falhas são elementos muito importantes para jogos, mas muitas vezes ignorados por outras soluções com características de *gamification* [Robertson 2010].

Outra situação que deve ser levada em conta é que os pacientes podem utilizar o sistema por um tempo relativamente grande, e caso as dicas, notificações e sugestões sejam sempre iguais, o interesse pelo sistema pode ser reduzido por ele ser repetitivo e “chato”. Uma característica comumente utilizada em jogos nesta situação é o uso de randomização para gerar uma certa imprevisibilidade [Llopis 2013]. Por exemplo, as dicas para os desafios podem variar, as notificações de conquistas como perda de peso e metas de exercício superadas, e as sugestões de atividades geradas pelo sistema também podem ser diferentes dependendo de informações do paciente, do clima, etc.

Estes elementos básicos são aplicados de forma diferente, dependendo dos aspec-



Figura 2. Exemplos de elementos de *gamification* para cada área do tratamento

tos de cada parte do tratamento, como o uso regular de medicamentos, o aumento de atividades físicas, e a reeducação alimentar. A Figura 2 apresenta exemplos da aplicação dos elementos de *gamification* em cada uma destas áreas, discutidas nas subseções abaixo.

Medicamentos

Facilitando a comunicação entre pacientes e profissionais de saúde, o sistema tenta promover a disseminação de informações sobre o tratamento da hipertensão. Mesmo a informação sozinha não garantindo a adesão ao tratamento, pode impedir que alguns pacientes deixem de tomar os medicamentos, como, por exemplo, quando percebem reações adversas, ou quando acreditam não possuir a doença por não haver sintomas.

Já para o caso de pacientes com receitas médicas complexas, que podem apresentar esquecimento, o sistema utiliza notificações no aplicativo para *smartphone*, como apresentado na Seção 4.1. Além disto, no momento da notificação, o paciente tem a opção de realizar um *quiz* sobre qual medicamento deve ser tomado. Este “desafio extra” pode deixar a ação mecânica de tomar o remédio mais divertida, e ainda auxiliar o paciente a memorizar os horários.

Atividade física

A troca de informações e experiências entre pacientes pode ajudar a reduzir crenças relacionadas à realização de atividades físicas, principalmente em pacientes com outros problemas de saúde, que consideram seus corpos “muito fracos” e temem o aumento da pressão arterial. A organização de grupos também facilita a discussão sobre os melhores locais para as atividades, como custo, segurança, e facilidade de acesso.

Já os pacientes que apresentam falta de tempo como barreira à adesão, podem se beneficiar da divisão do tratamento em vários “desafios” menores e objetivos, e das dicas

geradas pelo sistema. Encaixando várias atividades físicas simples na sua rotina diária, estes pacientes não precisam dedicar horas do seu dia exclusivamente para a realização de exercícios.

Alimentação

Mudanças nos hábitos de alimentação geralmente possuem as maiores barreiras, principalmente pela alimentação ser tão relacionada a fatores sociais. Neste sentido, o sistema tenta gerar informações para induzir o paciente a fazer pequenas modificações nas suas escolhas alimentícias sem que ele se sinta forçado a isto.

Por exemplo, informações sobre a quantidade de açúcar presente, em média, em sobremesas comuns como pudim em comparação à uma salada de frutas, podem induzir o paciente a fazer uma escolha mais saudável. O *feedback* da quantidade de calorias consumidas, e a diferença acumulada destas pequenas decisões visualizadas em gráficos, funciona como um reforço positivo que pode motivar o paciente a manter estes hábitos saudáveis.

5. Trabalhos futuros

Os desafios da construção de um sistema como o proposto abrem possibilidades para pesquisas em diversas áreas, de detalhes técnicos na comunicação com os elementos de hardware, até a exploração e refinamento da própria teoria de *gamification*. Considerando os tratamentos de hipertensão, alguns exemplos de possíveis trabalhos futuros são:

- Construir um *framework* para padronizar a comunicação do sistema com dispositivos e sensores médicos que são parte de soluções proprietárias;
- Desenvolver algoritmos para transformar dados de diversos sensores em informações úteis para o sistema sobre atividade física e alimentação do paciente, tentando utilizar o mínimo possível da bateria do *smartphone*;
- Investigar as vantagens e desvantagens da integração do sistema a redes sociais populares como *facebook* e *twitter*;
- Avaliar o impacto dos elementos de *gamification* em pacientes de diversos grupos demográficos, e averiguar quais adaptações são necessárias;
- Projetar elementos de *gamification* com um funcionamento mais parecido com jogos tradicionais, verificando se há um maior sentimento de imersão dos pacientes, e quais os efeitos na adesão aos tratamentos.

6. Conclusão

As doenças cardíacas são um dos mais importantes problemas de saúde pública no Brasil e no mundo. A hipertensão arterial, o principal fator de risco para estas doenças, está presente em 30% da população adulta, e seu tratamento apresenta baixos índices de adesão, pois depende da mudança de hábitos dos pacientes.

Gamification, a utilização de elementos de jogos em outros contextos, pode auxiliar neste problema por suas características de modificação comportamental. Atualmente a pesquisa sobre aplicação de técnicas de *gamification* na área da saúde está voltada para combater o sedentarismo aumentando a quantidade de atividades físicas. Mas, no caso de problemas cardíacos existem características únicas que devem ser levadas em conta, como a necessidade do uso de medicamentos e mudanças nos hábitos alimentares.

Este trabalho apresentou uma proposta de sistema para facilitar a comunicação entre pacientes e profissionais de saúde e favorecer o aumento da adesão aos tratamentos, utilizando técnicas de *gamification* baseadas no aumento de motivação intrínseca, e evitando o uso de competições, *rankings*, e recompensas extrínsecas.

Considerando as técnicas apresentadas, em um cenário onde o paciente está ciente da necessidade de seguir o tratamento e tem boa comunicação com os profissionais de saúde, responsáveis por organizar o plano de cuidados que deve ser seguido, acredita-se que o sistema proposto pode motivar o paciente, gerando melhorias na adesão ao tratamento de hipertensão, por utilizar técnicas promissoras de *gamification* em saúde.

Referências

- Ahtinen, A., Huuskonen, P., e Häkkinen, J. (2010). Let's all get up and walk to the north pole: Design and evaluation of a mobile wellness application. Em *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, NordiCHI '10, páginas 3–12, New York, NY, USA. ACM.
- Baldissera, V. D. A., de Barros Carvalho, M. D., e Pelloso, S. M. (2009). Adesão ao tratamento não-farmacológico entre hipertensos de um centro de saúde escola. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, 30(1):27.
- Bazian Ltd. (2005). The effects of education on patient adherence to medication. *Evidence-based Healthcare and Public Health*, 9(6):398 – 404.
- Bénabou, R. e Tirole, J. (2006). Incentives and prosocial behavior. *American Economic Review*, 96(5):1652–1678.
- Bunchball (2015). Milestones. <http://www.bunchball.com/about/milestones>. Acessado em 01/11/2015.
- Carvalho, S. T. e Loques, O. (2010). Arquitetura de software para sistemas pervasivos de assistência domiciliar a saúde. Em *X Workshop de Informática Médica, XXX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Belo Horizonte, MG, Brasil*, páginas 1542–1545.
- Cherry, K. (2015). What is intrinsic motivation? <http://psychology.about.com/od/motivation/f/intrinsic-motivation.htm>. Acessado em 01/11/2015.
- Cohen-Mansfield, Jiska, Marx, S. M., Guralnik, e M, J. (2003). Motivators and barriers to exercise in an older community-dwelling population. *Journal of aging and physical activity*, 11(2):242–253.
- Cugelman, B. (2013). Gamification: What it is and why it matters to digital health behavior change developers. *JMIR Serious Games*, 1(1):e3.
- Currier, J. (2008). Gamification: Game mechanics is the new marketing. <http://blog.oogalabs.com/2008/11/05/gamification-game-mechanics-is-the-new-marketing>. Acessado em 01/11/2015.
- de Gusmão, J. L. e Mion Jr, D. (2006). Adesão ao tratamento–conceitos. *Rev Bras Hipertens vol*, 13(1):23–25.

- Deci, E. e Ryan, R. (2002). *Handbook of Self-determination Research*. University of Rochester Press.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., e Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification". Em *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, MindTrek '11, páginas 9–15, New York, NY, USA. ACM.
- Fitocracy, Inc. (2015). Fitocracy. <https://www.fitocracy.com>. Acessado em 14/01/2015.
- Gritz, E. R., DiMatteo, M., e Hays, R. D. (1989). Methodological issues in adherence to cancer control regimens. *Preventive Medicine*, 18(5):711 – 720.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013). Pesquisa nacional de saúde. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/pns/2013/default.shtm>. Acessado em 14/01/2015.
- Knaving, K. e Björk, S. (2013). Designing for fun and play: Exploring possibilities in design for gamification. Em *Proceedings of the First International Conference on Gamification Design, Research, and Applications*, Gamification '13, páginas 131–134, New York, NY, USA. ACM.
- Lister, C., West, H. J., Cannon, B., Sax, T., e Brodegard, D. (2014). Just a fad? gamification in health and fitness apps. *JMIR Serious Games*, 2(2):e9.
- Llopis, N. (2013). Luck in games. <http://gamesfromwithin.com/luck-in-games>. Acessado em 01/11/2015.
- Manfroi, A. e Oliveira, F. (2010). Dificuldades de adesão ao tratamento na hipertensão arterial sistêmica: considerações a partir de um estudo qualitativo em uma unidade de atenção primária à saúde. *Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade*, 2(7):165–176.
- McGonigal, J. (2011). *Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World*. Penguin Publishing Group.
- Munson, S. e Consolvo, S. (2012). Exploring goal-setting, rewards, self-monitoring, and sharing to motivate physical activity. Em *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2012 6th International Conference on*, páginas 25–32.
- Nike, Inc. (2015). Nike+. <https://secure-nikeplus.nike.com/plus>. Acessado em 14/01/2015.
- Penenberg, A. (2013). *Play at Work: How games inspire breakthrough thinking*. Little, Brown Book Group.
- Reeves, B. e Read, J. (2013). *Total Engagement: How Games and Virtual Worlds Are Changing the Way People Work and Businesses Compete*. Harvard Business Review Press.
- Robertson, M. (2010). Can't play, won't play. <http://hideandseek.net/2010/10/06/cant-play-wont-play>. Acessado em 01/11/2015.

- Santa-Helena, E. T. d., Nemes, M. I. B., e Eluf Neto, J. (2010). Fatores associados à não-adesão ao tratamento com anti-hipertensivos em pessoas atendidas em unidades de saúde da família. *Cadernos de Saúde Pública*, 26:2389 – 2398.
- Santos, Z. M. d. S. A., Marques, A. C. T., e Carvalho, Y. P. (2013). Fatores relacionados à adesão ao tratamento do usuário hipertenso. *Revista Brasileira em Promoção da Saúde*, 26(2):298–306.
- Schutzer, K. A. e Graves, B. (2004). Barriers and motivations to exercise in older adults. *Preventive Medicine*, 39(5):1056 – 1061.
- Six to Start (2015). Zombies, run! <https://www.zombiesrungame.com>. Acessado em 14/01/2015.
- Sociedade Brasileira de Cardiologia (2010). VI diretrizes brasileiras de hipertensão. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 95:I – III.
- Stuart, A. G. (2014). Exercise as therapy in congenital heart disease - a gamification approach. *Progress in Pediatric Cardiology*.
- Walker, C. M., Elder, B. L., e Hayes, K. S. (2014). The role of a self-directed technology to improve medication adherence in heart failure patients. *The Journal for Nurse Practitioners*, 10(10):856 – 863. Special Issue: Technology That Transforms Health Care Practice and Education.
- Zuckerman, O. e Gal-Oz, A. (2014). Deconstructing gamification: Evaluating the effectiveness of continuous measurement, virtual rewards, and social comparison for promoting physical activity. *Personal Ubiquitous Comput.*, 18(7):1705–1719.

Controle de Congestionamento Multiusuário Baseado em Modelo Multifractal Adaptativo, Funções de Bases Ortonormais e Lógica Fuzzy

Álison A. Cardoso¹, Flávio H. T. Vieira¹

¹Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e Computação
Universidade Federal de Goiás (UFG)

alsnac@gmail.com, flavio@emc.ufg.br

Resumo. Neste trabalho propomos um novo modelo de controle de congestionamento multiusuário, utilizando um algoritmo fuzzy adaptativo para predição de tráfegos de redes, que podem ser descritos por um modelo multifractal. O algoritmo proposto de treinamento para o sistema fuzzy de controle utiliza Funções de Bases Ortonormal (OBF) inseridas em um algoritmo que se baseia no Least Mean Square (LMS). Para obtenção das funções de base ortonormais é considerado um modelo multifractal para descrever as séries de tráfego. Apresentamos também uma equação para cálculo da taxa ótima de controle, derivada do modelo Fuzzy LMS para minimizar o atraso e atender taxas. Através de simulações, mostramos que o esquema de controle proposto se favorece do desempenho superior do algoritmo fuzzy proposto. Comparações com outros métodos em termos de Taxa de Utilização do enlace, Taxa de Perdas, Vazão e Atraso são apresentadas.

1. Introdução

Aplicações que exigem garantias de qualidade de serviço (QoS) têm sido cada vez mais encontradas na Internet, tais como voz sobre IP e vídeo conferência [Ditze and Jahnich 2005]. Devido ao comportamento imprevisível e de rajadas dos fluxos em redes multimídia, congestionamentos podem ocorrer causando perdas de dados (bytes) e degradação dos parâmetros de QoS [Hatano et al. 2007]. Desta forma, se faz necessário um mecanismo de controle de congestionamento eficiente para superar esses problemas e garantir a qualidade de serviço desejada.

A solução adotada neste trabalho está relacionada com a aplicação da modelagem *fuzzy* visando a predição do comportamento de fila no *buffer* e o controle da taxa de entrada dos fluxos de tráfego. Neste tipo de abordagem, um fator importante para o sucesso do controle de congestionamento é a aplicação de uma modelagem de tráfego adequada. Quanto mais precisa for a estimativa do comportamento dos fluxos da rede, mais apropriado será o serviço oferecido ao usuário. Por outro lado, se o modelo não for capaz de representar precisamente o tráfego real, o desempenho real da rede pode ser subestimado ou superestimado. Assim, um modelo de tráfego eficiente deve capturar fielmente as características do tráfego de redes. Muitos estudos mostram que modelos *fuzzy* possuem vantagens sobre os modelos lineares em descrever o comportamento não-linear e variante no tempo de processos reais desconhecidos, como é o caso dos fluxos de tráfego de redes [Ouyang et al. 2005]. De fato, a modelagem

fuzzy é capaz de representar um sistema complexo não-linear através da combinação de vários modelos locais lineares invariantes no tempo [Chen et al. 2007].

Várias técnicas de controle de congestionamento em redes de computadores têm sido propostas na literatura [Wang et al. 2007, Durrezi et al. 2006]. Dentre as propostas de controle de congestionamento utilizando lógica nebulosa, algumas utilizam modelos *fuzzy* sem adaptação dos parâmetros como em [Hu and Petr 2000] e outras são baseadas em protocolos ou tecnologias de rede específicos. No primeiro caso, muitos dos esquemas não são suficientemente precisos em prever o comportamento variante do tráfego gerado por aplicações em tempo real devido a não adaptação de seus parâmetros. Por exemplo, em [Hu and Petr 2000], os autores propõem um algoritmo de controle preditivo das taxas dos fluxos de tráfego. Entretanto, nesta abordagem as funções de pertinência que caracterizam as entradas do preditor nebuloso são fixas, ou seja, tais funções não se ajustam a medida que novas entradas de dados são disponibilizadas. No segundo caso, podemos encontrar propostas de esquemas de controle que são dedicados aos protocolos de redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) ou baseados nos mecanismos de controle de congestionamento do protocolo TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), como em [Wang et al. 2007]. Entre as propostas de controle de congestionamento que não dependem de mecanismos específicos de rede, destacamos o método de Realimentação Binária [Chen et al. 1996] e o método de Controle Proporcional [Hab 1992]. Tais métodos podem ser utilizados para controle de aplicações de tempo real e são também eficazes para outros problemas de controle [Karnik and Kumar 2005]. Assim, usaremos estes métodos nas análises comparativas deste trabalho.

Na seção 2 descrevemos o sistema onde é aplicado o esquema de controle de congestionamento e apresentamos um novo modelo de controle multiusuário. Na seção 3 apresentamos o modelo de Função de Bases Ortonormais. Na sequência, introduzimos a análise multifractal. Na seção 5 descrevemos o algoritmo *fuzzy*. Na seção seguinte derivamos uma expressão para o cálculo da taxa ótima de controle derivada do modelo Fuzzy LMS, validando os resultados pela simulação na seção 7. Na seção 8 concluímos o trabalho e apresentamos propostas futuras.

2. Descrição do Sistema de Controle de Congestionamento

Nessa seção, detalhamos o sistema de controle de congestionamento implementado. Este sistema de controle visa prever adaptativamente o comportamento da fila no *buffer* e, a partir dos parâmetros do modelo de predição de tráfego, controlar a taxa da fonte de tal forma que o tamanho da fila no *buffer* seja igual ou inferior ao nível de referência desejado.

- Fluxo de tráfego controlável $\mu_i(k)$ para o usuário i ;
- Fluxo de tráfego não-controlável $\nu_i(k)$ para o usuário i ;
- *Buffer*;
- Atraso de realimentação (*round-trip time*) d ;
- Tamanho da fila no *buffer* $b_i(k)$ no instante k para o usuário i ;
- Capacidade η do enlace de saída do sistema;
- Nível desejado para o tamanho da fila no *buffer* b_i^r para o usuário i ;

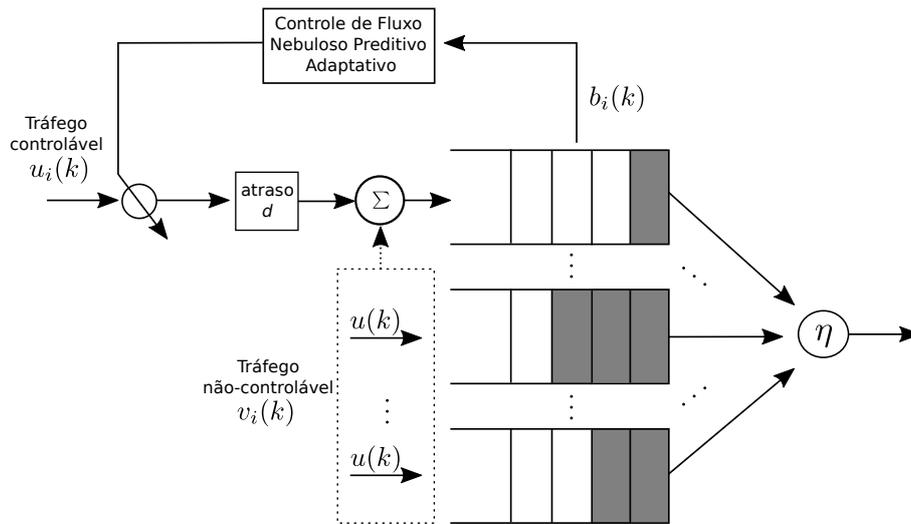


Figura 1. Modelo do Sistema de Controle de Congestionamento.

O tráfego que chega ao *buffer* vem de duas classes distintas. Uma está relacionada ao tráfego controlável $\mu(k)$ que adapta sua taxa às condições da rede, chamado de tráfego TBD (Taxa de Bits Disponível). A taxa de transmissão do tráfego TBD é regulada pelo controlador *fuzzy* adaptativo proposto implementado no *switch*. A outra classe é a do tráfego não-controlável $\nu(k)$, no qual se enquadram os serviços do tipo TBC (Taxa de Bits Constante) e TBV (Taxa de Bits Variável). Essa classe de tráfego é sensível ao atraso e tem maior prioridade de uso do enlace. Deste modo, as fontes controláveis podem usufruir apenas a banda restante não usada pelas fontes não-controláveis.

O esquema de controle proposto em [Vieira and Rocha 2011], realiza o processo de controle visando um tamanho de fila desejável para o controle de fonte para cada fonte individualmente. Esse controle individual faz com que o algoritmo *fuzzy* usufrua a banda restante sem um conhecimento do tamanho da fila das outras fontes, o que dependendo do caso pode agravar o congestionamento. Neste trabalho propomos um novo modelo que leva em consideração o tráfego das outras fontes do sistema.

Definimos o tráfego não-controlável, pela seguinte equação:

$$\nu_i(k) = u_1(k) + \dots + u_{i-1}(k) + u_{i+1}(k) + \dots + u_m(k) = \sum_{j=1; j \neq i}^m u_j(k) \quad (1)$$

A Equação 1 mostra que o tráfego não-controlável utilizado pelo algoritmo *fuzzy* na realização do controle da fonte i , será a soma do tráfego controlável de todas as fontes restantes, permitindo uma visualização geral do quão congestionado a rede se encontra.

O esquema de controle de tráfego proposto tem como objetivo levar em consideração o atraso de *round-trip* d prevendo o comportamento da ocupação do *buffer* a fim de evitar ocorrência de congestionamento. Para isto, desenvolvemos um algoritmo adaptativo de previsão de d passos a frente do tamanho da fila no *buffer*

$b_i(k + d)$ baseado nas informações passadas e atuais da taxa da fonte controlável $\mu(s)_{s \leq k}$ e do tamanho da fila no *buffer* $b(s)_{s \leq k}$. Além disso, para obter um atraso de espera na fila do *buffer* o mínimo possível, aplicamos a taxa ótima de controle proposta $\mu_i^o(k)$ para regular a taxa da fonte controlável i . Deste modo, é possível confinar a taxa de perda de bytes dentro dos níveis estabelecidos no contrato de tráfego por causa do baixo nível da fila devido a minimização do atraso.

Devido aos diversos tipos de serviços e aplicações, tais como, dados, voz e vídeo sendo multiplexados nos nós das redes, a dinâmica da ocupação do *buffer* é um processo complexo e não-linear. Esta ocupação expressa pelo tamanho de fila no *buffer* do sistema da Figura 1 pode ser descrita através da equação de Lindley [Jacobson 1995]:

$$b(k + 1) = \min\{\max[b(k) + (\mu(k - d) + \nu(k) - \eta) \times T, 0], B_{max}\}, \quad (2)$$

onde B_{max} é a capacidade máxima do *buffer*.

3. Funções de Base Ortonormal

A Base de Laguerre é usada em muitos contextos de identificação e controle de sistemas não-lineares. Neste trabalho, adotamos a Base de Laguerre porque é completamente parametrizada por apenas um polo, o polo de Laguerre. O conjunto das funções de transferência associadas com essa base é dada pela seguinte equação:

$$\Phi_{mag,j} = \sqrt{1 - p^2} \frac{q^{-1}(q^{-1} - p)^{j-1}}{(1 - pq)^j} \quad (3)$$

onde $p \in \{P : -1 < p < 1\}$ é o polo das Funções de Laguerre (Base de Laguerre) e q^{-j} é o operador de deslocamento. Nota-se que fazendo $p = 0$ na equação 3, obtemos $\Phi_{mag,j}(q^{-1}) = q^{-1}$. Portanto $\Phi_{mag,j}(q^{-1}) = q^{-1}$ é um caso especial da Base de Laguerre.

A saída do modelo entrada-saída, pode ser escrita como:

$$y(k) = H(l_1(k), \dots, l_n(k)) \quad (4)$$

onde $l_j(k) = \Phi_{mag,j}(q^{-1})u(k)$ é a j -ésima Função de Laguerre no instante de tempo k , n é a quantidade de funções base, $u(k)$ é o sinal de entrada e H é um operador não linear. Note que a operação de não linearidade do operador H pode ser obtida por uma modelagem *fuzzy*.

As funções de Laguerre $l_j(k)$ são recursivas e poder ser obtidas através da formulação de uma equação de estado, como se segue:

$$\mathbf{l}(k + 1) = A\mathbf{l}(k) + b\mathbf{u}(k) \quad (5)$$

$$y(k) = H(\mathbf{l}(k)) \quad (6)$$

onde $\mathbf{l} = [l_1(k) \dots l_n(k)]^T$. A matriz A e o vetor b depende da ordem n do modelo e do valor do polo p , como se segue:

$$A = \begin{pmatrix} p & 0 & \dots & 0 \\ 1 - p^2 & p & \dots & 0 \\ (-p)(1 - p) & 1 - p^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (-p)^{n-2}(1 - p) & (-p)^{n-3}(1 - p) & \dots & p \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$b = \sqrt{(1 - p^2)} [1 \ (-p) \ (-p)^2 \ \dots \ (-p)^{n-1}]^T \quad (8)$$

4. Análise Multifractal

A descrição do comportamento local de medidas e funções em uma forma geométrica e estatística é de interesse da análise multifractal. Na análise multifractal verifica-se o comportamento em escala de momentos estatísticos dos processos para estimar suas regularidades locais [Riedi et al. 1999]. Através de ferramentas da análise multifractal algumas propriedades encontradas em processos reais podem ser verificadas. O tráfego de redes, por exemplo, ao ser considerado multifractal significa que possui uma estrutura de forte dependência inerente entre as amostras, com incidência de rajadas em várias escalas [Riedi et al. 1999]. Estas características podem degradar o desempenho de rede em relação a fluxos de tráfego Gaussianos e de curta-dependência.

Definição 1: Um processo estocástico $X(t)$ é multifractal se satisfaz a equação:

$$E(|X(t)|^q) = c(q)t^{\tau(q)+1} \quad (9)$$

onde $t \in T$ e $q \in Q$, T e Q são intervalos na reta real, $\tau(q)$ e $c(q)$ são funções com domínio Q . Normalmente, assume-se que T e Q tenham comprimentos positivos, e que $0 \in T$, $[0, 1] \subseteq Q$. A Definição 1 descreve a “multifractalidade” em termos de momentos estatísticos, onde $\tau(q)$ e $c(q)$ são conhecidos como a função de escala e o fator de momento de um processo multifractal, respectivamente.

As séries de tráfego reais apresentam suas propriedades multifractais caracterizadas pela função de escala $\tau(q)$ e o fator de momento $c(q)$, conforme se pode observar pela equação (9). Assim, um modelo multifractal deve capturar estas duas propriedades multifractais. Isto pode ser obtido pelo produto de uma cascata multiplicativa $\mu(\Delta t_k)$ e uma variável aleatória i.i.d positiva Y em cada intervalo de tempo Δt_k [Dang et al. 2002]. A variável Y é independente da medida da cascata $\mu(\Delta t_k)$, então a série obtida denotada por $X(\Delta t_k)$ satisfaz a seguinte equação:

$$\begin{aligned} E(X(\Delta t_k)^q) &= E(Y^q)E(\mu(\Delta t_k)^q) \\ &= E(Y^q)\Delta t_k^{\tau_0(q)} \end{aligned} \quad (10)$$

onde $\tau_0(q) = \tau(q) + 1$.

4.1. Modelo do Polo Obtido a Partir da Função de Autocorrelação de Processos Multifractais

O polo usado para calcular as Funções de Base Ortonormal, pode ser obtido pela seguinte expressão [Vieira and Rocha 2011]:

$$p = -\frac{1}{2^{\log_2\left(\frac{\alpha+1}{\alpha+1/2}\right)}} \quad (11)$$

onde podemos estimar o valor de p adaptativamente através do valor de α .

Neste trabalho, consideramos dois modelos para obtenção do parâmetro α , o βMWM [Riedi et al. 1999] e o βMWM Adaptativo [Gonçalves et al. 2013].

A proposta deste trabalho é o de incluir o algoritmo Fuzzy LMS (secção 5) para modelar a função não-linear H (equação 4) no modelo de Funções de Base Ortonormal. O primeiro algoritmo proposto é Fuzzy LMS-OBF com Alfa Fixo, obtendo o polo pelo modelo βMWM [Riedi et al. 1999]. O segundo sendo o Fuzzy LMS-OBF com Alfa Adaptativo obtido através do modelo βMWM Adaptativo [Gonçalves et al. 2013].

5. Preditor LMS Fuzzy

Considere o vetor de entrada $[x(k)]$ com $x(k) \in U \equiv [C_1^-, C_1^+] \times [C_2^-, C_2^+] \dots [C_n^-, C_n^+] \subset R^n$ onde U representa o espaço das amostras de entrada do filtro e R o espaço do vetor de saída $[d(k)]$, sendo $k = 0, 1, 2, \dots$ o instante de tempo.

O problema se torna encontrar um filtro adaptativo $f_k : U \subset R^n \rightarrow R$ tal que a seguinte equação:

$$L = E[(d(k) - f_k(x(k)))^2] \quad (12)$$

seja minimizada.

O projeto do filtro adaptativo LMS Fuzzy descrito por [Wang 1994], segue os seguintes passos:

- **Passo 1:** Defina M conjuntos *fuzzy* F_i^l para cada intervalo $[C_i^-, C_i^+]$ do espaço de entrada U , com sua função de pertinência sendo:

$$\mu_{F_i^l} = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right] \quad (13)$$

- **Passo 2:** Construa um conjunto de regra SE-ENTÃO da seguinte forma:

$$R^l = \begin{cases} \text{Se } x_1 \text{ é } F_1^l \text{ e } \dots \text{ e } x_n \text{ é } F_n^l \\ \text{Então } d \text{ é } G^l \end{cases} \quad (14)$$

onde $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in U$, $d \in R$ e F^l definida no passo 1, com sua função de pertinência $\mu_{F_i^l}$.

- **Passo 3:** Construa o filtro adaptativo, que é equivalente a expansão do *fuzzy basis function* (FBF) [Wang 1994], representado pela equação:

$$f_k(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \theta^l (\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i))}{\sum_{l=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i))} \quad (15)$$

- **Passo 4:** Utilizando o algoritmo definido em [Kuo et al. 2013], atualize os parâmetros θ^l , \bar{x}_i^l e σ_i^l .

5.1. Algoritmo Adaptativo para Treinamento dos Parâmetros do Modelo *Fuzzy*

O algoritmo adaptativo para treinamento do modelo *fuzzy* consiste em inicializar os parâmetros $\theta^l(0)$, $\bar{x}_i^l(0)$ e $\sigma_i^l(0)$ aleatoriamente e em seguida atualizar os parâmetros do modelo utilizando as seguintes equações:

$$\theta^l(k) = \theta^l(k-1) + \alpha[d(k) - f_k] \frac{a^l(k-1)}{c(k-1)} \quad (16)$$

$$\bar{x}_i^l(k) = \bar{x}_i^l(k-1) + \alpha[d(k) - f_k] \frac{\theta^l(k-1) - f_k}{c(k-1)} a^l(k-1) \frac{x_i(k) - \bar{x}_i^l(k-1)}{(\sigma_i^l(k-1))^2} \quad (17)$$

$$\sigma_i^l(k) = \sigma_i^l(k-1) + \alpha[d(k) - f_k] \frac{\theta^l(k-1) - f_k}{c(k-1)} a^l(k-1) \frac{(x_i(k) - \bar{x}_i^l(k-1))^2}{(\sigma_i^l(k-1))^3} \quad (18)$$

onde

$$a^l(k-1) = \prod_{i=1}^n \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i(k) - \bar{x}_i^l(k-1)}{\sigma_i^l(k-1)} \right)^2 \right] \quad (19)$$

e

$$c(k-1) = \sum_{l=1}^M a^l(k-1) \quad (20)$$

para $l = 1, 2, \dots, M$, $i = 1, 2, \dots, n$ e α uma constante positiva pequena.

6. Cálculo da Taxa Ótima de Controle de Fluxos

Nesta seção, como parte do esquema de controle de congestionamento adaptativo proposto, apresentamos uma expressão para o cálculo da taxa ótima de controle para regular a taxa $\mu(k)$ da fonte controlável a partir da minimização da função custo J abaixo:

$$J(k+d) = E \left[\frac{b_i(k+d)}{\eta} + \frac{\lambda}{2} (\mu_i(k) - R_{i;min})^2 \right], \quad (21)$$

onde $E[.]$ denota a esperança matemática. Na equação (21), a função custo J leva em consideração o tempo de espera do *buffer*, dado por $\frac{b_i(k+d)}{\eta}$. Buscando o atendimento de taxas mínimas $R_{i;min}$ para o usuário i , adicionamos a segunda expressão na soma, na forma do operador de Lagrange λ .

A taxa de controle ótima é dada em função do valor do tamanho da fila no *buffer* d passos à frente. Uma estimativa do tamanho da fila $b_i(k)$ no *buffer* d passos à frente é fornecida pela saída do preditor *fuzzy* proposto quando aplicado à predição de amostras deste processo pela equação 15, sendo:

$$f_k = b_i(k+d) \quad (22)$$

Derivando a equação 21 em função de μ , obtemos:

$$\frac{\partial J}{\partial \mu} = \frac{\partial b_i(k+d)}{\eta \partial \mu} + \lambda(\mu - R_{i;min}) = 0 \quad (23)$$

Em [Wang 1994, p. 31] encontramos a derivada $(\partial b(k+d)/\partial \mu)$, dada pela equação:

$$\frac{\partial f_x}{\partial \mu} = \frac{\theta^l(k-1) - f_k}{c(k-1)} a^l(k-1) \frac{\mu(k) - \bar{\mu}^l(k-1)}{(\sigma^l(k-1))^2} \quad (24)$$

Através das equações 24 e 23, chegamos ao valor da taxa ótima de controle μ :

$$\mu_i^o = R_{i;min} - \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\theta^l(k-1) - f_k}{c(k-1)} a^l(k-1) \frac{\mu_i(k) - \bar{\mu}_i^l(k-1)}{(\sigma^l(k-1))^2} \right] \quad (25)$$

7. Avaliação do Esquema de Controle de Congestionamento Proposto

O esquema de controle de congestionamento proposto é constituído de um módulo de predição adaptativa de tráfego representado pelo algoritmo de predição *fuzzy* proposto e um módulo relativo ao cálculo da taxa ótima para os fluxos. Os parâmetros obtidos na predição do tamanho de fila no *buffer* são usados para calcular a taxa da fonte de tal forma que o tamanho da fila no *buffer* se aproxime do nível desejado e a sua variância se torne mínima. O esquema de controle de fluxos proposto é inserido no bloco “Controle de Fluxo Nebuloso Preditivo Adaptativo” da Figura 1.

Nessa seção, avaliamos o esquema de controle de congestionamento proposto e o comparamos a outros métodos de controle de congestionamento. Inicialmente, apresentamos os métodos de controle e as medidas de desempenho utilizados na comparação. Em seguida, validamos o esquema de controle de congestionamento proposto através de simulações. Para validação do esquema de controle proposto considerou-se um cenário de rede utilizando os tráfegos de rede *Waikato VIII-20111027-213205-5*¹, *Waikato VIII-20110921-000000-0* e *Waikato VIII-20110623-230233-4* obtidos em 2011 pela *Computer Science Department* da *University of Waikato*, agregadas na escala de *1ms*.

O sistema de congestionamento proposto foi modelado com um *buffer* de tamanho máximo B_{max} igual a *1 Mbytes*. A capacidade η do enlace de saída do sistema igual a *1 Mbytes*, enquanto o nível desejado para o tamanho da fila no *buffer* b^r foi fixado igual a *0,9 Mbytes* ($b^r = 90\% B_{max}$) e o atraso de realimentação (*round-trip time*) d igual a *1ms*. O parâmetro λ usado para calcular a taxa ótima de controle foi modelada sendo igual a 1.

Os métodos utilizados na comparação de desempenho do esquema de controle de congestionamento proposto são: método de Realimentação Binária [Chen et al. 1996] e método de Controle Proporcional [Hab 1992]. Tais métodos foram escolhidos por serem bastante utilizados na literatura [Karnik and Kumar 2005]

¹<http://wand.net.nz/wits/>

e por possuírem características semelhantes ao método proposto, isto é, esses métodos analisam o comportamento do tamanho da fila no *buffer* e estimam uma nova taxa para as fontes controláveis a partir de condições pré-estabelecidas, sendo também independentes de protocolos específicos de rede. Além disso, assim como no esquema de controle proposto, nestes métodos de controle um valor limitante para o tamanho da fila no *buffer* pode ser estabelecido.

Realimentação Binária (*Binary Feedback*) Nesse método de controle de congestionamento, a taxa da fonte de tráfego é controlada através do monitoramento do tamanho da fila no *buffer* [Chen et al. 1996, Karnik and Kumar 2005]. Dois limiares são configurados: T_l e T_h . Quando o tamanho da fila no *buffer* excede T_h , o congestionamento é detectado e a taxa da fonte é reduzida por um fator de 0.98. Por outro lado, quando o tamanho da fila no *buffer* se torna menor do que T_l , considera-se que não há mais congestionamento e a taxa da fonte é incrementada por um fator correspondente a 1% da capacidade do enlace de saída do nó. Caso contrário, a taxa da fonte permanece inalterada.

Nas simulações, os dois limiares T_l e T_h são configurados como $0.95b^\tau$ e $1.05b^\tau$, respectivamente, onde b^τ é o nível desejado para o tamanho da fila no *buffer*.

Controle de Congestionamento Proporcional (*Proportional Congestion Control*) - Esse método de controle de congestionamento monitora o tamanho da fila no *buffer* e usa esse valor para regular a taxa da fonte controlável através de uma variável de controle $c(k)$ [Hab 1992].

Seja b^τ o valor de referência de controle do tamanho da fila no *buffer* em um enlace. O sinal de controle da taxa de tráfego $c(k)$ é gerado através do seguinte algoritmo de controle de congestionamento:

$$c(k) = \begin{cases} 1.002 & \text{se } b(k) < 0.998b^\tau \\ 1.002 - \frac{b(k) - 0.998b^\tau}{b^\tau} & \text{se } 0.998b^\tau < b(k) < 1.002b^\tau \\ 0.998 & \text{se } b(k) > 1.002b^\tau \end{cases} \quad (26)$$

onde 0.998 pode ser visto como um limiar inferior e 1.002 como um limiar superior para o sinal de controle. O sinal de controle da taxa $c(k)$ é inversamente proporcional a ocupação do *buffer* quando $0.998b^\tau < b(k) < 1.002b^\tau$. Quando $b(k)$ é maior do que b^τ , o sinal de controle $c(k)$ é enviado para fonte para que esta diminua sua taxa. A situação inversa também ocorre, ou seja, quando $b(k)$ é menor do que b^τ , o sinal de controle $c(k)$ é enviado para que a fonte aumente sua taxa. Sendo $\mu(k)$ a taxa da fonte controlável no instante k , então a taxa da fonte para o instante seguinte será dada por $\mu(k+1) = c(k)\mu(k)$.

A Tabela 1 apresenta os resultados de Taxa de Perdas, Vazão, Utilização e Atraso Médio de todas as filas no *buffer*. Podemos observar que o algoritmo *Fuzzy* proposto apresentou o menor valor de Taxa de Perdas em comparação aos demais algoritmos utilizados na simulação indicando que o algoritmo proposto tem uma performance superior em relação aos demais no quesito perda de *bytes*.

Ainda na Tabela 1 notamos que a vazão do algoritmo *Fuzzy* proposto apresentou um menor valor comparado ao algoritmo Binário e aos tráfegos utilizados sem controle de congestionamento. A redução na vazão é motivada pela característica

Tabela 1. Taxas de Perdas, Vazão, Utilização e Atraso para os algoritmos considerados na simulação do esquema de controle proposto

	Taxa de Perdas	Vazão (Mbytes)	Atraso Médio (ms)
Sem Controle	47,11	$5,67 \times 10^3$	0,965
Binário	28,63	$4,16 \times 10^3$	0,897
Proporcional	10,53	$2,89 \times 10^3$	0,364
Fuzzy LMS-FBO com Alfa Adaptativo	0,37	$2,89 \times 10^3$	0,129

do algoritmo *Fuzzy* proposto em reduzir o tamanho da fila no *Buffer*, na tentativa de diminuir o atraso na fila. Ao compararmos a vazão do algoritmo proposto com o algoritmo proporcional, notamos valores semelhantes de vazão, mas, com uma taxa de perda inferior por parte do algoritmo proposto.

Na Tabela 1, podemos observar um atraso inferior para o algoritmo *Fuzzy* em relação aos demais algoritmos, indicando que um pacote terá um tempo de fila menor para ser atendido no *Buffer*.

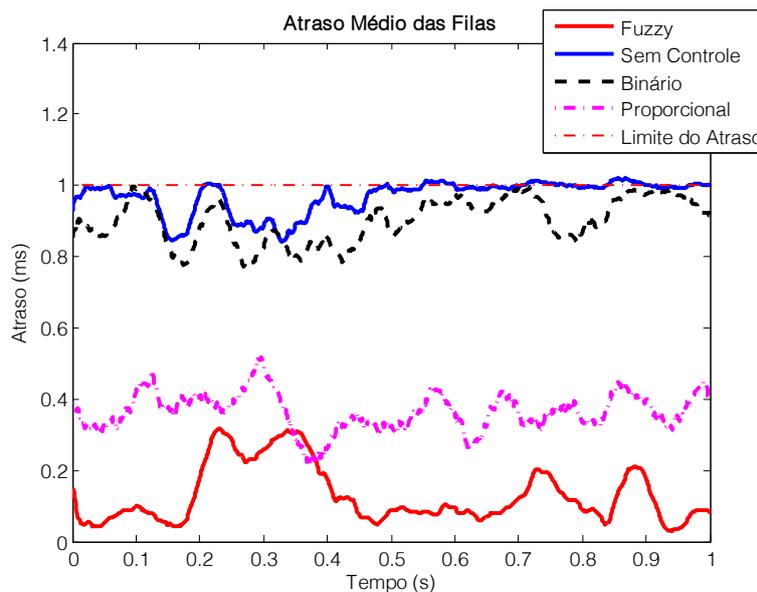


Figura 2. Modelo do Sistema de Controle de Congestionamento.

A Figura 2 mostra o atraso médio das filas no esquema de congestionamento utilizando os algoritmos *Fuzzy*, Proporcional, Binário e para o caso sem controle. Notamos também um atraso delimitante, dado por $Limite\ de\ atraso = \frac{B_{max}}{\eta}$. Os resultados mostram valores menores de atraso para os algoritmos *Fuzzy* e Proporcional, com melhor performance do proposto, resultado de um não-congestionamento nas filas de esperas. O algoritmo Binário e o método sem controle apresentou os maiores valores de atraso médio, se aproximando do valor limitante do atraso, o que não se adequa ao comportamento de uma esquema de congestionamento.

A Figura 3 mostra o tamanho médio das filas no *Buffer* para os algoritmos considerados. Notamos um comportamento menos congestionado para o algoritmo

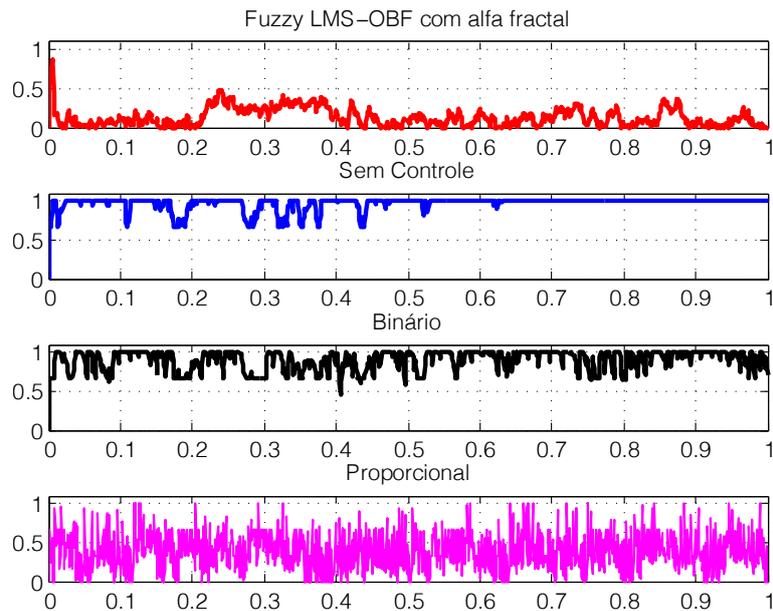


Figura 3. Modelo do Sistema de Controle de Congestionamento.

proposto, enquanto os demais algoritmos apresentam tamanho médio da fila superior em relação ao proposto, se aproximando do valor máximo do tamanho do *Buffer* de *1Mbytes*. Através desse comportamento, podemos verificar que um menor tamanho de fila gerará menores valores de atraso e uma menor vazão, como apresentado anteriormente pela Figura 2 e pela Tabela 1.

8. Conclusão

Os resultados obtidos mostraram que o algoritmo *Fuzzy* proposto apresentou uma superioridade em termos de menores valores de atraso e de perdas próximas a zero, destacando também uma redução na vazão quando comparados aos demais algoritmos.

Como proposta futura objetiva-se a ampliação do sistema de congestionamento proposto para tecnologias de redes com atendimento multiusuários, como por exemplo: *WiFi* e comunicações móveis.

Referências

- (1992). Access flow control algorithms in broadband networks. *Computer Communications*, 15(5):326–332.
- Chen, B., Liu, X., and Tong, S. (2007). Adaptive Fuzzy Output Tracking Control of MIMO Nonlinear Uncertain Systems. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 15(2):287–300.
- Chen, T. M., Liu, S. S., and Samalam, V. K. (1996). The Available Bit Rate Service for Data in ATM Networks. *Comm. Mag.*, 34(5):56–58, 63–71.
- Dang, T. D., Molnar, S., and Maricza, I. (2002). Capturing the complete characteristics of multifractal network traffic. *GLOBECOM*.

- Ditze, M. and Jahnich, I. (2005). Towards end-to-end QoS in service oriented architectures. In *Industrial Informatics, 2005. INDIN '05. 2005 3rd IEEE International Conference on*, pages 92–97.
- Durresi, A., Sridharan, M., and Jain, R. (2006). Congestion control using adaptive multilevel early congestion notification. *International Journal of High performance and Networking*, 4(5).
- Gonçalves, B. H. P., Vieira, F. H. T., and Costa, V. H. T. (2013). Modelagem Multifractal β MWM Adaptiva para Tráfego de Redes de Computadores. In *X Encontro Anual de Computação - EnAComp 2013*, pages 383–390.
- Hatano, T., Shigeno, H., and Okada, K. (2007). TCP-friendly Congestion Control for HighSpeed Network. In *Applications and the Internet, 2007. SAINT 2007. International Symposium on*, pages 10–10.
- Hu, Q. and Petr, D. (2000). A predictive self-tuning fuzzy-logic feedback rate controller. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 8(6):697–709.
- Jacobson, V. (1995). Congestion Avoidance and Control. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 25(1):157–187.
- Karnik, A. and Kumar, A. (2005). Performance of TCP Congestion Control with Explicit Rate Feedback. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 13(1):108–120.
- Kuo, S. M., Lee, B. H., and Tian, W. (2013). *Real-Time Digital Signal Processing: Fundamentals, Implementations and Applications*. John Wiley & Sons.
- Ouyang, C.-S., Lee, W.-J., and Lee, S.-J. (2005). A TSK-type neurofuzzy network approach to system modeling problems. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 35(4):751–767.
- Riedi, R. H., Crouse, M., Ribeiro, V., and Baraniuk, R. (1999). A multifractal wavelet model with application to network traffic. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 45(3):992–1018.
- Vieira, F. and Rocha, F. (2011). An adaptive fuzzy model using orthonormal basis functions based on multifractal characteristics applied to network traffic control. *Neurocomputing*, 74(11):1894–1907.
- Wang, C., Liu, J., Li, B., Sohraby, K., and Hou, Y. (2007). LRED: A Robust and Responsive AQM Algorithm Using Packet Loss Ratio Measurement. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, 18(1):29–43.
- Wang, L.-X. (1994). *Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.

Metodologia de Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Baseada em Maximização da Produtividade de Energia

Ricardo A. P. Franco¹, Flávio H. T. Vieira¹, Marcelo S. Castro¹

¹Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC)
Universidade Federal de Goiás (UFG)

ricardofranco3@gmail.com, flavio@emc.ufg.br, mcastro@emc.ufg.br

Resumo. Neste trabalho é apresentada uma proposta de metodologia de dimensionamento de um sistema fotovoltaico e escolha de componentes utilizando o software MATLAB para os cálculos necessários. O intuito deste trabalho é utilizar a metodologia proposta como ferramenta em simulações numéricas que permitam estudar a sensibilidade do fator de dimensionamento do inversor (FDI) com relação às particularidades locais climáticas, que são basicamente a radiação solar incidente no plano do gerador fotovoltaico e a temperatura ambiente. Com essa finalidade, somado ao conhecimento detalhado das diversas partes que compõe um sistema fotovoltaico, este trabalho proporciona um método de dimensionamento ótimo da configuração do sistema fotovoltaico que leva em consideração a relação custo-benefício de cada configuração.

1. Introdução

A crescente demanda por energia elétrica demonstra a dependência da sociedade por este tipo de energia. O setor elétrico vem desenvolvendo novos sistemas para aumentar a confiabilidade na rede elétrica, aprimorando suas funcionalidades e sua infraestrutura. Atualmente, a energia elétrica se tornou foco de estudos verificando que a demanda é crescente, além do fato que crises nos principais meios de produção de energia elétrica (como visto recentemente no Brasil com a produção de energia hídrica) acarretam problemas para toda a sociedade. Portanto, além de desenvolver sistemas com alta confiabilidade, é necessário estudar e analisar outros tipos de fontes de energia elétrica para auxiliarem a produção de energia hídrica.

Uma opção para a geração de energia elétrica no Brasil é a geração de energia fotovoltaica, pois o Brasil possui altos valores de irradiação solar global diária incidente, média anual, em qualquer local do território brasileiro (4200-6700 kWh/m²). Esses valores são superiores a vários países da União Europeia e boa parte das regiões do EUA [da Costa 2010]. A energia fotovoltaica têm se apresentado uma fonte de energia interessante, pois ela é uma fonte de energia renovável, sustentável e abundante.

Os sistemas fotovoltaicos convertem a energia solar em energia elétrica, em corrente contínua. Este sistema é composto de células fotovoltaicas que podem ser combinadas em série e em paralelo formando um painel fotovoltaico. O painel pode trabalhar com componentes que realizam o controle de carga, o armazenamento de

energia e a inversão para gerar corrente alternada [Soares e Vitorino 2014]. A Figura 1 apresenta um exemplo do sistema fotovoltaico.

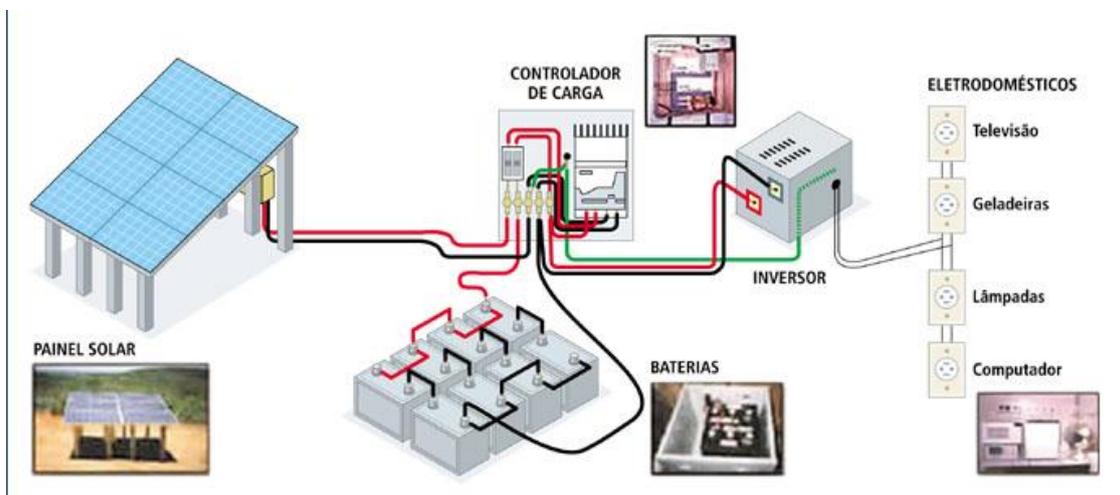


Figura 1. Sistema Fotovoltaico de Geração de Energia Elétrica [Soares e Vitorino 2014].

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é definido, basicamente, em adquirir a potência instalada e o consumo máximo necessário para calcular a característica e quantidade dos módulos, baterias, inversores, controladores de carga e condutores [da Silva 2013].

A solução proposta por este trabalho consiste de uma metodologia de dimensionamento de um sistema fotovoltaico e a escolha de componentes. O *software* MATLAB é utilizado para realizar os devidos cálculos necessários. Essa análise será utilizada em simulações numéricas que permitirão estudar a sensibilidade do fator de dimensionamento do inversor (FDI) às particularidades dos locais a qual se deseja observar - radiação solar incidente no plano do gerador fotovoltaico e temperatura ambiente. Como resultado deste estudo, são obtidas algumas configurações do sistema fotovoltaico que permitirão a tomada de decisão de qual configuração utilizar. Diferente de outros trabalhos da literatura [Marinosky e Salamoni e Rütther 2004], [Pereira e Gonçalves 2008] e [Khare e Rangnekar 2014], o algoritmo proposto seleciona a configuração que produza maior eficiência em termos de produtividade/eficiência de energia, tornando o processo de escolha automático.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: a metodologia proposta é descrita na seção 2; a seção 3 fornece os resultados gerados da aplicação da metodologia em um estudo de caso; a conclusão do trabalho é apresentada na seção 4.

1.1 Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos vêm propondo sistemas fotovoltaicos de geração de energia. No trabalho [Serrão 2010], é apresentado um sistema fotovoltaico, de baixo custo, para a total geração de energia elétrica (sem nenhum outro sistema de geração de energia) em uma residência de veraneio. Em [Marinosky e Salamoni e Rütther 2004], é realizado um estudo de pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico integrado a uma edificação

urbana e interligado à rede elétrica pública, objetivando gerar energia elétrica para o edifício e verificar a relação de geração e consumo do prédio.

Já em [Pereira e Gonçalves 2008], apresenta um estudo sobre o dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos interligados à rede, comprovando que o subdimensionamento do inversor não causa perdas significativas na geração de energia elétrica ao longo de um ano. No trabalho [Leva e Salerno e Camacho e Guimarães 2004], são apresentadas as principais análises e cálculos que devem ser efetuados para um dimensionamento mais preciso do sistema fotovoltaico, evitando assim excessos ao dimensionar o projeto. O trabalho [Khare e Rangnekar 2014] propõe uma metodologia para encontrar o tamanho ótimo de um painel solar fotovoltaico considerando os custos do tempo de vida útil dos painéis.

2. Metodologia

Essa metodologia propõe auxiliar no processo de escolha da configuração do sistema fotovoltaico, ou seja, fornecer soluções referentes a qual módulo utilizar (dentre aqueles fornecidos), a quantidade de módulos em série e/ou em paralelo e qual inversor utilizar. O algoritmo implementado atua de forma combinatorial, ou seja, testa todas as possíveis configurações para o sistema fotovoltaico escolhendo a que provê maior produtividade.

2.1. Dados Considerados na Implementação Computacional

Para que o algoritmo implementado forneça a solução, ou seja, o dimensionamento ótimo do sistema fotovoltaico, é necessário informar dados referentes aos módulos, inversores e dados climáticos da região a ser considerada. As características dos módulos fotovoltaicos que devem ser informadas são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros a serem informados sobre os módulos

Máxima potência
Tensão de máxima potência
Corrente de máxima potência
Corrente de curto circuito
Temperatura nominal de operação da célula
Coefficiente de temperatura de tensão
Coefficiente de temperatura de corrente

As características dos inversores que devem ser informadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros dos Inversores a serem informados

Potência nominal
Eficiência do inversor em 10% de carregamento
Eficiência do inversor em 50% de carregamento
Eficiência do inversor em 100% de carregamento
Potência máxima
Tensão de máxima potência (limite superior)
Tensão de máxima potência (limite inferior)
Máxima tensão
Corrente nominal
Corrente máxima

Os dados climáticos que devem ser inseridos na implementação computacional são os valores de irradiância e temperatura para todas as horas do ano [Villalva e Gazoli 2012].

2.2. Metodologia Proposta de Dimensionamento de Sistema Fotovoltaicos

No desenvolvimento do projeto de Sistemas Fotovoltaicos devem ser considerados alguns aspectos e premissas básicas, tais como:

- 1) Localização geográfica e definição da inclinação do painel;
- 2) Média mensal da irradiação solar para o local;
- 3) Cálculo do consumo diário;
- 4) A demanda anual requerida para o projeto em (kWh/ano);
- 5) A potência CC em (WP) necessária para atender o consumo requerido;
- 6) Definições quanto às maneiras de instalar os painéis, ou seja, no telhado, em postes ou na fachada do prédio;
- 7) Estimativa da área total requerida para instalação dos painéis;
- 8) Considerações relativas à estética devem ser também analisadas;
- 9) Estimativa da produção anual da energia;
- 10) Levantamento das características técnicas e especificações dos equipamentos disponíveis no mercado;
- 11) Verificar a compatibilidade entre características técnicas dos painéis e inversores considerados.

Considerando esses fatores, podemos propor as seguintes etapas para a metodologia para dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.

Algoritmo 1. Metodologia de Dimensionamento de Sistema Fotovoltaicos

Passo 1) Estimativa da Demanda de Potência ou Energia a ser Atendida

Com base nos aparelhos e dispositivos eletroeletrônicos presentes na residência e em hábitos de consumo, faz-se uma estimativa da potência total ou energia que deve ser atendida.

Passo 2) Verificação da Irradiação solar para o Local e Definição da Inclinação do Painel

Sempre que possível orientar o módulo com sua face voltada para o norte geográfico pois assim maximiza a produção média diária de energia. Ajustar o ângulo de inclinação do módulo com relação ao solo de acordo com o ângulo da latitude geográfica da localidade.

Passo 3) Seleção do Inversor

A potência do inversor escolhido deve ser igual ou ligeiramente superior a potência demandada da instalação. As características dos inversores, incluindo sua potência nominal devem estar em um arquivo Excel que será lido pelo MATLAB.

Passo 4) Determinação da potência do gerador fotovoltaico a ser conectado ao Inversor a partir da FDI

Neste ponto, propomos que seja calculada a eficiência média anual do inversor em função do FDI (Fator de Dimensionamento do Inversor) para se determinar qual valor de FDI tem-se eficiência média anual máxima.

Considerando o processo de seguimento do ponto de máxima potência, o valor de potência c.c. do gerador fotovoltaico pode ser dado por [Zilles et. al. 2012]:

$$P_{FV} = P_{FV}^0 \frac{H_{t,\beta}}{H_{ref}} [1 - \gamma_{mp} (T_C - T_{C,ref})] \cdot \eta_{SPMP} \quad (\text{Eq.1})$$

onde P_{FV}^0 é a potência nominal do gerador fotovoltaico.

- $H_{t,\beta}$ é a irradiância incidente no plano gerador

- T_C é a temperatura equivalente de operação das células. O subíndice ref indica as condições de referência que são 1000W/me, 25 graus Celsius.

- γ_{mp} é o coeficiente de temperatura do ponto de máxima potência.

- η_{SPMP} representa as perdas no processo de seguimento do ponto de máxima potência

Para calcular γ_{mp} utilizamos a seguinte equação:

$$\gamma_{mp} = \left(\frac{dV_{mp}}{dT} \cdot \frac{1}{V_{mp}} + \frac{dI_{mp}}{dT} \cdot \frac{1}{I_{mp}} \right) \quad (\text{Eq.2})$$

Utilizando as seguintes aproximações:

$$\frac{dV_{mp}}{dT} \cong \frac{dV_{oc}}{dT} \text{ e } \frac{dI_{mp}}{dT} \cong \frac{dI_{sc}}{dT}$$

A temperatura de célula pode ser obtida a partir da temperatura ambiente utilizando a seguinte equação [Zilles et. al. 2012]:

$$T_C = T_a (^{\circ}C) + H_{t,\beta} (W.m^{-2}) \left(\frac{T_{NOC} (^{\circ}C) - 20(^{\circ}C)}{800(W.m^{-2})} \right) \cdot 0.9 \quad (\text{Eq.3})$$

onde $T_a (^{\circ}C)$ é a temperatura ambiente e $T_{NOC} (^{\circ}C)$ é a temperatura nominal de operação da célula.

O fator de dimensionamento do inversor representa a razão entre a potência nominal do inversor P_{inv}^0 e a potência de pico P_{FV}^0 do gerador fotovoltaico:

$$FDI = \frac{P_{inv}^0}{P_{FV}^0} \quad (\text{Eq.4})$$

Denomina-se de produtividade Y_F do sistema em um determinado intervalo de tempo (t_2-t_1) a relação entre o valor médio da energia entregue à carga e a potência nominal do gerador:

$$Y_F = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{saída} \times dt}{P_{FV}^0} \quad (\text{Eq.5})$$

A potência de saída $P_{saída}$ da equação (Eq. 5) é calculada da seguinte forma [Zilles et. al. 2012]:

$$\text{Se } P_{saída} \geq P_{inv}^{máx} \text{ então } P_{saída} = P_{inv}^{máx} \quad (\text{Eq.6})$$

$$\text{Se } P_{FV} \leq k_0 P_{inv}^0 \text{ então } P_{saída} = 0$$

$$\text{Se } k_0 P_{inv}^0 < P_{saída} < P_{inv}^{máx} \text{ então } P_{saída} = \rho_{saída} P_{inv}^0$$

onde $\rho_{saída}$ é encontrado resolvendo-se a seguinte equação:

$$\rho_{FV} - \rho_{saída} + (k_0 + k_1 \rho_{saída} + k_2 \rho_{saída}^2) = 0 \quad (\text{Eq.7})$$

Sendo ρ_{FV} e $\rho_{saída}$ os valores de saída de potência do gerador fotovoltaico e do inversor, respectivamente, normalizados com relação à potência nominal do inversor P_{inv}^0 é [Zilles et. al. 2012]:

$$k_0 = \frac{1}{9} \frac{1}{\eta_{inv100}} - \frac{1}{4} \frac{1}{\eta_{inv50}} + \frac{5}{36} \frac{1}{\eta_{inv10}} \quad (\text{Eq.8})$$

$$k_1 = -\frac{4}{3} \frac{1}{\eta_{inv100}} + \frac{33}{12} \frac{1}{\eta_{inv50}} - \frac{5}{12} \frac{1}{\eta_{inv10}} - 1$$

$$k_2 = \frac{20}{9} \frac{1}{\eta_{inv100}} - \frac{5}{2} \frac{1}{\eta_{inv50}} + \frac{5}{18} \frac{1}{\eta_{inv10}}$$

Para o cálculo, utiliza-se os valores de irradiância e temperatura armazenadas na planilha em Excel.

Passo 5) Número e Arranjo de Módulos do Painel Fotovoltaico

Uma escolha preliminar do módulo é feita levando-se em conta a potência total necessária para o projeto dividida pela potência de um módulo. Definida a quantidade de módulos deve-se promover a associação de alguns módulos em série objetivando alcançar uma tensão de saída do módulo que seja compatível com a entrada do inversor (faixa de tensão) a ser utilizado. Após determinado o Número de módulos em Série, para encontrar o Número de Associações em Paralelo faz-se [Villalva e Gazoli 2012]:

Número de módulos FV= Número de módulos em série x Número de associações em paralelo

Uma vez que:

$$\text{Número de Módulos FV} = \frac{P_{FV}^0}{P_{mp}} \quad (\text{Eq.9})$$

determina-se o número de associações em paralelo como o maior número inteiro inferior ao valor calculado e um valor de corrente compatível com a entrada do inversor.

Passo 6) Verificação da Produtividade da Utilização do Inversor com Diferentes Módulos e com diferentes configurações

Seleciona-se a combinação (inversor + tipo de módulo) e arranjo de módulos que proporcione maior produtividade. Utiliza-se a planilha do Excel contendo as informações dos diferentes módulos. O programa implementado fornece as produtividades obtidas com as diferentes possibilidades de combinação de módulos fotovoltaicos e inversores possíveis.

Passo 7) Verificação Simples do custo de geração da energia

No caso em que a potência de saída do sistema $P_{saída}$ é obtida a partir de médias horárias de irradiância e temperatura ambiente, a energia anual produzida é dada por [Zilles et. al. 2012]:

$$E(Wh) = \left[\sum_1^{8760} P_{saída}(W).1h \right] \quad (\text{Eq.10})$$

De acordo com o número de módulos e o valor do módulo teremos diferentes custos de geração de energia. Para avaliarmos essa questão, fazemos:

$$\text{CustoE(Reais/Wh)} = (\text{Custo Unitário} \times \text{Número de Módulos} \times \text{Valor do Módulo}) / E(Wh) \quad (\text{Eq.11})$$

Passo 8) Estimativa da área total requerida para instalação dos painéis

Dado o tamanho (área) do módulo, por exemplo, 1.67m^2 , estima-se a área total multiplicando este valor pelo número total de módulos a serem instalados. Com isso, verifica-se a possibilidade de instalar os painéis em determinado local.

Passo 9) Dimensionamento das Instalações do Lado de Corrente Alternada (CA)

Os critérios e as exigências da norma "ABNT NBR 5410:2004 Instalações Elétricas em Baixa Tensão" devem ser atendidos na conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede.

Passo 10) Dimensionamento dos cabos no lado de corrente contínua (CC)

Os cabos elétricos empregados nas conexões em corrente contínua devem ser específicos para aplicações fotovoltaicas. Cabos com isolamento convencional podem ser empregados em instalações abrigadas em calhas ou eletrodutos. Em instalações com cabeamento aparente devem ser empregados cabos com proteção contra a radiação ultravioleta e fabricados para suportar temperaturas altas. Os cabos que fazem a conexão entre os módulos e o inversor devem ter tensão de isolamento entre 300V e 1000 V e sua capacidade de condução de corrente deve ser de 25% superior a corrente de curto-circuito dos módulos fotovoltaicos em STC ou seja [Villalva e Gazoli 2012]:

$$I_{\text{cabos}} \geq I_{\text{SC,STC}} \times 1,25 \quad (\text{Eq.12})$$

As quedas de tensão nas conexões em corrente contínua devem estar entre 1 e 3%. O dimensionamento dos cabos é feito inicialmente pelo critério da capacidade de condução de corrente, com consulta as tabelas de características dos condutores. Em seguida, após escolha inicial da seção transversal do condutor, aplica-se o critério da queda de tensão, levando em conta a resistividade do condutor escolhido, a corrente máxima esperada e o comprimento do cabo cuja queda de tensão deseja-se determinar. Em conjuntos fotovoltaicos com strings, deve se levar em conta também a corrente reversa. Em sistemas com mais de 2 strings paralelos a corrente suportada pelo cabo deve ser igual pelo menos a corrente para a qual é especificado o fusível de proteção do string.

Passo 11) Dimensionamento de Fusíveis no lado de Corrente Continua

Em conjuntos com mais de 2 strings paralelos é necessário empregar fusíveis para a proteção contra corrente reversa dos módulos [Villalva e Gazoli 2012]. A corrente máxima suportada pelos fusíveis é calculada como 10% maior do que a corrente de curto-circuito do módulo. Isso é necessário para que durante a operação normal do sistema, o fusível não seja interrompido. O fusível deve atuar em situações de falha, quando a corrente reversa pode exceder a corrente máxima suportada pelo módulo. O fusível deve ser dimensionado para atuar com uma corrente inferior ou igual a máxima corrente reversa que o módulo suporta.

3. Estudo de caso

Consideremos a implantação de um sistema fotovoltaico em uma residência em Nova Veneza, uma cidade do Estado de Goiás. Utilizaremos dados de temperatura e irradiância do local [Villalva e Gazoli 2012]. Assumiremos que temos para este exemplo as seguintes opções de equipamentos e módulos (Tabela 3 e 4):

Tabela 3. Equipamentos utilizados no estudo de caso

Inversores	Sunny boy	Sunny boy	Sunny boy	Sunny boy	HE-t	Suntree
Potência Nominal	1200	1700	2500	3000	2900	10000

Tabela 4. Módulos utilizados no estudo de caso

Módulos	KC 65	KC 120	YXGF-200M72	YXGF-240P60
PMP	65	120	195	240

Com base nos aparelhos e dispositivos eletroeletrônicos presentes na residência e em hábitos de consumo, faz-se uma estimativa da potência total ou energia que deve ser atendida. Vamos supor que o consumo é de 3400Wh (Energia Média Consumida por Dia).

Sempre que possível orientar o módulo com sua face voltada para o norte geográfico, pois assim maximiza a produção média diária de energia. No caso de Goiânia, o ângulo de inclinação do módulo com relação ao solo deve ser de 16 graus. Os valores do ângulo de inclinação do módulo, irradiação solar e temperatura foram utilizados os valores obtidos para a cidade de Goiânia, já que é uma cidade próxima de Nova Veneza e com características semelhantes. Esses dados foram armazenados em um arquivo Excel e fornecidos, posteriormente, ao programa MATLAB.

A potência do inversor escolhido deve ser igual ou superior a potência demandada à instalação. As características dos inversores, incluindo sua potência nominal devem estar em um arquivo de Excel que será lido pelo MATLAB. Vamos selecionar a princípio o inversor Sunny Boy 1200.

Neste ponto, propomos que seja calculada a produtividade em função do FDI (Fator de Dimensionamento do Inversor) para se determinar qual valor de FDI a ser escolhido. Esta etapa deverá relacionar todos os inversores e módulos e obter a configuração que gere a maior produtividade. Ao aplicar o algoritmo, a maior produtividade é obtida com a configuração 3 que possui o inversor Sunny Boy 1200 com módulos YXGF-200M72.

Produtividade $Y_F =$

987.47
 570.85
 1561.42 (Com FDI de 0.84)
 1495.00

A Figura 2 mostra a curva de produtividade versus FDI para a configuração 3, onde pode-se observar que para FDI 0,84 obtém-se valor máximo de produtividade.

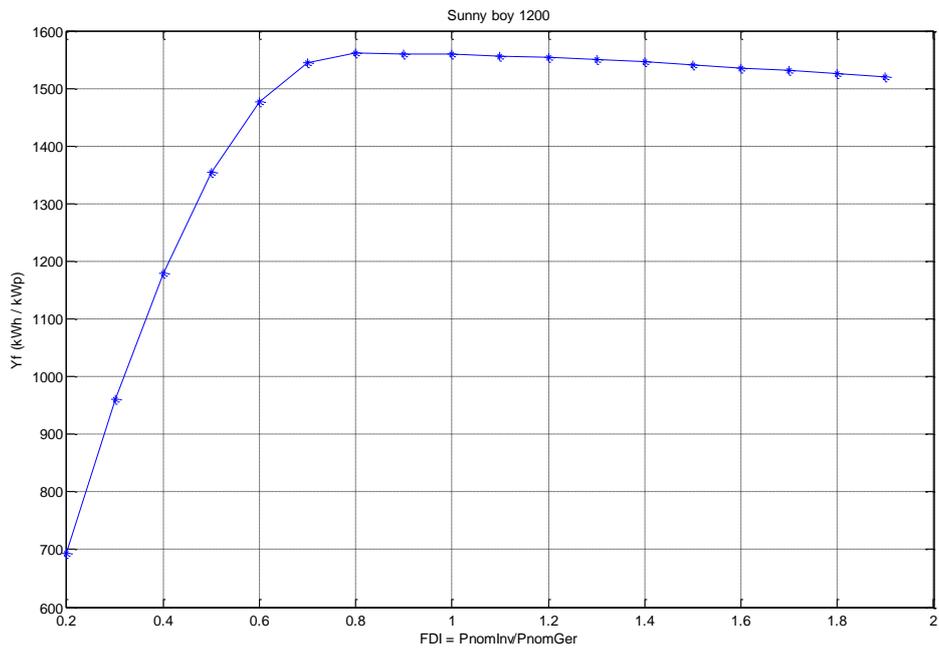


Figura 2. Produtividade versus FDI.

A Figura 3 apresenta uma parte dos valores de energia produzida versus tempo, mostrando que a demanda exigida de energia é atendida com esta configuração.

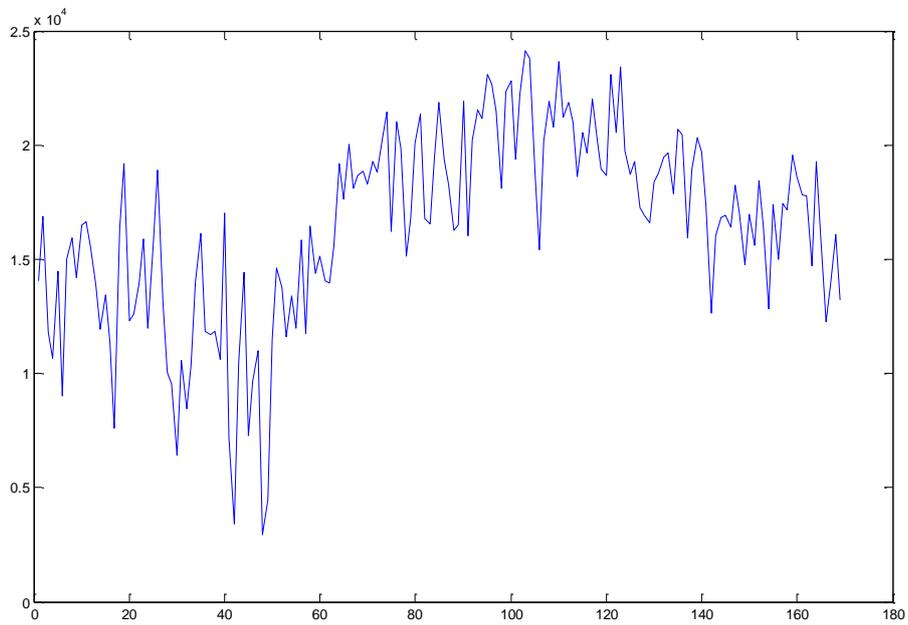


Figura 3. Energia produzida versus Tempo (Configuração 3).

Para a configuração 3 tem-se o seguinte arranjo para os módulos:

NS: Módulos em série=11;

NP: Módulos em paralelo=2;

Neste exemplo a configuração 3 também resultou em menor custo por energia gerada (Reais/Wh). Segue resultado fornecido pela implementação computacional:

CustopEnergia =

$1.0e-004 * 0.231114822232538$

$1.0e-004 * 0.655669224529467$

$1.0e-004 * 0.202095370677158$

$1.0e-004 * 0.307956869638392$

Dado o tamanho (área) do módulo, por exemplo, 1.67m², estima-se a área total multiplicando este valor pelo número total de módulos a serem instalados. Com isso, verifica-se a possibilidade de instalar os painéis em determinado local. Neste exemplo, teríamos: 36,74 m².

Portanto, a configuração 3 (inversor Sunny Boy 1200 com módulos YXGF-200M72) nos fornece a maior produtividade, menor custo por energia gerada, a demanda de energia exigida durante o período de tempo analisado e o sistema seria dimensionado com 11 módulos em série e 2 módulos em paralelo ocupando uma área de 36,74m² para gerar toda a energia requisitada.

4. Conclusão

Com base no disposto, percebe-se a importância do estudo realizado na tomada de decisão sobre a configuração do sistema fotovoltaico. Acredita-se que o estudo presente neste artigo possa fornecer importantes parâmetros de decisão para nortear o planejamento e execução de projetos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

A metodologia proposta permite a escolha automática da configuração para o sistema fotovoltaico de forma a maximizar a eficiência de produção de energia, apontando também para aquela que provê melhor custo-benefício em termos de quantidade de energia produzida pelo valor investido.

Como trabalho futuro, pretende-se avaliar o impacto e efeitos da implantação de sistemas fotovoltaicos na rede de energia.

Referências

da Costa, W. T. "Modelagem, Estimação de Parâmetros e Método MPPT para Módulos Fotovoltaicos", Disponível: http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_2756_TeseDoutoradoWagnerTeixeiradaCosta.pdf, Outubro/2010.

Soares, J. e Vitorino, M. "Estudo e Dimensionamento de Conversores CC-CC para Utilização em Sistemas Fotovoltaicos. Disponível: <http://150.165.111.246/revistapetadmin/index.php/EXPOPEP/article/view/70>, Novembro/2014.

- da Silva, L. V. "Desenvolvimento de um software para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos". Disponível: <http://gera.sr.ifes.edu.br/wp-content/uploads/2013/11/Software-Dimensionamento-PV.pdf>, 2013.
- Serrão, M. A. S. "Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso de Cajaíba - Paraty". Disponível: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>, Agosto/2010.
- Marinoski, D. L. e Salomoni, I. T. e Rütther R. "Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC". Disponível: http://www.labee.ufsc.br/antigo/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/pre_dimensionamento.pdf, Julho/2004.
- Pereira, O. L. S. e Golçalves, F. F. "Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: Estudo de Caso do Sistema de Tubarão - SC", Revista Brasileira de Energia, Volume 14, Nº 1, 1º Semestre, p. 25-45, 2008.
- Leva, F. F. e Salerno, C. H., Camacho, J. R., Guimarães, S. C. "Modelo de um Projeto de um Sistema Fotovoltaico", Disponível: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200020&scrypt=sci_arttext, 2004.
- Khare, A. e Rangnekar, S. "Optimal size of a grid integrated solar photovoltaic system", IET Renewable Power Generation, Vol. 8, Iss. 1, p 67-75, 2014.
- Zilles, R., Macedo, W. N., Galhardo, M. A., Barros, M. A., Oliveira, S. H. F., "Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica" São Paulo: Oficina de Textos, p.208, 2012.
- Villalva, M. G., Gazoli, J. R. "Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à Rede" São Paulo: Erica, 2012.

O Impacto das Funções de Redes Virtualizadas de um Ponto de Acesso Wi-Fi no Tráfego TCP

Telmo Queiroz da Silva e Vinicius da C. M. Borges

¹Universidade Federal de Goiás (UFG)
Instituto de Informática - Ciência da Computação
Caixa Postal 131 – 74001-970 – Goiânia – GO – Brasil

{telmoqueirozsilva, vinicius}@inf.ufg.br

Resumo. *O uso de redes sem fio tem crescido bastante nos últimos anos e com este crescimento, diversos tipos de tecnologias e aparelhos sem fio foram apresentados, como pontos de acesso Wi-Fi sem fio de várias marcas e modelos, que tentam atender as necessidades distintas de diferentes perfis de usuários. Neste contexto, a maior parte das funções de rede são fortemente atreladas a um hardware fechado de propósito específico usando software proprietário. Este aspecto tem dificultado a flexibilização dessas funções. O conceito de Funções de Redes Virtualizadas procura facilitar a virtualização das funções de rede. Existem ainda poucas especificações sobre ferramentas para virtualização de Ponto de Acesso (PA). Este artigo mostra uma combinação de um conjunto de softwares livres para virtualização das funções básicas de um PA (por exemplo, atribuição de endereços, roteamento, associação de usuários móveis). Além disso, uma análise do impacto da virtualização no tráfego TCP foi realizada em alguns estudos de casos, onde mostrou uma diferença de desempenho entre PA físico e virtual mostrou-se bastante pequena com o surgimento de novas ferramentas para virtualização das redes sem fio, como por exemplo ebttables e bridge-utils.*

1. Introdução

Função de Rede Virtualizada ou *Network Function Virtualization* (NFV) [ETSI 2012] surgiu como ferramenta para possibilitar a virtualização das funções de rede. NFV está alavancando a tecnologia de virtualização para consolidar vários equipamentos de rede cabeada e sem fio, como: reduzir os custos com equipamentos; otimizar a configuração da rede e/ou da topologia quase em tempo real; permitir que as operadoras ofereçam serviços personalizados; reduzir o consumo de energia através da exploração de recursos de gerenciamento de energia em servidores, armazenamento de dados e balanceamento de carga. Os componentes básicos para plataforma virtuais de funções de redes são [Hawilo et al. 2014]: recursos de *hardware*, onde um computador *bare-metal* deterá todos os recursos físicos, tais como CPU (Unidade Central de Processamento), armazenamento de dados e memória RAM (*Random Access Memory*); camada de virtualização (*hypervisor*) é o *software* que executa e gerencia os recursos físicos; recursos virtuais ou máquinas virtuais é a parte do *software* que emula a arquitetura e funcionalidades de uma plataforma física; as funções de rede virtualizadas (VNFs) são as implementações na perspectiva dos serviços e todos esses recursos serão gerenciados por um gerenciador e orquestrador NFV [Rosa. Raphael and Rothenberg 2014].

A criação de um Ponto de Acesso Virtual (PAV) é um exemplo de uso da tecnologia NFV em redes sem fio. PAV possibilita facilitar a filtragem de tráfego por domínio, por conteúdo e por usuário; e melhoria da eficiência energética [Al-Hazmi and de Meer 2011]; fazer a separação de domínios para diferentes usuários; compartilhar recursos da rede sem fio, onde são implantados por diferentes operadoras usando técnica de alocação de recursos; para alocar um PAV para servir uma área por um período de tempo e com serviços específicos [Nakauchi and Shoji 2015]; utilizar a virtualização para isolar tráfego em tempo real de tráfego em tempo não real [Wang and Zink 2012] e atenuar a degradação do rendimento devido a Interferência de Canais Adjacentes (ICA) [Shoji and Hiraguri 2014]. Em redes 4G e 5G está previsto o uso de pontos de acesso Wi-Fi e redes sem fio de múltiplos saltos (Wireless Mesh Networks) como alternativa para *offloading*, por exemplo filtragem de tráfego por domínio [Yazici et al. 2014] e [Trivisonno et al. 2015].

Por ser uma tecnologia ainda pouco consolidada e ainda em fase de especificação, ela ainda possui limitações, desafios e carências, principalmente para implantá-la nas redes sem fio. Por exemplo, pouco se tem encontrado sobre ferramentas ou *frameworks* que permitam implementar um ponto de acesso sem fio. Bhanage et al. fizeram a proposta de uso da arquitetura *SplitAP*, onde será usada a tecnologia de virtualização para criar PAV fazendo o uso dos algoritmos LPFC e LPFC+ (*Linear Proportional Feedback Control*). Não foram descritas ferramentas utilizadas para criar o PAV. Braham e Pujolle fizeram uso do *software VirtuOR*, onde emprega uma solução de *software* proprietária e não se sabe como foi feita a virtualização do PA [Braham and Pujolle 2012]. Nakauchi et al. trouxeram o conceito de *Bring Your Own Network* (BYON), uma solução para reduzir o impacto de tráfego e melhorar a eficiência da rede móvel. Eles criaram uma rede *Wi-Fi* virtualizada de forma dinâmica, onde uma estação base virtual oferecerá recursos dedicados para serviços específicos, mantendo a Qualidade de Serviço (QoS). Eles não demonstraram em si quais ferramentas foram utilizadas, apenas citou que utilizaram *softwares* livres e o *hostapd* para criar o PAV [Nakauchi et al. 2014]. Nakauchi et al. [Nakauchi et al. 2014] e Shoji e Hiraguri [Nguyen et al. 2014] propuseram e descreveram o sistema *Wi-Fi* virtualizado, mas não demonstraram em si quais ferramentas foram utilizadas, apenas citaram que utilizaram *softwares* livres e o *hostapd* para criar o PAV.

Conforme a análise dos trabalhos descritos anteriormente, podemos notar que existe uma carência da definição de softwares para auxiliar a criação de PAV com funcionalidades básicas e também alguns testes em um protótipo real, principalmente sobre o impacto da virtualização no desempenho das aplicações de redes. Por esta razão, este artigo propõe um conjunto de ferramentas para criar um PAV de forma mais completa e com testes em cenários mais próximos da realidade de WLANs (Rede Local Sem Fio ou *Wireless Local Area Network*). Portanto, será analisado o impacto da virtualização do PA no desempenho do tráfego através de testes na rede. Além disso, priorizou-se a adoção de ferramentas que sejam software livres, visto que as características de abertura, flexibilidade, maior quantidade de pessoas usando e acesso fácil as ferramentas vão de encontro com o propósito das funções de redes virtualizadas.

O artigo é organizado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta a relação de ferra-

mentas utilizadas para a criação de um PAV. A configuração experimental e os resultados obtidos são expostos na Seção 3. A Seção 4 apresenta as considerações finais do trabalho e aponta as perspectivas futuras.

2. Ferramentas para Virtualização do Ponto de Acesso Sem Fio

Nesta seção é apresentada uma combinação de ferramentas para virtualização de um ponto de acesso sem fio. A proposta desse artigo é demonstrar a criação de PAV usando *softwares* livres, fazendo jus ao emprego de NFV, onde uma das premissas é o uso de *software* com código aberto. Com base nesta premissa, as empresas poderão realizar alterações e até mesmo evoluções no sistema de acordo com suas necessidades, sem a forte dependência do fabricante do *software* ou *hardware*. Para isso foram utilizados os seguintes *softwares*:

Sistema Operacional (SO) GNU/Linux Debian 7 [Bruce 1998]: foi escolhido por ser um ambiente estável e manter suporte às ferramentas utilizadas. **Xen Hypervisor 4.1** [Foundation 2006]: foi escolhido por ser um *framework* de virtualização e ele usa para-virtualização, um método de virtualização que envolve alto grau de cooperação entre *hosts* virtualizados e máquinas virtuais, com a seleção de sistemas operacionais que aumentam a *performance* em comparação com soluções de virtualização convencionais. Xen também suporta total emulação do *hardware* da CPU, propriedade conhecida como HVM (*Hardware-assisted Virtual Machine*). Xen é um *hypervisor* que executa diretamente no *hardware* e é responsável por manter a CPU ininterrupta.

KVM: é uma solução de virtualização que pode trabalhar em conjunto com o *QEMU*, contendo extensões de virtualização (Intel VT ou AMD-V). *QEMU* é um *hypervisor* aberto e livre que executa virtualização de hardware possibilitando as máquinas virtuais executarem na velocidade próxima a máquina nativa, e desta forma conseguindo usufruir da melhor maneira os recursos oferecidos pelos processadores. **Hostapd**: é uma ferramenta que fornece criptografia *WPA2 (Wi-Fi Protected Access)* robusta e autenticação em pontos de acesso *wireless* baseados em Linux. Ele é simples e seguro de configurar e oferece suporte a *WPA2* de uso pessoal ou empresarial, além de fornecer uma modificação exclusiva ao *WPA2-Personal*, que o torna mais simples de administrar. Responsável por "criar" o AP propriamente dito, foi feita a criação dos PAs no padrão IEEE 802.11n em ambos PAs e para o PAV_01 foi configurado no "canal 06" e para o PAV_02 "canal 05".

iw: é um novo serviço de configuração de interface sem fio para ambiente *GNU/Linux*, ele está substituindo o *iwconfig*. **Libvirt** (*The virtualization API*): é utilizada para fazer o gerenciamento de serviços virtuais, como: KVM, QEMU, XEN, OpenVZ, *Virtual Box*, entre outros.

Iptables: nativo do SO, foi utilizado para criar as regras de acesso entre os endereços IP. **DHCP** (*Dynamic Host Configuration Protocol*) [ICS 1994]: é um protocolo utilizado em redes de computadores que permite às máquinas obterem um endereço IP (*Internet Protocol*) automaticamente. **IPerf**: ferramenta que faz o teste de tráfego de dados nas interfaces de rede, foi utilizada para realizar os testes de desempenho.

Bridge-Utils [Stephen 2009]: A ponte (*bridge*) é uma maneira de se conectar dois segmentos (*Ethernet*) em uma forma independente de protocolo. Os pacotes são encaminhadas com base no endereço *Ethernet*, em vez de endereço IP (como um roteador). Este

encaminhamento é feito na camada 2 (do modelo OSI), nisso todos os protocolos podem ir de forma transparente através de uma ponte. Essa função está implementada no *kernel* (núcleo) do GNU/Linux desde a versão 2.4. Uma ponte GNU/Linux é mais poderosa do que uma ponte de *hardware* puro, porque pode fazer filtro e controle do tráfego, para isso, temos que fazer uso da combinação de *bridging* e de *firewall*, neste caso fazendo uso do utilitário *ebrtables*. Uma ponte transparente retransmite o tráfego entre várias interfaces de rede, isso significa que uma ponte conecta duas ou mais redes *Ethernet* físicas. A ponte não sabe nada sobre protocolos, ele só vê quadros *Ethernet*. Como tal, a funcionalidade de ponte é independente de protocolo, e não deve haver nenhum problema de afinação IPX, NetBEUI, IP, IPv6, etc. O desempenho é limitado pelas placas de rede e o processador. Foi feito um trabalho de pesquisa por James Yu na DePaul University, [James 2004] onde mostra o desempenho do *bridge*. De acordo com a imagem [Stephen 2009], a *bridge br0* passa a ser a interface utilizada pelas aplicações da máquina física que normalmente usariam a *eth0* (*interface física*). Esta, por sua vez, passa a ser apenas uma forma de ligar a *bridge* à rede externa. O servidor DHCP da rede externa responderá às requisições da interface *br0* e também das interfaces virtuais *vnet0* à *vnet2*.

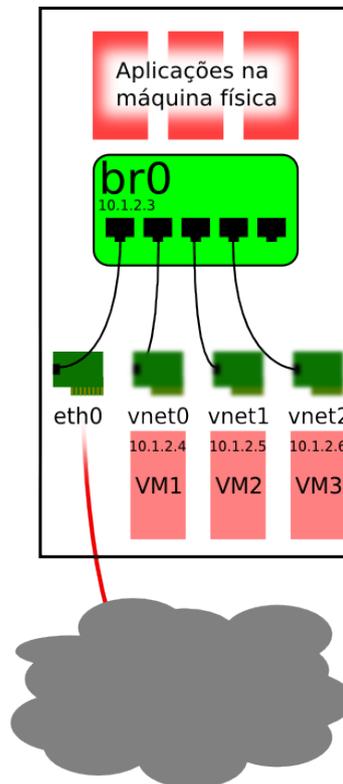


Figura 1. Exemplo de uso da função *bridge*

EBTables [Schuymer 2002]: O projeto *ebrtables* está incluso no *kernel* (núcleo) do GNU/Linux desde a versão 2.6. O *ebrtables* oferece a funcionalidade de filtragem de quadro *Ethernet*, MAC, NAT (*Network Address Translation*), *logging* e *brouting*. Essas funcionalidades tem sido utilizada principalmente juntamente com uma *interface* configurada em modo *bridge* (ponte). Ele faz uma filtragem transparente de tráfego da rede que passa através de uma ponte GNU/Linux. As possibilidades de filtragem estão limitados a ligação de filtragem na camada 2 e algumas filtragens básicas sobre camadas superiores. Ela também ser combinada com outras ferramentas de filtragem, como o *iptables*,

iptables e *arptables*. Para fazer um *firewall* de transição que também é capaz de filtrar essas camadas superiores. Alguns detalhes das funções: filtragem *Ethernet*; capacidade de alterar a fonte e destino endereço *MAC Ethernet*; decidir qual o tráfego que a ponte irá trabalhar. As duas *interfaces* pertencem à um dispositivo de ponte lógica, mas têm o seu próprio endereço IP e que pode pertencer a uma sub-rede diferente.

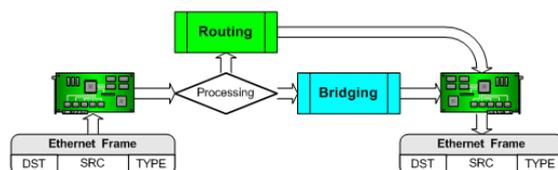


Figura 2. Exemplo de uso da função *ebttables* juntamente com a *bridge*

As ferramentas *bridge-utils* e *ebttables* nos auxiliaram a implementar as funções básicas de ponte de comunicação entre interfaces com fio e interfaces sem fio (encaminhamento em camada de enlace) e roteamento, respectivamente. Além disso, o *bridge-utils* trabalha mais na camada de enlace fazendo encaminhamento transparente entre a interface física com a virtual e o *ebttables* pode também implementar filtro de pacotes na camada de transporte entre as interfaces. Portanto, eles possibilitam uma virtualização com mais funções de redes do que os trabalhos relacionados. Baseada na análise apresentada na seção de trabalhos relacionados, é importante destacar que estas duas ferramentas não foram usadas em nenhum trabalho relacionado de virtualização de um PA.

3. Cenários

Seguem os detalhes mais relevantes da configuração: tivemos que criar uma interface virtual para que a mesma possa realizar a comunicação com a interface física e incluídas as informações: **bridge_ports wlan0**, referente a comunicação com a interface física (*wlan0*) e foi adotado o nome de **br0** para a interface virtual; na tabela 1 consta a configuração dos computadores comuns para a realização da implantação dos dois PAVs; foram criados dois cenários para testes, um com dois domínios distintos e outro em rede malha e não foi utilizado nenhum meio de autenticação e/ou criptografia e fazendo uso da tecnologia 802.11n; para a realização dos testes foram utilizados os *laptops* Lenovo Ideapad U530 (interface wi-fi Intel 7260) e E-Machines D442 (interface wi-fi Broadcom 43225) e um Ponto de Acesso Físico (PAF) *Wi-Fi* Linksys E900-BR com função de roteamento ativado; a ferramenta *IPerf* permite realizar os testes de desempenho entre computadores conectados aos PAs, usamos o laptop E-Machine como servidor e o Lenovo como cliente realizando uma sequência de 03 testes, onde cada ponto nos gráficos são a média aritmética de todos os testes.

Tabela 1. Configuração dos computadores

	Computador 01	Computador 02
CPU	Intel Pentium DualCore E2180	Intel Core i5 2310
RAM (<i>Randon Access Memory</i>)	2GB	4GB
Interface Wi-Fi	Atheros AR9485	Atheros AR9227
SSID (<i>Service Set Identifier</i>)	PAV_01	PAV_02
Canal de comunicação	06	05

3.1. Configuração de dois domínios

Em cada computador foi feita a criação do PAV com domínio diferente, na Figura 3 podemos ver a topologia da Rede. Na realização dos testes, temos algumas observações: os trabalhos de [Aljabari and Eren 2011], [Aljabari and Eren 2010] e [Xia et al. 2011] fizeram testes em 60 segundos, usamos como referência para nossos testes, fracionando de 10 em 10 segundos, conectamos os dois *laptops* ao PAV e no PAF e realizamos os testes para cada PA, fazendo uso dos parâmetros "-P 1 -i 10 -p 5001 -f m -t 60" na ferramenta *IPerf*. No ambiente que foi testado constava algumas redes Wi-Fi ativas, que podem ter contribuído com alguma interferência, até mesmo entre as conexões ativas no ambiente.

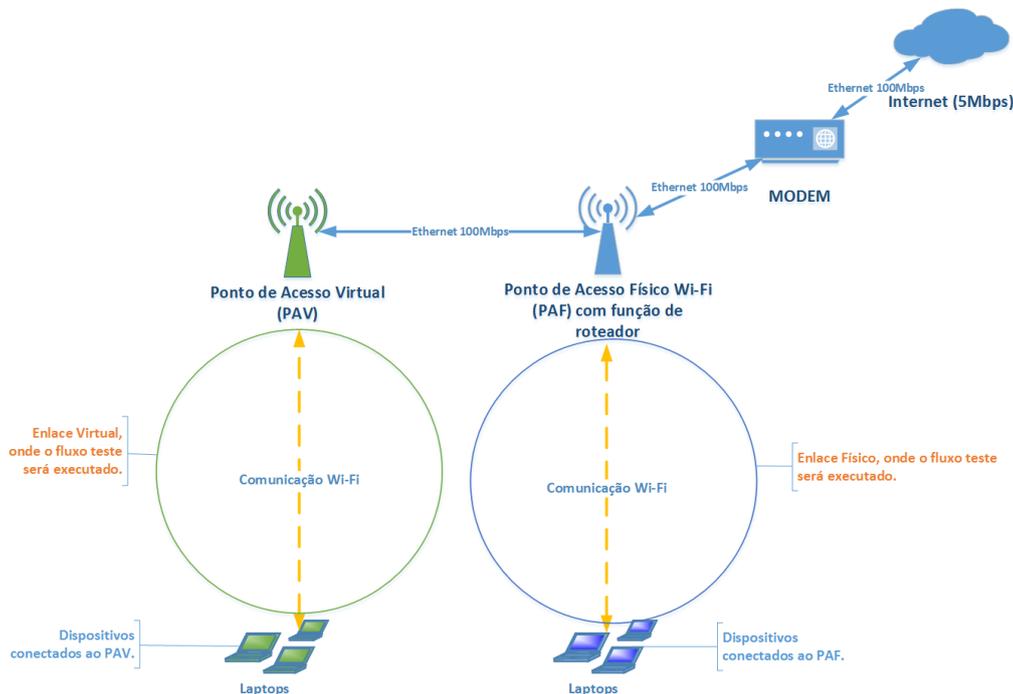


Figura 3. Diagrama da rede usando dois domínios.

Conforme o diagrama de rede, conectamos os computadores via cabo par trançado (*Ethernet* de 100Mbps) ao roteador (PAF), que por sua vez conectado ao MODEM (Modulador e Demodulador). Nos computadores foram criados os PAVs (PAV_01 e PAV_02), onde cada PAV proverá conexão com à *Internet* de forma distinta, ou seja, poderemos usar os PAVs para prover uma Rede Local Privada de forma independente, como por exemplo, um *Cyber Café* e uma Papelaria que estão em um mesmo ambiente, porém podemos ter PAVs de forma distinta compartilhando a mesma infraestrutura física.

A ferramenta *IPerf* executa os testes somente como cliente x servidor, ou seja, não foi possível usá-la diretamente com o PAF, então foi executado o fluxo de testes usando os dois *laptops* conectados aos PAs. De acordo com a Figura 4 podemos observar em modo geral que os PAF e o PAC se mantiveram com um desempenho muito similar com o aumento o número de fluxos, exceto quando tem somente um fluxo, onde a diferença é um pouco mais elevada (7%). Isto é justificado pela fato de algumas funções de redes realizadas pela ferramenta *bridge-utils* (filtragem) é pouco escalável por ser realizada em

nível de software por causa da virtualização. Por outro lado, *ebtables* mostrou irrelevante impacto no desempenho do tráfego.

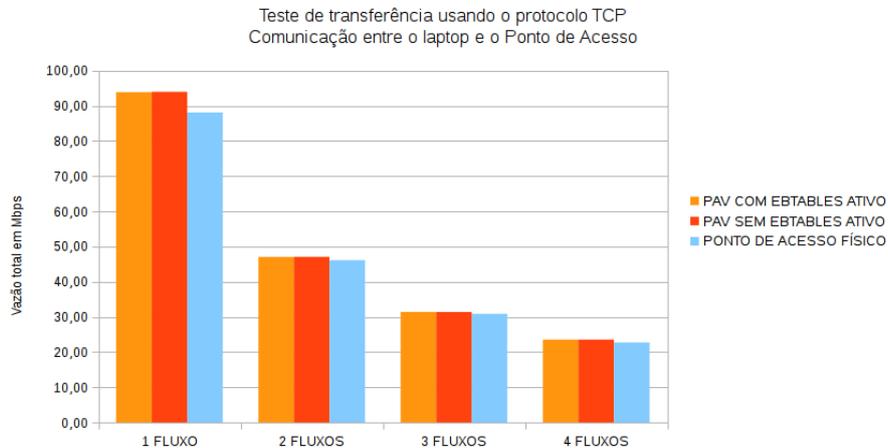


Figura 4. Gráfico de desempenho usando o protocolo TCP na rede de dois domínios.

3.2. Configuração em modo *Wireless Mesh Network*

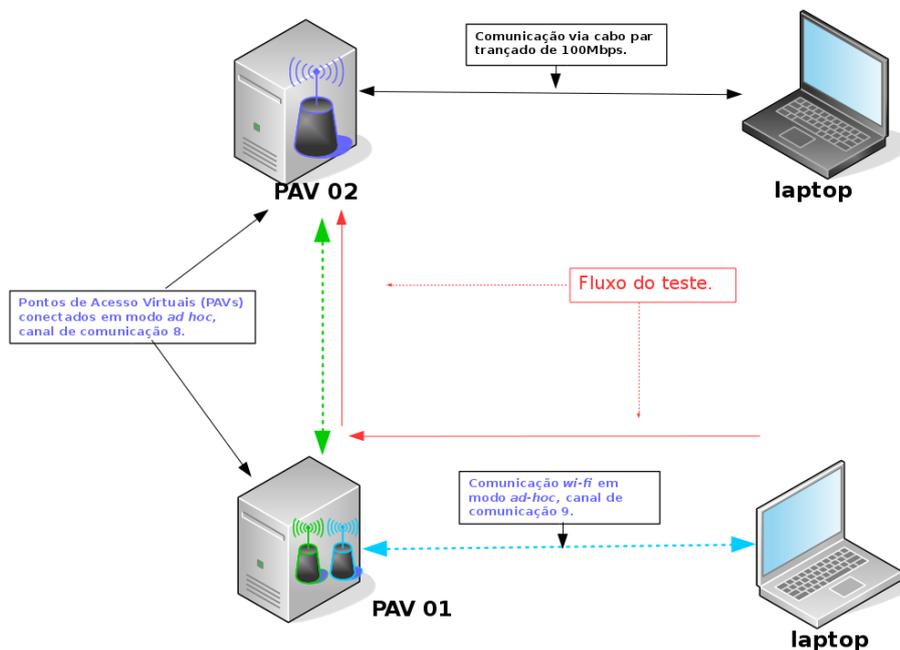


Figura 5. Diagrama da rede usando Múltiplos Saltos.

Foi feita a configuração de dois PAVs, na Figura 5 podemos ver a topologia da Rede com Múltiplos Saltos, como por exemplo, uma Rede em Malha Sem Fio. Neste cenário foi adicionado uma outra interface Wi-Fi no PAV_02 (Atheros AR9485) para realizar a conexão com o PAV_01 e no PAV_02 foi adicionada à função de roteamento, onde ele ficou responsável por encaminhar o tráfego oriundo do PAV_02 ao PAV_01 e conseqüentemente ao PAF (roteador). Para o ambiente físico, criamos duas redes *ad hoc*

usando os mesmos computadores e configurações do ambiente virtual, porém fazendo uso explicitamente da interface física. Usamos o *IPerf* para avaliar o *link* entre um laptop ao PA, onde fizemos os testes no PAV_01 passando pela função de roteamento do PAV_02 e da mesma forma com o ambiente físico, testamos o link com o PAF_01, passando pela função de roteamento do PAF_02.

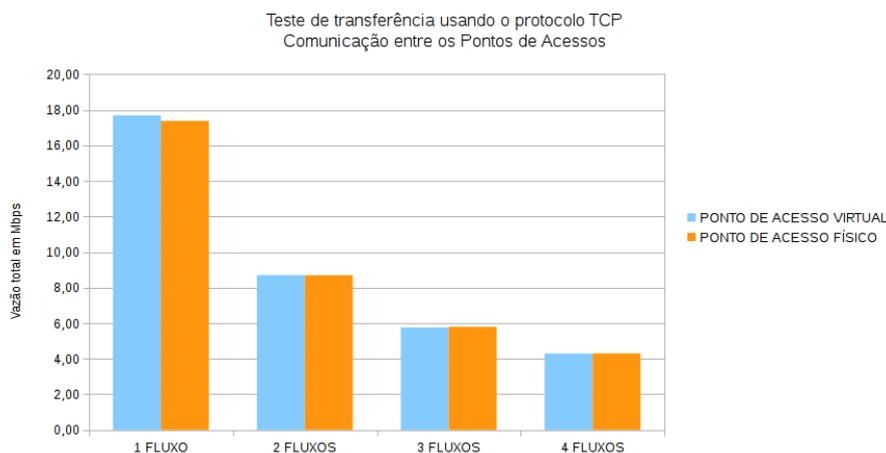


Figura 6. Gráfico de desempenho usando o protocolo TCP na rede com múltiplos saltos.

De acordo com a Figura 6, podemos observar que o PAV obteve um resultado também muito similar ao PAF. As ferramentas *ebtables* e *bridge-utils* auxiliaram a criação de uma comunicação em modo *ad hoc* das interfaces de redes sem fio virtuais de forma mais eficiente do que a configuração física da interface de rede sem fio dos PAFs, visto que o modo *ad hoc* de comunicação destes PAFs possuem problemas de desempenho já detectados em [Al-Jubari et al. 2011]. Alguns fabricantes de PAs não fornecem soluções eficientes para comunicação de múltiplos saltos, focando mais no modo de comunicação de infraestrutura, sendo o caso do fabricante dos PAFs aqui estudados. Portanto, as ferramentas de virtualização *ebtables* e *bridge-utils* possibilitaram um desempenho equivalente entre PAVs e PAFs, mesmo levando em consideração o *overhead* de processamento que a função de rede da interface sem fio de comunicação demanda.

4. Conclusões e trabalhos futuros

Neste artigo foi apresentado um conjunto de software livres que permite viabilizar a virtualização de um PA através da virtualização das funções básicas de ponto de acesso sem fio *Wi-Fi*. Os softwares *ebtables* e *bridge-utils*, nos ajudaram a criar os PAVs de maneira mais eficiente e mais completa. Nos testes executados, notamos que ao realizar a virtualização de um PA no cenário com dois domínios em modo de comunicação, o PAF e o PAV possuem um desempenho muito similar.

Os PAVs oferecem vantagens baseadas nesta capacidade de abstração das funcionalidades da interface de comunicação física empregando uma configuração mais customizada e flexível. No cenário com diferentes domínios em modo de comunicação de infraestrutura, os fabricantes desenvolvem o *hardware* e *software* para esse propósito, assim eles garantem um desempenho mais satisfatório que o ambiente virtualizado, porém no ambiente virtualizado, o administrador pode realizar uma gestão flexível do

PA e também configurá-lo de modo mais específico graças as opções oferecidas pelos softwares livres aqui utilizados, como exemplo: a criação de domínios distintos, serviço de roteamento mais customizado, bem como criar e/ou customizar algum serviço ou até mesmo escolher a configuração das máquinas e sistema operacional que irá executar a função de rede virtualizada de *hardware* e de rede, que até então era desenvolvido e mantido pelo fabricante de forma inflexível, fechada e ineficiente em alguns cenários.

Referências

- Al-Hazmi, Y. and de Meer, H. (2011). Virtualization of 802.11 interfaces for wireless mesh networks. In *Wireless On-Demand Network Systems and Services (WONS), 2011 Eighth International Conference on*, pages 44–51.
- Al-Jubari, A., Othman, M., Mohd Ali, B., and Abdul Hamid, N. (2011). Tcp performance in multi-hop wireless ad hoc networks: challenges and solution. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2011(1).
- Aljabari, G. and Eren, E. (2010). Virtual wlan: Extension of wireless networking into virtualized environments.
- Aljabari, G. and Eren, E. (2011). Virtualization of wireless lan infrastructures. In *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2011 IEEE 6th International Conference on*, volume 2, pages 837–841.
- Braham, O. and Pujolle, G. (2012). Virtual access point to the cloud. In *Cloud Networking (CLOUDNET), 2012 IEEE 1st International Conference on*, pages 206–208.
- Bruce, P. (1998). Linux Debian. Disponível em: <http://www.debian.org>. Acessado em fevereiro de 2015.
- ETSI (2012). ETSI - European Telecommunications Standards Institute. Disponível em: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv>. Acessado em fevereiro de 2015.
- Foundation, T. L. (2006). Xen. Disponível em: <http://www.xenproject.org/>. Acessado em fevereiro de 2015.
- Hawilo, H., Shami, A., Mirahmadi, M., and Asal, R. (2014). Nfv: state of the art, challenges, and implementation in next generation mobile networks (vepc). *Network, IEEE*, 28(6):18–26.
- ICS (1994). DHCP. Disponível em: <http://www.isc.org/downloads/dhcp/>. Acessado em fevereiro de 2015.
- James, T. Y. (2004). Performance evaluation of linux bridge. In *Telecommunications System Management Conference*.
- Nakauchi, K., Lei, Z., Shoji, Y., Kitatsuji, Y., Ito, M., and Yokota, H. (2014). Bring your own network design and implementation of a virtualized wifi network. In *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2014 IEEE 11th*, pages 483–488. IEEE.

- Nakauchi, K. and Shoji, Y. (2015). Wifi network virtualization to control the connectivity of a target service. *Network and Service Management, IEEE Transactions on*, PP(99):1–1.
- Nguyen, K., Ji, Y., and Yamada, S. (2014). A cross-layer approach for improving wifi performance. In *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2014 International*, pages 458–463.
- Rosa, Raphael, Siqueira, Marcos, B. E. M. C. and Rothenberg, C. (Maio, 2014). Network function virtualization: Perspectivas, realidades e desafios. Disponível em: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/15183439/PPTs/NFV-short-course-SBRC14-full.pdf>. Acessado em fevereiro de 2015.
- Schuymer, B. D. (2002). ebttables. Disponível em: <http://ebtables.netfilter.org/>. Acessado em fevereiro de 2015.
- Shoji, Y. and Hiraguri, T. (2014). Virtualization-capable multichannel wifi system with a coordinated downlink transmission technique. In *Communication Systems, Networks Digital Signal Processing (CSNDSP), 2014 9th International Symposium on*, pages 502–507.
- Stephen, H. (2009). QualNet. Disponível em: <http://www.linuxfoundation.org/collaborate/workgroups/networking/bridge>. Acessado em fevereiro de 2015.
- Trivisonno, R., Guerzoni, R., Vaishnavi, I., and Soldani, D. (2015). SDN-based 5G Mobile Networks: Architecture, Functions, Procedures and Backward Compatibility. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies (Wiley Online Library)*, 26(1):82–92.
- Wang, C. and Zink, M. (2012). Qos featured wireless virtualization based on 802.11 hardware. In *Wireless Communication Systems (ISWCS), 2012 International Symposium on*, pages 801–805.
- Xia, L., Kumar, S., Yang, X., Gopalakrishnan, P., Liu, Y., Schoenberg, S., and Guo, X. (2011). Virtual wifi: Bring virtualization from wired to wireless. In *Proceedings of the 7th ACM SIGPLAN/SIGOPS International Conference on Virtual Execution Environments*, VEE '11, pages 181–192, New York, NY, USA. ACM.
- Yazici, V., Kozat, U., and Oguz Sunay, M. (2014). A New Control Plane for 5G Network Architecture with a Case Study on Unified Handoff, Mobility, and Routing Management. *Communications Magazine, IEEE*, 52(11):76–85.

RaspiWRT: Dispositivo Aberto para Programação e Configuração de Redes Domésticas usando Raspberry Pi e Linux

Phillipi de Oliveira Giobini, Silvia das Dores Rissino, Wilian Hiroshi Hisatugu
Renato Elias Nunes de Moraes, Rodolfo da Silva Villaça¹

¹Departamento de Computação e Eletrônica (DCEL)
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Vitória/ES, Brasil

phillipig@gmail.com, {silvia.rissino, wilian.hisatugu}@ufes.br
{renato.moraes, rodolfo.villaca}@ufes.br

Resumo. *O termo Home Networks (ou Redes Domésticas) diz respeito a uma rede que conecta vários dispositivos e usuários no espaço de uma residência. Tem como um de seus objetivos o compartilhamento da conexão à Internet com os vários usuários oferecendo, ainda, a possibilidade de configuração de serviços adicionais, tais como firewall, antivírus, proxy, cache, centrais de multimídia, compartilhamento de arquivos, impressoras, controle parental e automação residencial. A adição de todos esses serviços às redes domésticas torna o seu gerenciamento cada vez mais caro e complexo devido ao alto custo e à variedade dos equipamentos envolvidos. Nesse contexto este artigo apresenta uma solução aberta e de baixo custo que facilita a gerência e implementação de Redes Domésticas através do uso do Raspberry Pi, tendo como objetivo principal demonstrar a flexibilidade e viabilidade de implementação da solução proposta.*

Abstract. *Home Networks refers to a network that connects multiple users and devices in the same residence. One of its goals is the sharing of Internet connection between multiple home users offering extra services to them, such as firewall, anti-virus, proxy, cache, multimedia boxes, file and printer sharing, parental control and home automation. The addition of all these services makes the management of these networks a complex and expensive task due to the cost and variety of network devices involved in these services. In this context, this paper aims to present a solution that facilitates and cheapen the management and implementation of multiple Home Networks services through the use of the Raspberry Pi, and its main goal is to demonstrate the flexibility of the proposed solution.*

1. Introdução

As Redes Domésticas (*Home Networks*) têm se tornado cada vez mais complicadas [Yiakoumis et al. 2011]. Hoje, nas residências, conecta-se uma enorme variedade de dispositivos de rede, tais como: *smartphones*, *notebooks*, *tablets*, TVs, câmeras digitais, sensores e eletrodomésticos inteligentes. Além da diversidade de dispositivos conectados também é crescente o uso de diferentes aplicações associadas a esses dispositivos, tais

como: vídeo e TV digital, Voz sobre IP (VoIP), compartilhamento de arquivos, acesso às Redes Sociais, segurança e controle dos eletrodomésticos inteligentes.

Nesse cenário é comum a frustração dos usuários dessas redes por não conseguirem gerenciar de forma eficiente e ágil todos os recursos que essas redes podem disponibilizar. Em geral as soluções existentes fazem uso de diversos dispositivos de hardware, todos especializados em suas funções e de funcionamento restrito a um conjunto pequeno de fabricantes e aplicações. Por exemplo, têm-se o conversor de TV digital, o modem de conexão à Internet, o roteador sem fio para o compartilhamento do acesso à Internet, a central multimídia, um ou mais hardware de controle para cada eletrodoméstico inteligente existente e, em alguns casos, até um dispositivo específico para proteção e segurança da rede (*firewall*).

Embora o gerenciamento não seja complexo para um administrador de rede, ele se torna complicado para os usuários comuns, o que impede a completa exploração das facilidades que estas redes e esses dispositivos provêm aos seus usuários. Além disso, essa diversidade de dispositivos aumenta consideravelmente os custos de aquisição e gerência das soluções. São diversos equipamentos distintos que exigem um alto consumo de energia elétrica por estarem todos ligados simultaneamente, manutenção e serviços especializados, infraestrutura de cabeamento e refrigeração, em alguns casos extremos, desses equipamentos.

Seria interessante se o operador de uma rede doméstica pudesse programar e controlar remotamente todos esses serviços através de um único dispositivo aberto, programável e de baixo custo. Dentre os serviços oferecidos por esses operadores de rede através desse dispositivo poderíamos citar: definição de políticas de segurança através do serviço de *firewall*; disponibilização de uma solução para controle de acesso parental [Kuppusamy et al. 2013] para as crianças e adolescentes da casa, com horários e permissões de acesso para cada dispositivo, usuário e conteúdo na Internet; autenticação de usuários e dispositivos; *proxy* e *cache web* e multimídia para melhorar a eficiência da utilização da largura de banda contratada; configuração de parâmetros de qualidade de serviço (QoS) para diferentes aplicações - por exemplo, reservar banda para as aplicações de TV e vídeo online. Além de todos esses serviços de rede pode-se incluir a possibilidade de gerenciamento de dispositivos para automação residencial e os eletrodomésticos inteligentes, embora esse não seja o foco deste projeto.

Neste contexto, o objetivo principal deste artigo é apresentar o RaspiWRT, uma solução de Redes Domésticas usando o Raspberry Pi que integra as principais funções de rede aplicáveis a essas redes, tais como: segurança, controle de acesso, controle parental, *proxy*, *cache* e compartilhamento de arquivos em um único hardware de baixo custo e altamente programável. Como principais contribuições do RaspiWRT, espera-se facilitar a gerência e administração dos principais serviços de Redes Domésticas através de um dispositivo único, com uma interface remota de configuração que seja amigável para os usuários finais e com baixo custo de implantação, administração e manutenção.

Para avaliar a flexibilidade e a viabilidade de implementação do RaspiWRT foi realizada a implementação de algumas das principais funções de uma rede doméstica, aplicáveis a esse cenário (Segurança, Controle de Acesso, Controle Parental, Proxy, Cache e Compartilhamento de Arquivos) em um único hardware de baixo custo e altamente

personalizável. Foi implementada uma interface remota de configuração para permitir a programabilidade e configuração da rede pelos operadores remotos das redes domésticas e avaliou-se o desempenho da solução através de testes de vazão, erros, consumo de memória e CPU.

A seguir, na Seção 2 são apresentadas as ferramentas de hardware e software utilizadas no desenvolvimento do RaspiWRT, com detalhes do projeto e implementação do RaspiWRT. Na Seção 3 tem-se a apresentação de um exemplo de configuração de usuários e grupo (controle parental) através da interface do RaspiWRT e uma avaliação de desempenho do protótipo. Por fim, a Seção 4 conclui o artigo.

2. Metodologia e Aspectos de Implementação do RaspiWRT

O RaspiWRT foi implementado através da integração de soluções de hardware e software. Os principais elementos de hardware utilizados são o SOC (*System On a Chip*) Raspberry Pi Modelo B [Raspberry 2014] e um adaptador WiFi com interface USB. Dentre os elementos de software destaca-se o uso sistema operacional Linux, configurado como um roteador e ponto de acesso de redes sem fio. Além do Linux, os principais elementos de software (todos de Código Aberto) usados na implementação do RaspiWRT são:

- Sistema Operacional: Linux com distribuição Raspbian Weezy (versão do Debian para dispositivos ARM11). Originalmente estava cotado o uso do OpenWRT [OpenWRT 2015], mas foi substituído pela facilidade de gerenciamento e operacional do Raspbian. O Raspbian possui uma vasta documentação e se mostrou bastante estável no desenvolvimento das etapas iniciais do projeto, mostrando-se capaz de cumprir todos os requisitos desejados.
- Hostapd: Aplicação necessária para transformar o Adaptador WiFi USB em um roteador e ponto de acesso de rede sem fio;
- Udhcpd: Implementação de um serviço DHCP utilizado para distribuição de endereços IP aos clientes domésticos;
- Squid: Implementação de um serviço de *proxy* e *cache* para o controle de conteúdo e de acesso de usuários à Internet;
- Sarg: Ferramenta usada para representação gráfica das estatísticas de acesso do Squid;
- Iptables: Serviço de controle e encaminhamento de pacotes de rede no sistema operacional Linux. Utilizado para implementação do serviço de *firewall* e segurança;
- Apache + PHP: Ferramentas utilizadas para implementação de uma interface *web* de acesso remoto para configuração dos serviços disponíveis no RaspiWRT. Foi utilizada a Linguagem de Modelagem Unificada (UML) para especificação dessa interface;
- SQLite: Banco de dados relacional SQL, utilizado para armazenamento das configurações e políticas de controle de acesso definidas através da interface *web*;

2.1. Configurações Preliminares

Sabendo-se de antemão que o Raspberry Pi é um dispositivo com memória RAM e capacidade de CPU limitados, para reduzir o consumo desses elementos a interface gráfica padrão do Raspbian foi desabilitada. O desenvolvimento e a configuração do sistema foram realizados através de conexão via SSH em modo texto.

Com o Raspbian devidamente instalado e configurado, a primeira coisa a se fazer é verificar se o adaptador Wireless foi devidamente reconhecido pelo sistema, isso pode ser feito pelo terminal através do comando `lsusb`. Em caso de sucesso na instalação, o retorno do comando será algo como:

```
Bus [BusID] Device [Device ID] [Marca e modelo do
adaptador] [Chipset]
```

Com a ferramenta `iw` é possível identificar quais modos de funcionamento são suportados pelo *chipset* do adaptador de rede sem fio. Após a instalação, digite `iw list` e aparecerá uma lista de opções suportadas pelo adaptador. Dentre essas opções é requisito que o adaptador suporte a opção “AP”, que significa que o adaptador poderá funcionar como um *access point*, permitindo que clientes sem fio conectem-se ao RaspWRT através dessa interface. Caso contrário, se o modo “AP” não for suportado, será necessário obter um adaptador compatível para a implementação do RaspWRT. A Figura 1(a) apresenta uma visão geral do hardware usado no protótipo.

2.2. Pacotes de Software

Uma vez que o adaptador de rede é compatível com os requisitos citados anteriormente, é necessário instalar e configurar o `hostapd`, pacote usado para criar a rede sem fio e colocar o adaptador de rede no modo “AP”. Como opção, a rede sem fio pode ser uma rede protegida com senha de acesso, ou uma rede aberta, com autorização de acesso realizada posteriormente mediante identificação de usuário e senha de acesso, de tal forma a identificar não somente o dispositivo mas também o usuário que está usando os serviços do RaspWRT.

O próximo passo é configurar o serviço de DHCP, através do pacote `udhcp`, que torna o Raspberry Pi capaz de atribuir endereços IP aos clientes da rede sem fio. Para permitir a gerência remota do RaspWRT pelos operadores das redes domésticas, torna-se necessário configurar um endereço IP fixo às interfaces de rede do RaspWRT (importante ressaltar que este endereço não esteja incluso no *range* de endereços configurados para o serviço de DHCP).

O `iptables` é necessário, dentre outras coisas, para compartilhar o acesso à Internet dentre os usuários da rede. Para isso será necessário configurar o serviço de NAT (*Network Address Translation*) por meio da interface *web* de configuração. Além disso deve-se ativar o encaminhamento de pacotes entre as interfaces de rede do Linux editando o arquivo `/etc/sysctl.conf`, e adicionando a linha `net.ipv4.ip_forward=1` caso ela não exista. Essa tarefa também pode ser realizada pela interface de configuração.

Para executar a interface de gerenciamento do RaspWRT, é necessária a instalação do servidor *web* Apache, com extensões para a linguagem PHP, e o módulo SQLite. O `squid` é o serviço de *proxy* escolhido e sua configuração também pode ser realizada através da interface *web* desenvolvida para o RaspWRT. Opcionalmente, pode-se instalar o `sarg`, que é um interpretador dos *logs* de acesso do Squid, facilitando a geração de estatísticas de acesso dos usuários à Internet.

2.3. Interface *web* do RaspWRT

Com o intuito de facilitar a configuração de todos esses serviços, foi implementada uma interface que tornasse simples e rápida a administração do dispositivo, e que ao mesmo

tempo fosse possível acessá-la remotamente pelos usuários e administradores da rede. Tal necessidade levou ao desenvolvimento da interface de configuração do RaspWRT, desenvolvida em PHP e que permite acesso à configuração dos RaspWRT pelos usuários ou administradores bastando apenas um navegador *web*. A linguagem PHP foi escolhida por exigir pouco do *hardware*, fácil de programar, livre e possuir fácil interação com o terminal (*shell*) do Linux para edição dos arquivos de configuração dos serviços de rede.

A Figura 1(b) apresenta o diagrama de casos de uso onde estão as funcionalidades do sistema, isto é, as funcionalidades para o usuário administrador que esteja utilizando o sistema. Toda a interface foi modelada com base em casos de uso e implementada remotamente. Após testes de funcionalidade fora enviada ao dispositivo de hardware. Um exemplo de uso da interface será demonstrado na Seção 3.

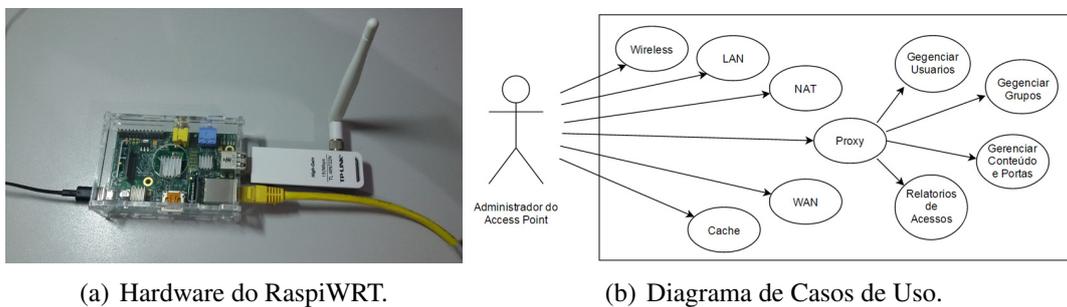


Figura 1. Visão geral do hardware e casos de uso.

Outro requisito da interface foi a necessidade de se armazenar dados, levando à utilização de um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) relacional e a modelagem de uma base de dados. Após algumas análises e testes prévios, a conclusão foi que o SGBD mais apropriado é o SQLite [SQLite 2014], onde a simplicidade da administração, implementação, manutenção e consumo de CPU e memória são mais importantes que os recursos que os SGBDs mais voltados para aplicações multiusuários possivelmente implementam. A Figura 2 apresenta o diagrama de entidade e relacionamento do banco de dados modelado para o RaspWRT. Destaca-se que a maioria das tabelas são referentes ao dados do serviço de *proxy* (controle de acesso). Os dados das interfaces, tais como configuração da rede Wireless, Local e Internet são armazenados diretamente em arquivos de configuração dos serviços do sistema operacional.

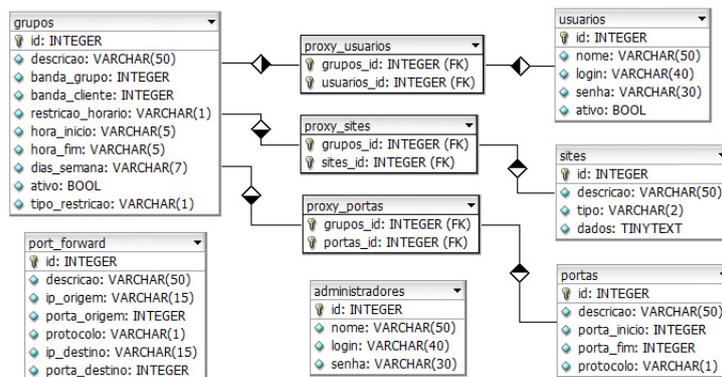


Figura 2. Diagrama de Entidade Relacionamento para o RaspWRT.

3. Resultados e Discussões

A interface *web* desenvolvida neste trabalho possibilita o gerenciamento de todos os serviços implementados no RaspiWRT, tais como: configuração da rede sem fio, modo de acesso à rede, endereços IP disponíveis para os clientes da rede, configurações de segurança no encaminhamento de pacotes para a Internet, suporte as configurações de gerenciamento de usuários, grupos de usuários, filtragem de conteúdos, controle de acesso (por usuário ou por grupo) e controle de largura de banda.

3.1. Apresentação da Interface

A Figura 3(a) apresenta a tela de Cadastro de Grupos, um cenário de exemplo do funcionamento da interface de controle parental do RaspiWRT, onde são exibidos dois grupos de usuários cadastrados no sistema, sendo um deles denominado “Restrito”. Pode-se verificar que este grupo possui restrição de horário de acesso (negado entre 00:00h e 06:00h), restrição de uso de largura banda de até 1Mbps (125KB/s) para seus integrantes. A Figura 3(b) apresenta alguns integrantes do grupo Restrito e exemplo de conteúdos bloqueados para eles, por endereço e por palavras-chave no corpo do conteúdo.

Cadastros de Grupos

Editar Grupo:
 Descrição do Grupo: Grupo Restrito
 Banda Para o Grupo (B/s): 125000 (-1 = Sem limite)
 Banda Para cada Cliente (B/s): -1 (-1 = Sem limite)
 Restrição de Horário: Negar entre 00:00 até 06:00 (HH:MM)
 Dias da Semana Permitidos: SEG / TER / QUA / QUI / SEX / SAB / DOM
 Ativo: Sim

Salvar Alterações | Limpar

Cod.	Descrição	Banda (KB/s)	Horário	Ativo	Opções
1	Grupo Restrito	G: 125000 / C: -1	Negar (00:00 ~ 06:00)	Sim	Editar / Excluir
2	Grupo Liberado	G: -1 / C: -1	Permitir (00:00 ~ 23:59)	Sim	Editar / Excluir

Gerenciador de Conteúdo de Grupos

Grupo: Grupo Restrito
 Política: Bloquear Sites e Palavras-Chave Listados Abaixo | Alterar

Usuarios [Adicionar]

ID	Nome	Login	Opções
6	Fulano	fulano	Apagar
7	Ciclano	ciclano	Apagar
8	Beltrano	beltrano	Apagar

Sites [Adicionar]

ID	Descrição	Dados	Opções
1	Sites	facebook.com twitter.com instagram.com	Apagar
2	Palavras	porno sexo	Apagar

Portas Liberadas [Adicionar]

ID	Descricao	Portas	Opções
1	Acesso Remoto	3389 ~ 3389 - tcp	Apagar

(a) Tela de Cadastro de Grupos.

(b) Tela de Gerenciamento de Conteúdo de Grupos.

Figura 3. Telas de gerenciamento do Proxy.

3.2. Avaliação de Desempenho

Para analisar a eficiência do funcionamento do protótipo foram feitos diversos testes de vazão de dados usando TCP e UDP nas interfaces cabeadas (WAN) e sem fio (LAN). Nestes testes utilizou-se o software *Iperf* [Iperf 2014] para geração e medição de tráfego.

Na configuração dos testes foi utilizada uma estação de trabalho executando o software *iperf* no modo servidor, ligado na interface cabeada do protótipo RaspiWRT, que possui largura de banda de 100Mbps nominais e representou o destino (Internet) do tráfego gerado diretamente no RaspiWRT com o *iperf* no modo cliente. O limites ficaram estáveis em cerca de 96Mbps (com tráfego UDP) e 94Mbps (com tráfego TCP). Para medição da interface LAN foram conectados computadores clientes sem fio com o *iperf* no modo cliente. O adaptador *wireless* utilizado tem capacidade nominal de 150Mbps (padrão 802.11n). É sabido que por usarem um meio de transmissão não guiado, as redes sem fio estão sujeitas a interferências, e intensa disputa pelo meio de transmissão que é compartilhado, aumentando as chances de colisão e outros fatores que fazem com

que os clientes tenham uma vazão efetiva menor que a nominal, podendo sofrer reduções de mais de 60% [IEEE 2015]. Os clientes estavam conectados com velocidades variando entre 54 e 65Mbps.

Em cada rodada de testes, foram executados testes de vazão TCP e UDP, variando-se o número de clientes de 1 a 4 (média estimada de dispositivos ativos simultaneamente em uma residência hoje em dia). Durante as transmissões o uso de CPU e Memória RAM do RaspPiWRT foram monitorados. Cada teste tinha duração de 300s, sendo que a cada 10s uma amostragem dos dados era efetuada. As Figuras 4(a) e 4(b) apresentam os resultados, em forma de comparativo do comportamento da vazão de dados e do uso de CPU entre os protocolos com um e dois clientes.

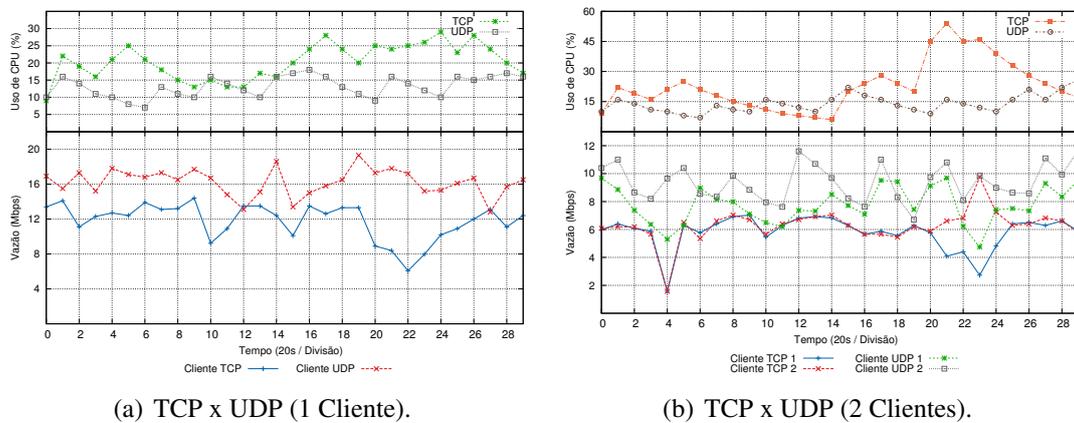


Figura 4. Comparativo de vazão de dados e CPU (TCP x UDP).

Os resultados dos testes com três e quatro clientes são representados pelas Figuras 5(a) e 5(b), respectivamente. Cada ponto dos gráficos em questão representa a média aritmética da vazão dos clientes amostradas no mesmo instante. O intuito é ilustrar a vazão média instantânea, para cada protocolo, juntamente com o uso de CPU. Como era esperado, e comprovado com a análise dos resultados, em média o protocolo TCP faz maior uso de CPU e tem vazão de dados inferior ao UDP por ser um protocolo mais complexo.

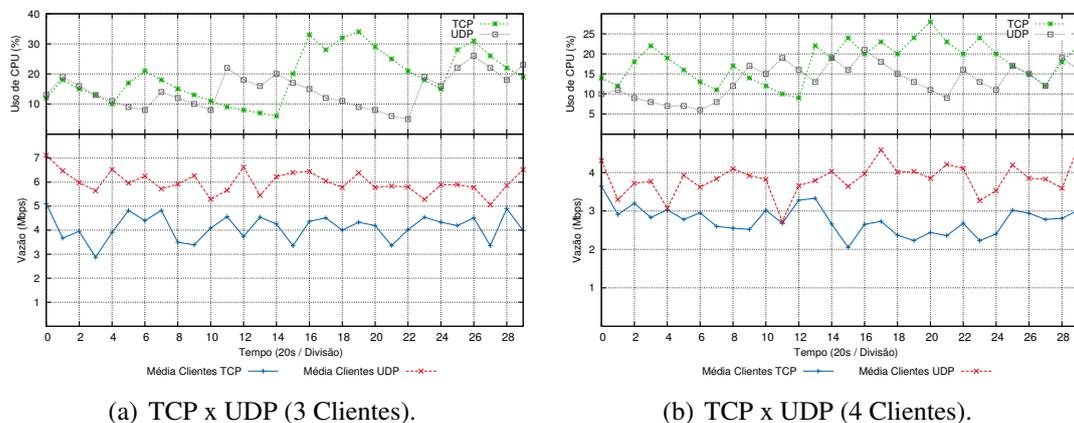


Figura 5. Comparativo de vazão média de dados e CPU (TCP x UDP).

Devido ao compartilhamento da largura de banda, conforme o número de clientes conectados aumenta a vazão de dados individual é menor e permanece dentro do limite da largura de banda esperada, entre 54 a 65Mbps. A média de largura de banda em cada cliente nos diferentes cenários é apresentada na Figura 6(a). As barras verticais mostradas nos próximos gráficos de barras representam um intervalo de confiança de 95%. Outro fato que pode ser observado experimentalmente, é que o uso médio de CPU varia bastante. A Figura 6(b) apresenta essa variação da média e os resultados não nos permite afirmar com certeza a respeito do comportamento do uso de CPU em função do número de clientes conectados, o que demonstra que a CPU não é um gargalo para a implementação e configuração de um dispositivo para configuração de redes domésticas usando o Raspiberry Pi.

Uma hipótese que mostra-se viável neste caso é a de que o adaptador WiFi USB utilizado no protótipo seja o gargalo para o aumentar a largura de banda compartilhada, pois a CPU consegue lidar tranquilamente com vazão de dados maior que apresentadas (a exemplo, a interface WAN, com fio). A variação do uso de memória RAM se mostrou pouco significativo durante os testes e pode ser conferida na Figura 6(c).

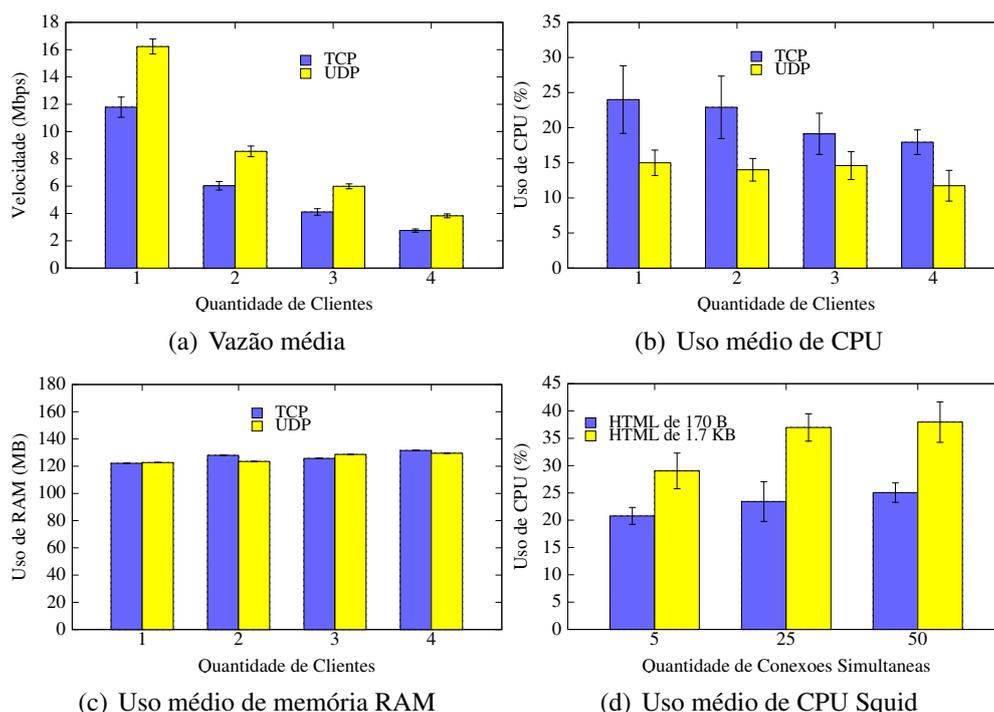


Figura 6. Avaliação de Desempenho.

3.3. Desempenho do Proxy em testes HTTP

Para aferir a taxa de CPU consumida pelo servidor *proxy* do protótipo, foram realizados testes de acesso HTTP, utilizando um computador com servidor *web* Apache conectado a interface WAN do protótipo. Durante esses testes o encaminhamento direto de pacotes pelo *iptables* com NAT foi desabilitado, sendo possível o acesso à Internet apenas por meio do serviço de *proxy* (controle de acesso do RaspiWRT). Optamos por não fazer os testes em servidores *web* hospedados na Internet pois fatores externos seriam

acrescentados aos testes, cujo objetivo é testar o RaspiWRT, e não os *sites web* em si. Dentre esses fatores podemos citar próprio serviço de *cache* da rede interna do campus de nossa universidade e a latência dos roteadores e das redes de trânsito.

Obviamente, o cache do protótipo também foi desabilitado, fazendo assim com que o servidor *proxy* solicite sempre a página ao servidor *web* em cada requisição. O objetivo era avaliar o impacto da instalação de um servidor proxy intermediando os acessos no RaspiWRT.

O software utilizado para os testes é a própria ferramenta de *benchmark* do servidor apache (Apache Benchmark, [ab](#)) [Apache 2015]. Foi necessário apenas um computador cliente, porque a ferramenta dava opções de simular quantas conexões simultâneas fossem necessárias para os testes. No lado servidor, foram utilizados dois tamanhos de arquivos HTML, que possui tamanhos típicos de páginas *web* [Breslau et al. 1999]. A quantidade de conexões simultâneas por segundo, para simular um cliente doméstico foi de 5, 25 e 50 para cada arquivo, num total de 10000 requisições com o servidor *web*. A Figura 6(d) apresenta os resultados que mostram, novamente, que a CPU não é o fator limitante para o uso do RaspiWRT, mesmo com implementação de um servidor de *proxy* Squid.

Neste cenário o tamanho dos arquivos HTML teve mais influência no uso de CPU do que a quantidade de conexões simultâneas, conforme a Figura 6(d). Também foram realizados testes com tamanho de arquivos maiores (HTML de 17KB), e conexões simultâneas de 100 e 150 requisições por segundo, porém o adaptador WiFi se mostrou novamente ser o limitador, causando instabilidades durante o teste e criando inconsistências nos resultados, tais como desaparecimento momentâneo do sinal e queda de rede sem fio. Caso houvesse um adaptador mais robusto (o que poderia tornar inviável a proposta de baixo custo RaspiWRT), seria possível fazer uma conclusão mais concreta se a quantidade de conexões ou o tamanho dos arquivos tende a aumentar o uso de CPU, tornando-a um gargalo. Felizmente, como a proposta de uso é doméstica, dificilmente um usuário comum em seu uso cotidiano chegará a níveis de uso da rede muito maiores do que os cenários avaliados neste artigo.

Outro teste realizado foi a utilização do RaspiWRT no evento JUSE (Jogos Universitários Sedentários) promovido pelos alunos de computação da UFxx, onde o protótipo foi utilizado em um ambiente real para conectar os jogadores para partidas locais (LAN). Foi possível conectar 12 jogadores de *Counter-Strike*. Durante a partida, a latência de rede ficou alta, chegando a atingir picos de 350ms, indesejado para este tipo de jogo. Mesmo com o uso de CPU e Memória do protótipo mantendo-se moderado, constatou-se novamente limitações do adaptador Wireless. Reduzindo-se o número de jogadores e colocando o RaspiWRT para acesso à Internet pelos telespectadores do evento, o funcionamento do RaspiWRT foi estável.

4. Conclusão

Com o fim deste trabalho, tem-se uma implementação completamente funcional do RaspiWRT e este artigo apresentou um exemplo de funcionamento do módulo de criação de grupos e controle parental e uma avaliação de desempenho do mesmo em diferentes cenários de uso. O uso do Linux, Raspberry Pi e das demais soluções de software livre escolhidas para a implementação foi satisfatório, bem como a escolha da linguagem PHP

para implementação da interface gráfica do RaspiWRT. No contexto de redes, o Raspberry Pi pode atender perfeitamente a projetos de pequenas demandas. Como resultado qualitativo pode-se afirmar que o objetivo de implementar uma solução completa e programável dentro do que foi proposto para redes domésticas foi alcançado.

Dentre as lições aprendidas com esse trabalho, no que diz respeito ao hardware do Raspberry Pi um dos problemas que pode afetar o bom funcionamento do protótipo é a temperatura da CPU. Em caso de aquecimento excessivo o sistema reduz o clock para manter a temperatura estável e sacrifica o desempenho (A versão B, a mais antiga, foi a que mais sofreu com esse problema. As versões B+ e 2B esquentam menos). O problema pode ser facilmente resolvido com dissipadores que são instalados sobre os circuitos integrados do Raspberry Pi que foi apresentado na Figura 1(a).

Durante os testes de desempenho a temperatura do ambiente foi mantida constante para não criar nenhum tipo de inconsistência nos resultados. É altamente recomendado o uso de uma fonte de alimentação USB que forneça uma corrente igual ou superior a 2A. Caso algum periférico consuma mais potência do que a fonte fornece, o sistema cortará a alimentação em suas portas USB para evitar uma falha/queda do sistema. O uso de discos externos para compartilhamento de vídeos e arquivos pode causar esse tipo de efeito colateral.

Referências

- Apache (2015). Apache HTTP server benchmarking tool. <http://httpd.apache.org/docs/2.2/programs/ab.html/>. [Online; Acesso em Agosto de 2015].
- Breslau, L., Cue, P., Cao, P., Fan, L., Phillips, G., and Shenker, S. (1999). Web Caching and Zipf-like Distributions: Evidence and Implications. In *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, pages 126–134.
- IEEE (2015). On IEEE 802.11: Wireless LAN Technology. <http://arxiv.org/abs/1307.2661v7/>. [Online; Acesso em Agosto de 2015].
- Iperf (2014). The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool. <https://iperf.fr/>. [Online; Acesso em Outubro de 2014].
- Kuppusamy, K. S., Francis, L. M., and Aghila, G. (2013). Report: A model for remote parental control system using smartphones. *CoRR*, abs/1307.3321.
- OpenWRT (2015). Openwrt for the Raspberry Pi. <http://code.google.com/p/raspberrypi-openwrt/>. [Online; Acesso em Agosto de 2015].
- Raspberry (2014). Raspberry Pi Foundation. <https://github.com/>. [Online; Acesso em Setembro de 2014].
- SQLite (2014). Small. Fast. Reliable. <http://sqlite.org/>. [Online; Acesso em Novembro de 2014].
- Yiakoumis, Y., Yap, K.-K., Katti, S., Parulkar, G., and McKeown, N. (2011). Slicing home networks. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM workshop on Home networks, HomeNets '11*, pages 1–6, New York, NY, USA. ACM.

O uso do Software Livre na educação básica, técnica e tecnológica

Wendell Bento Gerales

Departamento de Informática – Instituto Federal de Goiás
(IFG) – Campus Luziânia
wendell.gerales@ifg.edu.br

***Abstract.** This article presents an experience report of conducting promotional activities and dissemination of Free Software and Open Source in technical and higher education courses in computer science at the Federal Institute of Goiás campus Luziânia where this type of software was incorporated into the curriculum of disciplines and along technical skills, philosophy and hacker culture were also disseminated among students.*

***Resumo.** Este artigo apresenta um relato de experiência da realização de atividades de promoção e disseminação do Software Livre e de código aberto nos cursos técnicos e superiores em informática no Instituto Federal de Goiás campus Luziânia, onde este tipo de software foi incorporado na currículo das disciplinas e juntamente as competências técnicas, a filosofia e cultura hacker também foram disseminadas entre os alunos.*

1. Introdução

As instituições que formam hoje a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica são originárias, grande parte, das 19 escolas de aprendizes artífices instituídas por um decreto presidencial de 1909, assinado por Nilo Peçanha. Em 1930, são transformadas em liceus industriais. Um ano após o ensino profissional ser considerado de nível médio, em 1942, os liceus passam a se chamar escolas industriais e técnicas, e, em 1959, escolas técnicas federais. Em 1978, três escolas federais, do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná são transformadas em centros federais de educação tecnológica (CEFET). Durante a década de 90, várias outras escolas técnicas e agrotécnicas federais tornam-se CEFET, formando a base do sistema nacional de educação tecnológica. Em 1998, o governo federal proíbe a construção de novas escolas federais. Em 2004, incia-se a reorientação das políticas federais para a educação profissional e tecnológica, primeiro com a retomada da possibilidade da oferta de cursos técnicos integrados com o ensino médio seguida em 2005, da alteração na lei que vedava a expansão da rede federal.

Como resultado de um debate, a Lei 11.892, publicada em 29/12/2008, cria no âmbito do Ministério da Educação, um novo modelo de instituição de educação profissional e tecnológica, os novos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia geram e fortalecem condições estruturais necessárias ao desenvolvimento educacional e socioeconômico brasileiro. [Pacheco and Rezende 2009]

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás faz parte de rede federal e atualmente conta com mais de 15 mil alunos matriculados em diversos cursos.

O campus Luziânia do IFG inicia suas atividades em junho de 2010 e atualmente possui cerca de 1.200 alunos matriculados.

Entre os cursos ofertados pela campus, merecem destaque os cursos de técnico integrado e integral em informática para internet, técnico em suporte e manutenção de computadores e também os cursos superiores em tecnologia em análise e desenvolvimento de sistemas e bacharel em sistemas de informação.

A formação de profissionais cada vez mais preparados para o mercado de trabalho e também para a vida leva os professores da área de informática e também de outras disciplinas da área comum a procurar sempre atualizar o aluno sobre as novas tecnologias da informação e comunicação e seu papel no contexto social, político e econômico no país.

Mas apesar do teor técnico das aulas, existe espaço para abordar questões éticas acerca da tecnologia e seu papel social. E é neste contexto que o Software Livre e de código aberto pode sempre que possível ser incluído, tanto nas apresentações orais, quanto nas atividades práticas realizadas em laboratório. Essa prática possibilita ao aluno conhecer esse tipo de software e também sua filosofia que se contrapõe ao modelo proprietário de criação e distribuição de software praticado em algumas empresas.

A forma encontrada para disseminar o Software Livre dentro da instituição de ensino foi promover encontros presenciais com o intuito de oferecer aos alunos, palestras, oficinas e mini cursos sobre o tema. Estes encontros foram promovidos como atividades complementares aos sábados.

2. Os Institutos Federais e o Software Livre

Na proposta dos Institutos Federais, agregar à formação acadêmica a preparação para o trabalho (compreendendo-o em seu sentido histórico, mas sem deixar de firmar o seu sentido ontológico) e discutir os princípios das tecnologias a ele concernentes dão luz a elementos essenciais para a definição de um propósito específico para a estrutura curricular da educação profissional e tecnológica. O que se propõe é uma formação contextualizada, banhada de conhecimentos, princípios e valores que potencializam a ação humana na busca de caminhos de vida mais dignos. [Pacheco 2010]

Grandes mudanças vem ocorrendo no perfil profissional exigido pelo mercado de trabalho, frente ao profissional que está sendo formado. A tecnologia da informação esta cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, e vem modificando as relações sociais e econômicas. Novos processos de produção do conhecimento, trazem em si novos desafios para professores e alunos da educação profissional, e também proporcionam ferramentas alinhadas a esta nova realidade.

A popularização da internet, tornou a rede mundial de computadores uma importante ferramenta para compartilhar conhecimento. Através da grande rede de computadores o desenvolvimento colaborativo de software tornou-se possível.

Em seu livro, Raymond (1999), trata da revolução que aconteceu na maneira de desenvolver software a partir do surgimento da internet. No livro, Raymond cita a diferença entre dois modelos de desenvolvimento de software livre. O modelo de desenvolvimento Catedral, individual e verticalizado, onde o código-fonte é acessado por um restrito grupo de pessoas e o modelo Bazar, que prioriza o trabalho colaborativo e horizontal sem restrições e sem limite de desenvolvedores.

Partindo das mesmas premissas de Raymond, é possível utilizar o modelo Bazar no contexto da educação profissional, mostrando aos alunos uma nova forma de aprendizagem baseada no compartilhamento e construção coletiva do conhecimento.

Essas práticas vem de encontro aos princípios estabelecidos na criação dos Institutos Federais, onde a educação profissional tem um grande valor estratégico, não apenas como elemento contribuinte para o desenvolvimento econômico e tecnológico nacional, mas também como fator para fortalecimento do processo de inserção cidadã de milhões de brasileiros. [Pacheco 2010]

3. O Software Livre e a educação profissional

Sob o ponto de vista da educação profissional, utilizar o Software Livre como ferramenta de apoio didático não é apenas uma questão de economia com a compra de licenças de software. Reduzir a aplicabilidade destas ferramentas a esse nível é um erro, pois depõe contra os princípios básicos contidos nas quatro liberdades:

Liberdade 0: Liberdade de executar um programa para qualquer intento.

Liberdade 1: Liberdade de estudar um programa, e adaptá-lo às suas necessidades.

Liberdade 2: Liberdade de redistribuir cópias e assim ajudar o seu vizinho.

Liberdade 3: Liberdade de melhorar o programa e entregar tais melhorias para a comunidade.

Como pode ser observado, os pilares da filosofia do Software Livre, indicam o caminho para uma grande diversidade de usos na educação profissional. É possível por exemplo, pesquisar e analisar diferentes softwares em busca daquele que atenda melhor a suas necessidades. Após fazer a escolha, o aluno pode então estudar o código fonte do programa e adaptá-lo caso seja necessário. Ele ainda pode redistribuir cópias deste programa para os colegas, professores e pessoas da comunidade, possibilitando assim que todos se beneficiem de seu uso.

Existe ainda um grande potencial de empreendedorismo que pode ser explorado pelos alunos. O desenvolvimento e/ou adaptação de softwares livres pode gerar renda e ainda pode criar polos de inovação tecnológica em regiões carentes que não possam oferecer oportunidades de emprego aos egressos.

É importante salientar que a utilização das ferramentas livres não se restringe apenas ao ensino de disciplinas relacionadas diretamente aos cursos de informática e tecnologia, mas pode ser expandido para todas as áreas do conhecimento e partilhada por todos os professores, criando assim várias possibilidades de trabalhos e pesquisas interdisciplinares.

Além deste contexto técnico/tecnológico o Software Livre pode proporcionar ao aluno uma formação social e política, intrínsecas em sua filosofia. Segundo Morigi e Santin (2007) o modelo social proposto pelo movimento Software Livre ataca a desigualdade social e intelectual como questão política, especialmente nas formas de organização, produção e distribuição de software, e busca o retorno à valorização do trabalho criativo do ser humano frente ao trabalho alienado e meramente mecânico, sem criatividade. Desta forma, as possibilidades técnicas dos programas livres não se contrapõe ao forte apelo político do movimento, que busca favorecer a reapropriação, por parte da sociedade, dos resultados de sua própria criatividade. [Morigi;Santin 2007]

Outra característica fundamental encontrada no Software Livre e em suas comunidades e como pode ser ensinada aos alunos é a ética hacker. Em seus princípios ela aponta que o acesso aos computadores deve ser total e ilimitado, a informação deve ser livre, que procedimentos pouco burocráticos para uma melhor circulação das informações, que as pessoas sejam julgadas efetivamente pelo que fazem e realizam. Características como paixão, liberdade, valor social (abertura), nética (ética da rede) , atividade, participação responsável e criatividade, podem ser efetivamente transmitidos aos alunos. [Pretto, 2010]

Segundo Pretto (2010) é possível construir outras educações, com base na ética hacker. Escolas produzindo de forma aberta culturas e conhecimentos, circulando as criações humanas de forma intensa, sem intermediários, a partir da generosidade e da colaboração, algo bastante distinto do que hoje estamos acostumados a ver. [Pretto, 2010]

4. O Software Livre no Instituto Federal de Goiás campus Luziânia

O Instituto Federal de Goiás campus Luziânia (IFG Luziânia), desde o início de suas atividades em 2010, mostro uma forte inclinação para os cursos na área da Tecnologia da Informação (TI). Inicialmente foram criados três cursos de informática: o curso Técnico em Informática para Internet, ensino médio integrado ao técnico, o Técnico em Suporte e Manutenção de Computadores na modalidade PROEJA (Educação de Jovens e Adultos) e o curso superior em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Recentemente foi criado o curso superior em Sistemas de Informação que veio agregar ainda mais valor ao conjunto de cursos existentes.

Apesar de muitos docentes, mostrarem interesse em utilizar o Software Livre em suas aulas, não havia ainda um movimento centrado na difusão da filosofia embutida no software. As iniciativas eram individuais e focadas apenas no utilização das ferramentas como apoio as aulas de laboratório.

Em 2013, foi organizado e promovido o primeiro evento de divulgação do Software Livre e sua filosofia, conhecido internacionalmente como FLISOL, o Festival Latino americano de Instalação de Software Livre, foi realizado pela primeira vez na cidade de Luziânia.

Além de ser um evento voltado para a instalação de Software Livre, o FLISOL também conta com palestras, oficinas e mini cursos sobre o tema.

No IFG Luziânia vários alunos, entre eles duas delegações vindas das cidades do

IFG Anápolis, IFG Inhumas e faculdade FAJESU de Taguatinga-DF, participaram das atividades durante todo o dia. Palestrantes e entusiastas compartilharam seus conhecimentos acerca de vários assuntos técnicos e filosóficos relacionados ao Software Livre.(Figura 1)

Este sem dúvida foi o evento que abriu as portas para que os gestores da instituição voltassem os olhos para atividades como esta, e foi primordial para a realização da eventos que viriam a ocorrer mais tarde.



Figura 1. FLISOL 2013

Em setembro de 2013, foi realizado o *Software Freedom Day* (Dia da Liberdade de Software) que também contou com uma grande participação por parte dos alunos. O SFD como é conhecido, também é um evento internacional coordenado pela *Software Freedom International* e é realizado em várias cidades pelo mundo. Mais uma vez o apoio da equipe gestora, docentes e alunos foi essencial para que o conhecimento fosse compartilhado entre todos aqueles que participaram. (Figura 2)



Figura 2. Software Freedom Day 2013

Em 2014, o FLISOL foi realizado novamente no campus, consolidando ainda mais a ideia de liberdade e cooperação entre os alunos. Vários deles participaram ativamente da organização do evento, contribuindo não só para a realização do mesmo, mas também com seu próprio aprendizado. (Figura 3)

Além das palestras, oficinas e mini cursos realizados no ano anterior, o FLISOL 2014, mobilizou os alunos em duas novas atividades, o Batismo Digital e a arrecadação de alimentos para instituições filantrópicas.



Figura 3. FLISOL 2014

Em agosto, foi realizado pela primeira vez no campus o Debian Day (Dia Debian), uma atividade complementar que teve como objetivo levar aos alunos mais conhecimento sobre esta distribuição GNU/Linux.

Em setembro, o SFD foi realizado pela segunda vez e contou com a participação dos alunos do campus e também do IFG campus Formosa.

Em 2015, o FLISOL consolidou-se como evento importante para a comunidade acadêmica e também para comunidade local. (Figura 4)



Figura 4: FLISOL 2015

No mês de agosto foi realizado pela segunda vez o Debian Day, e em setembro o terceiro Software Freedom Day.

É inegável que estes eventos são importantes, pois além do conhecimento adquirido pelos alunos, possibilitam ainda uma oportunidade de se relacionar com os colegas e professores, construir novas amizades e solidificar sua relação com a escola.

Encontros presenciais como este são lugares privilegiados para criação/manutenção/fortificação/extensão dos laços entre os alunos/professores/profissionais/comunidade que possibilitam uma interação entre eles. Além disso são momentos em que se pode obter conhecimento novo/adicional sobre as TIC's (Tecnologias da Informação e Comunicação). Porém os eventos não são apenas a única forma de disseminar a filosofia do Software Livre entre os alunos. É preciso colocar em prática no dia a dia as lições aprendidas, incentivando o uso de ferramentas livres nas atividades em laboratório, falando sobre o papel sócio econômico e cultural contidos nas práticas de quem milita esta causa.

Desta forma, sempre que possível, as questões éticas e morais do Software Livre são inseridas nas aulas.

5. Estatísticas das atividades complementares realizadas

Os resultados obtidos a partir das atividades complementares realizadas segue abaixo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Estatísticas das atividades complementares realizadas

Atividade	N.º participantes	Palestras	Workshops/ Minicursos
FLISOL 2013	197	6	9
SFD 2013	100	5	3
FLISOL 2014	208	8	4
Debian Day 2014	2	1	0
SFD 2014	100	2	3
FLISOL 2015	162	6	5
Debian Day 2015	8	1	0
SFD 2015	104	7	3

6. Considerações finais

Existe uma forte relação entre a educação de uma nação e sua independência, seja esta política, tecnológica ou social. [Michelazzo 2003]

O papel da educação profissional neste contexto é extremamente importante e estratégico, pois significa que aqueles que dela se utilizam podem ascender socialmente e desenvolver condições para que as gerações futuras encontrem um mundo melhor.

Mas se a educação profissional está baseada nos interesses econômicos das grandes cooperações internacionais, onde as pessoas não tem acesso ao conhecimento e são meros usuários da tecnologia, então ela não trará nenhum benefício à sociedade.

Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia foram criados sobre princípios que visam a disseminação do conhecimento, através do ensino e da pesquisa. Cabe então aqueles que são responsáveis pela gestão criar condições para que o conhecimento possa realmente ser compartilhado entre aqueles que se buscam a educação profissional nestas instituições. Docentes também tem uma importante missão, pois mesmo criadas as condições necessárias para a disseminação do conhecimento, é responsabilidade do professor levar ao aluno este conhecimento, dentro de princípios que atendam a essa nova demanda que se faz presente.

Promover atividades que possam trazer aos alunos um aprendizado composto por conhecimentos técnicos e filosóficos acerca do Software Livre não só irá promover a capacidade de intervir sobre o código fonte, mas aprender com ele, e através dele compartilhar o que foi adquirido com toda a sociedade. E ainda fazer com que os alunos construam um pensamento crítico acerca de questões sociais e políticas que as cercam e possam interferir e modificar a sociedade para que esta, satisfaça o anseio de todos.

Por isso, o Software Livre e sua filosofia compõe uma importante ferramenta para fomentar a educação profissional no Brasil, através dos Institutos Federais.

7. Referencias

- Pacheco, E. e Rezende, C. (2009) “Institutos Federais Lei 11.892, de 29/12/2008: Comentários e Reflexões”, Editora IFRN, Brasília-DF.
- Pacheco, E. (2010) “Os Institutos Federais: Uma revolução na educação profissional e tecnológica”, Editora IFRN, Brasília-DF.
- Michelazzo, P. (2003) “Os benefícios da educação e da inclusão digital”, Editora Conrad Livros, São Paulo-SP.
- Morigi, V. e Santin, D.M (2007) “Reflexões sobre os valores do movimento software livre na criação de novos movimentos informacionais”, Inf. Inf. Londrina-PR.
- Pretto, N. (2010) “Redes Colaborativas, Ética Hacker e Educação”, Educação em Revista, Belo Horizonte-MG.

Metodologia de Implantação de Plataformas para MOOCs

Tadeu A. A. Borges¹, Ricardo H. D. Borges¹, Hugo A. D. do Nascimento¹, Marcelo A. Inuzuka¹

¹ Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 – CEP 74.001-970 – Goiânia – GO – Brasil

{tadeu.a.a.b, ricardoborges.ufg}@gmail.com, {hadn, marceloakira}@inf.ufg.br

Abstract. *This paper proposes a platform implementation methodology for massive open online courses (MOOCs). To study the effectiveness of this methodology, it is made its application in a training course through the project "Capacity building in Open Technologies", which aims to spread the use of free software through massive courses, in order to form groups or communities that give continuity to the work. In the end, the analysis of the results and the lessons learned by applying this methodology are presented.*

Resumo. *Este trabalho propõe uma metodologia de implantação de plataformas para cursos abertos massivos online (MOOCs). Para estudar a eficácia desta metodologia, é feita sua aplicação em um curso de capacitação por meio do projeto "Capacitações em Tecnologias Abertas", que visa disseminar o uso de softwares livres através de cursos massivos, com objetivo de formar grupos ou comunidades que deem continuidade ao trabalho realizado. Por fim são apresentadas a análise dos resultados obtidos e as lições aprendidas pela aplicação desta metodologia.*

1. Introdução

Os MOOCs, apesar de terem o seu conceito apresentado pela primeira vez já há alguns anos, têm se tornado um importante assunto dentro das pesquisas em Ensino a Distância. Muitos pesquisadores atestam seus benefícios e vantagens, enquanto outros fazem duras críticas sobre sua ineficácia e elevados índices de evasão. Mas o fato é que, com o aparecimento de modelos de negócio de sucesso como Coursera e Udacity, os quais utilizam MOOCs, é inevitável que este modelo de ensino receba certa atenção e procura. A sua execução, por outro lado, ainda não é uma tarefa fácil. É necessária a realização de um bom planejamento didático, um bom estudo dos AVAs (Ambientes Virtuais de Aprendizagem) disponíveis e das ferramentas educacionais que possam ser utilizadas para complementar o curso, o que torna o processo de implantação bastante complexo.

Como a informação é hoje abundante e de fácil acesso, o conceito de aprendizagem tem evoluído no sentido de focar na construção e na manutenção de conexões para que os alunos sejam capazes de encontrar e aplicar conhecimento quando e onde for necessário, não sendo mais concebido como uma simples memorização ou compreensão de tudo individualmente. Este modelo de educação, chamado de conectivismo, vê os alunos como colaboradores. O professor também não é mais o único responsável pela elaboração e definição dos conteúdos. Diferentemente dos métodos de educação a distância convencionais, cursos conectivistas geralmente são abertos, acessíveis e duradouros.

Durante os últimos anos, o crescimento e a adesão ao ensino a distância vêm aumentando. Assim surgiram os MOOCs (Massive Open Online Courses), cursos online

abertos e geralmente gratuitos. As ferramentas de interação com alunos geralmente são disponíveis publicamente ou até na forma de softwares livres. O conteúdos produzidos geralmente se tornam recursos educacionais abertos, permitindo sua utilização, adaptação e redistribuição. MOOCs também é massivo, ou seja, independe de uma quantidade específica de alunos, e de livre acesso; geralmente não há pré-requisitos ou exigências para a participação nesses cursos.

Em função da diversidade de objetivos e de ferramentas disponíveis que caracterizam o universo dos MOOCs, escolher a plataforma mais adequada para um determinado contexto se torna uma tarefa complexa. Além de selecionar um AVA que melhor se encaixe em um projeto específico, ou seja, o ambiente virtual que irá integrar boa parte das atividades e conteúdos do curso, deve-se preocupar com a forma como o MOOC irá maximizar o aprendizado do público alvo desejado. Todas estas e outras atividades fazem parte de um bom planejamento e são essenciais para a implantação efetiva de um MOOC. Este artigo visa justamente contribuir com uma metodologia para superar essas dificuldades.

2. Contextualização

Segundo [McAuley et al. 2010], os MOOCs originaram-se com os pioneiros Stephen Downes, Alec Couros, Dave Cormier e George Siemens. Esses pesquisadores definem MOOCs utilizando largamente o acrônimo, com o sentido de “Massive” indo além da ideia de número de participantes, ressaltando também a diversidade. O termo “Open” não se refere somente à liberdade e acessibilidade, mas a uma ementa de curso aberta a múltiplas crenças coexistindo no curso. O termo “Online” se refere aos pontos fracos e fortes das conexões online. “Course” remete à estruturação de um curso, no qual o conhecimento é mediado pela experiência de facilitadores e executado em um espaço predefinido de tempo.

No final de 2008, Siemens e Downes ofereceram um curso com aproximadamente 2.400 alunos inscritos em todo o mundo, que estudavam o conectivismo. Este curso foi realizado novamente em 2009 e 2011. Fini [Fini 2009] analisou a experiência dos alunos no curso em 2008 e percebeu que a principal razão indicada para o abandono do mesmo foi a falta de tempo, associada em menor grau a barreiras de linguagem, fuso horário e falta de habilidades em tecnologias da informação e da comunicação.

Outro fator importante é a construção e a manutenção de conexões e o aprendizado em rede de forma distribuída, fazendo com que boa parte do conteúdo do curso seja compartilhado em blogs e em fóruns de discussão, por meio de recursos de áudio e vídeos, dentre outros. Este fator é tratado no MOOC como uma aplicação em larga escala da teoria do conectivismo, uma teoria de aprendizagem adequada para a era digital, como afirmam [Anderson and Dron 2010]:

“Os artefatos da aprendizagem conectivista são geralmente abertos, acessíveis e persistentes. Assim, a interação em educação a distância move-se para além de consultas individuais com professores (pedagogia cognitivo-behaviorista) e das interações em grupo e limitações dos ambientes virtuais de aprendizagem, associadas à pedagogia construtivista de educação a distância.”

Para [Siemens 2012], existem dois tipos de MOOCs: os primeiros, chamados de cMOOCs, são conectivistas, enfatizando a criação, a criatividade, a autonomia e a apren-

dizagem social em rede; e os segundos, os xMOOCs, seriam a nova geração, com uma abordagem de aprendizagem mais tradicional por meio de apresentações, vídeos, pequenos exercícios e testes.

3. Metodologia

Uma metodologia de implantação de um curso MOOC envolve considerar diversas fases como: realizar um bom planejamento do curso, selecionar uma plataforma AVA adequada, selecionar e adaptar ferramentas adicionais que ajudem a compor a plataforma, criar materiais didático e escolher a licença de uso e de distribuição dos conteúdos produzidos (sendo interessante a opção por recursos abertos e por técnicas de reuso para que o curso possa ser replicado posteriormente por outras pessoas que se interessem em executar um projeto semelhante). A metodologia descrita aqui foi gerada dentro do contexto do projeto de extensão “Capacitações em Tecnologias Abertas” do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás. Esse projeto tem como objetivo difundir o uso de tecnologias abertas para a comunidade através da realização de cursos de capacitação baseados em MOOCs, fomentando também a inclusão digital e a criação de comunidades colaborativas para desenvolver e aprimorar soluções de software livre. A fim de atingir tais objetivos, um dos requisitos do projeto foi desenvolver uma metodologia para selecionar e implantar um Ambiente Virtual de Aprendizagem que hospedasse os cursos de capacitação de forma satisfatória. O ambiente selecionado seria testado por meio de sua aplicação, inicialmente na primeira capacitação do projeto, um curso de “Ubuntu Básico” para usuários iniciantes.

A metodologia resultante desse projeto consiste então de 6 fases que devem ser executadas sequencialmente para implantação de um MOOC. As fases, contudo, se repetem a cada curso, visando aperfeiçoar de modo iterativo o ambiente criado e melhorando a qualidade dos novos cursos. Uma ilustração do processo geral da metodologia pode ser vista na Figura 1. As fases são explicadas a seguir.

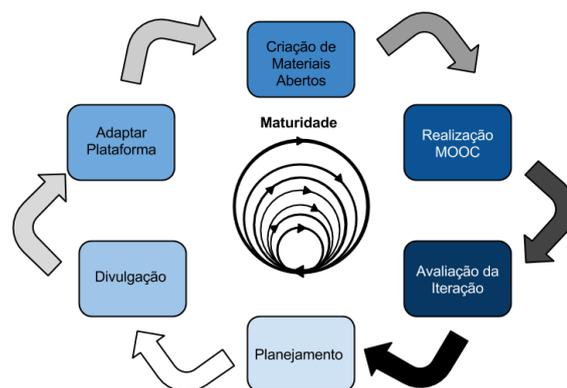


Figura 1. Modelo de Iteração para Implantação de MOOCs.

3.1. Planejamento

A fase de Planejamento contempla uma ampla pesquisa de campo para a descoberta de necessidades e demandas de cursos, definição de escopo e conteúdos do curso, definição de um público alvo, criação de parcerias e vínculos com professores e colaboradores em geral. Essas atividades são realizadas exclusivamente pela coordenação do projeto.

3.2. Divulgação

Na fase seguinte, acontece a ampla divulgação do curso. Para tanto, são selecionados os canais de comunicação mais adequados para atingir o público, os quais podem envolver o portal Web do próprio projeto, blogs, redes sociais, televisão, jornais, sites de outras instituições, cartazes e emails. Esta fase é atribuída a todos os envolvidos no projeto.

3.3. Implantação e Adequação da Plataforma

Esta etapa é de grande importância para as primeiras iterações do projeto, dada a complexidade de readaptação de ferramentas, de atividades e de conteúdo criados caso seja necessário posteriormente trocar a plataforma escolhida. Sendo assim, deve-se escolher uma plataforma de software que melhor ofereça recursos de interação com os alunos e hospede o conteúdo didático a ser criado. Essa plataforma deve ser adaptada às necessidades (por exemplo, configurada com o template visual desejado), implantada e testada. Para as próximas iterações do projeto, pode-se analisar a necessidade de novas funcionalidades (estendida com plugins) ou a atualização do sistema por uma versão mais moderna, a qual apresente mais recursos. Esta fase está atribuída aos desenvolvedores, sob orientação dos coordenadores do projeto.

3.4. Criação do Material Didático

Após a seleção, adaptação e testes do ambiente, é realizada a criação ou a adaptação do material didático do curso. Como dito anteriormente, um dos objetivos do projeto pode ser gerar recursos educacionais abertos que sejam utilizados, compartilhados e aprimorados pela comunidade. Isso implica que as ferramentas computacionais escolhidas e configuradas devem dar suporte a tal atividade.

3.5. Realização do MOOC

Neste momento, o MOOC é realizado. O período de realização envolve também o período de inscrição dos alunos e a implementação do conteúdo programático do curso no ambiente virtual. No decorrer do curso, todo conteúdo produzido e interações entre alunos, professores e sistemas deve ser armazenados para análise futura.

3.6. Avaliação da Iteração

Após a finalização do curso, os dados coletados devem ser analisados para aprimoramento do projeto. Informações como evasão, localização geográfica, opiniões, quantidade de alunos cadastrados, quantidade de alunos que finalizaram o curso e quantidade de alunos considerados aprovados são exemplos de dados que devem ser considerados na análise.

Além disso, vários dados coletados nesta fase são utilizados na fase de planejamento da próxima iteração, identificando os pontos fortes e pontos fracos do curso, bem como o uso de MOOCs pode ser melhorado no intuito de otimizar o alcance dos objetivos traçados no planejamento.

4. Plataformas MOOCs

Como explicitado anteriormente, a etapa de seleção da plataforma que será utilizada para o MOOC é de grande importância, pois tal escolha terá impacto em todo o andamento do curso. Aspectos como a forma que a interação entre os cursistas ocorre, o formato dos

conteúdos e as atividades criadas, dentre outros dependem inteiramente da plataforma utilizada. Sendo assim, o custo de migração de todo conteúdo criado, atividades, readaptação de ferramentas para a substituição do ambiente em caso de uma escolha equivocada pode ser alto e por isso requer um pouco mais de atenção e esforço.

Consideramos que existem diferenças básicas entre uma Plataforma MOOC e um AVA. Um AVA é um ambiente virtual que concentra boa parte das ferramentas online, fornecendo a maior parte do conteúdo e das atividades. Já a plataforma MOOC é o conjunto todo de ferramentas, que englobam o AVA e ferramentas complementares. No nosso caso, utilizamos o Youtube, o Wikibooks e o Github, dentre outras ferramentas além do AVA escolhido. Sendo assim, foram utilizados os seguintes critérios obrigatórios para a seleção de todas as ferramentas que compõem a Plataforma:

- Software Livre: uma das motivações do projeto de extensão é fornecer acesso ao conhecimento de forma aberta e acessível, permitindo inclusive que outros projetos reusem e melhorem o conteúdo disponibilizado livremente;
- Personalização de Interface: recursos que viabilizem a alteração do comportamento da interface conforme a demanda. Por exemplo, em MOOCs, é comum disponibilizar acesso livre a todo o conteúdo, viabilizando a formação de conexões (links) entre materiais na rede e o maior alcance do conhecimento produzido;
- Domínio da linguagem de programação: permitir o desenvolvimento de acessórios e a alteração plena do funcionamento do software, caso seja necessário. No nosso caso, a equipe de desenvolvimento tinha domínio de Java, Python e PHP;
- Funcionalidades mínimas: fornecimento de atividades didáticas não interativas como texto e conteúdo multimídia e atividades interativas como fóruns e questionários.

4.1. Seleção do AVA

A escolha do AVA depende do contexto de utilização e, portanto, os critérios podem variar. Como há uma grande quantidade de AVAs disponíveis ¹, é necessário em uma primeira etapa, definir critérios obrigatórios, citados anteriormente; e depois, em uma segunda etapa, realizar uma avaliação técnica mais profunda, aplicando os critérios classificatórios. Dentre os vários AVAs disponíveis e que atendem aos requisitos obrigatórios, foram selecionadas 3 plataformas, Open edX, Sakai e Moodle. Estas plataformas foram instaladas e testadas experimentalmente.

4.2. Avaliação dos AVAs

Os AVAs escolhidos aplicando os critérios obrigatórios estão brevemente descritos separadamente na seção a seguir.

4.2.1. Open edX

A edX é uma plataforma de ensino à distância que foi projetado para a realização de xMOOCs. Foi fundada como uma organização sem fins lucrativos como software livre

¹Em pesquisa no site Capterra, foram encontrados 286 AVAs - <http://www.capterra.com/learning-management-system-software/> - acessado em 1 de novembro de 2015.

em 2012 pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) juntamente com a Universidade de Harvard. O projeto além de hospedar uma série de cursos universitários on-line gratuitos em diversas áreas do conhecimento por meio do Open edX, também analisa os dados gerados por sua utilização para contribuir com estudos sobre mecanismos de aprendizagem e otimização dos MOOCs. O sistema foi praticamente todo desenvolvido em Python. Possui uma documentação bastante rica e exige muito recurso computacional, se comparados com outras plataformas.

4.2.2. Sakai

O Projeto Sakai possui uma vasta comunidade, sendo a escolha de mais de trezentos e cinquenta colégios e universidades ² e mais de quarenta instituições contribui para seu desenvolvimento ³, incluindo grandes nomes como a Universidade de Oxford e Universidade de Cambridge. O projeto Sakai foi desenvolvido pela Apereo ⁴, uma fundação que desenvolve e mantém grandes softwares em instituições educacionais no mundo. Exige um pouco mais de recursos computacionais entre seus concorrentes e possui uma documentação limitada.

4.2.3. Moodle

Idealizado por Martin Dougiamas, o projeto Moodle iniciou em meados de 1999, baseado na pedagogia sócio-construtivista [Dougiamas 2010]. Desenvolvido na linguagem PHP, possui aplicação em diferentes práticas pedagógicas com uma grande variedade de funcionalidades. Possibilita interações síncronas e assíncronas, categorizando suas ferramentas em duas categorias, os “Recursos” e “Atividades”, onde o primeiro agrupa ferramentas de interação unilateral, ou seja, o professor disponibiliza algum conteúdo e o aluno não pode interagir de volta. O segundo agrupamento é de ferramentas que viabilizam interação bilateral, ou seja, o professor interage com o aluno, que por sua vez pode interagir de volta. Exige poucos recursos computacionais e possui uma documentação acessível, explicando todas as suas funcionalidades para diferentes tipos de perfil, sejam professores, alunos, administradores ou desenvolvedores.

4.3. Comparativo

Feitas tais análises, é importante a avaliação comparativa entre os AVAs considerando os aspectos selecionados. A Tabela 1 mostra um quadro comparativo dos AVAs (separados por colunas) conforme os aspectos analisados anteriormente (separados por linhas).

Dentre os aspectos selecionados, três quesitos foram analisados para a escolha do AVA. Cada quesito possuindo aspectos indicadores que foram pontuados de 0(menos relevante) a 3(mais relevante), como mostra na descrição:

²Comunidade do projeto Sakai: <https://www.sakaiproject.org/community> - acessado em 28 de outubro de 2015.

³Descrição do projeto Sakai da Apereo: <https://www.apereo.org/Sakai> - acessado em 28 de outubro de 2015.

⁴Homepage da Apereo: <https://www.apereo.org/> - acessado em 28 de outubro de 2015.

Tabela 1. Atributos dos AVAs

	edX	Sakai	Moodle
Processador	2 GHz	2 GHz	1 GHz
Memória	2 GB - 4 GB	2 GB	256 MB
Disco rígido	25 GB	40 GB	5 GB
Contribuidores	301	248	498
Duração (Projeto)	3 anos	10 anos	13 anos
Linhas (Código)	384.784	2.910.264	2.551.079
Linguagem majoritária	Python	Java	PHP
Tipo de MOOC	xMOOC	xMOOC/cMOOC	xMOOC/cMOOC
Licença	GNU-AGPL-3.0	ECL-2.0	GNU-GPL-2.0+

- Requisitos mínimos de Hardware: é importante para nós que o ambiente virtual escolhido não necessite de um Hardware muito potente, até porque queremos que o ambiente possa ser replicável para o maior número de interessados. Os indicadores deste quesito são: Processador, Memória e Disco Rígido;
- Maturidade de Software:
 - Número de contribuidores: nos auxilia a mensurar o tamanho da comunidade ativa do projeto, permitindo que se possa prever sua evoluibilidade;
 - Duração do Projeto: pelo tempo de duração do projeto podemos ter uma ideia de sua maturidade. Quanto maior o tempo de duração do projeto, mais estável é o sistema;
 - Linhas de código: fator importante que pode nos mostrar o quanto já foi desenvolvido para tal sistema e sua complexidade;
- Adequação ao Projeto:
 - Linguagem de programação: este indicador é importante para saber se a equipe tem domínio desta linguagem, para facilitar e agilizar no desenvolvimento de possíveis novas funcionalidades;
 - Tipo de MOOC: a ideia inicial do projeto é que sejam utilizados conceitos de xMOOCs e cMOOCs, pois serão cursos separados cujos temas não possuem necessariamente relação com os cursos anteriores, porém o intuito é que todo o material e conhecimento construído nos cursos esteja sempre disponível aos alunos, incentivando que eles mantenham sua rede de contatos para que possam criar e disseminar cada vez mais o conhecimento que obtiveram, formando comunidades de software livre.
 - Licença de Software: para este projeto é ideal que todas as ferramentas utilizadas sejam de livre acesso para modificação e reuso.

Com o levantamento destas questões e diretrizes selecionadas, a Tabela 2 mostra a pontuação obtida por cada um dos AVAs avaliados.

5. Estudo de Caso

Após a fase de seleção do AVA, o primeiro curso escolhido para ser ministrado foi o "Ubuntu Básico", utilizando o modelo MOOC. O objetivo inicial do curso era dar uma introdução ao uso do sistema operacional Ubuntu GNU/Linux, como uma forma de desmitificar tal sistema entre os alunos, os docentes e os técnicos administrativos de uma

Tabela 2. Pontuação obtida pelos AVAs

	edX	Sakai	Moodle
Processador	1	1	3
Memória	1	2	3
Disco rígido	2	1	3
Contribuidores	2	1	3
Duração (Projeto)	1	3	3
Linhas (Código)	2	2	2
Linguagem majoritária	1	3	2
Tipo de MOOC	2	3	3
Licença	3	3	3
Total	15	19	25

Universidade específica e assim facilitar a adoção do mesmo na instituição. No entanto, logo cedo percebeu-se que o treinamento poderia ser aberto para toda comunidade, tanto local quando a nível nacional, de forma a trazer mais benefícios para a sociedade. O curso ocorreu como parte de um projeto de extensão acadêmica, com a participação de dois docentes e três alunos do Instituto de Informática da Universidade em questão.

O curso foi realizado em cinco etapas:

1. definição do público alvo do curso;
2. elaboração de uma metodologia de ensino/aprendizado;
3. criação e disponibilização de conteúdo no AVA;
4. divulgação e realização do treinamento;
5. emissão dos certificados de participação para os aprovados no curso e avaliação do curso.

Na Etapa 1, foi decidido que o público alvo seriam todas as pessoas que já utilizassem bem um computador para enviar emails e navegar na Web essencialmente através de uma interface gráfica baseada em janelas ⁵. Conhecimento prévio de Ubuntu não era necessário. No entanto, o aluno deveria ter acesso a um computador com Ubuntu pré-instalado e a uma conta com papel de administrador no sistema. Assim, os prováveis alunos foram orientados, antes da matrícula no curso, a procurarem um técnico de informática para realizar a devida instalação do sistema operacional.

Na Etapa 2, optou-se por dividir o conteúdo do curso de Ubuntu Básico em sete blocos semanais, com cada semana consistindo de:

1. uma aula ao vivo pela Web que seria gravada e disponibilizada posteriormente para livre consulta;
2. a leitura de um material de referência na rede;
3. da utilização de um canal de comunicação entre os alunos e membros do projeto, para tirar dúvidas, sugerir novas ações e socializar;
4. a realização de uma lista de exercícios com submissão das respostas;

⁵Aspectos acessibilidade para não foram considerados na edição do curso. Assim, pessoas com deficiências visuais teriam dificuldade em acompanhar as aulas, sendo este uma questão importante a ser tratada em futuras edições do treinamento.

5. um segundo encontro ao vivo, para tirar dúvidas, que também seria gravado e disponibilizado para consulta;
6. uma avaliação online com questões objetivas.

Foram considerados como critérios de aprovação uma participação mínima de 85% nas listas de exercícios e na avaliação online, além da média total mínima de 7,0 no conjunto dessas atividades.

Feitas a definição do público alvo e a escolha da metodologia, analisou-se, na Etapa 3, as ferramentas computacionais disponíveis para que permitissem implementar o curso como inicialmente previsto. Entre os aspectos considerados na análise, estavam:

1. permitir o acesso aos conteúdos semanais de forma rápida para milhares de pessoas;
2. possibilitar a submissão de atividades e listas de exercícios;
3. oferecer um canal de comunicação entre os participantes do curso;
4. permitir a realização de avaliações online.
5. permitir a emissão de certificados.

Além disso, desejava-se adotar uma interface gráfica atraente e que mostrasse poucas informações por vez, assim guiando o usuário passo-a-passo na realização do curso. Outro aspecto era que o conteúdo do curso deveria ficar acessível para a comunidade após a sua realização, desta forma amplificando os seus benefícios para além do período de treinamento.

A equipe do projeto percebeu então que os recursos padrões do AVA selecionado não seriam suficientes para suprir os requisitos iniciais. A primeira necessidade foi a criação de uma página inicial personalizada, a fim de dar maior identidade para o portal do projeto e tentar facilitar o acesso aos cursos e recursos para os alunos. Para auxiliar neste processo, foi utilizado o modelo visual *LearnMoodle*, projetado e utilizado pela própria comunidade da plataforma para facilitar a realização de MOOCs⁶. Todo código-fonte desenvolvido está sendo disponibilizado de forma aberta no GitHub, com o objetivo de fomentar uma maior colaboração com a comunidade.

O ambiente foi configurado para permitir acesso de visitantes, não forçando que os alunos sejam autenticados para ver o que está sendo criado e disponibilizado. Para alterar tais configurações, basta acessar o ambiente como usuário administrador e no bloco "Administração", na opção "Administração do Site" selecionar *Políticas do Site*.

Outra necessidade foi a instalação do módulo de atividade "Simple Certificate"⁷, o qual adiciona ao AVA a funcionalidade de emissão de certificados, desenvolvido também pela comunidade. Os certificados podem ser gerados tanto pelo professor quanto pelos próprios alunos com base na nota final obtida no curso.

Além destes recursos, adotamos uma configuração especial para o curso: o recurso de fórum foi utilizado semanalmente para promover o canal de comunicação entre os participantes; o curso ficou totalmente acessível a visitantes, necessitando apenas de

⁶Tema do Moodle projetado para a metodologia MOOCs - <https://learn.moodle.net/> - acessado em 1 de novembro de 2015.

⁷https://moodle.org/plugins/view/mod_simplecertificate - acessado em 1 de julho de 2015.

login para deixar mensagens nos fóruns e para realizar as atividades avaliativas (listas e avaliações online).

Outras ferramentas utilizadas em conjunto com o Moodle foram: o portal *Wikibooks*, para hospedar um livro digital aberto sobre o Ubuntu, o qual recebeu textos traduzidos de outras fontes abertas e que foi significativamente ampliado e revisado pelos organizadores do curso; e o Youtube, com o recurso de transmissão de vídeo para realização das vídeo aulas ao vivo e sua posterior disponibilização. Os links para estas aulas foram disponibilizados no bloco semanal no AVA antes de ocorrerem e, depois, ficam como referência para acesso ao conteúdo gravado.

Na Etapa 4, divulgou-se o curso amplamente através de listas de discussão na Internet e por meio de contatos com algumas pessoas-chave na comunidade de software livre. O curso foi então ministrado entre os dias 20 de outubro de 14 de dezembro de 2014. Ao todo, 478 pessoas se inscreveram, localizadas em vários estados brasileiros e com formação distinta, conforme informações no cadastro de usuário do AVA.

A movimentação nos fóruns semanais dos cursos foi intensa, com a participação dos alunos em praticamente todos os horários do dia.

6. Análise de Resultados

Ao final do curso, 47 alunos, aproximadamente 10% dos inscritos, alcançaram as condições mínimas para aprovação e receberam o certificado, gerado em PDF pelo Moodle. Levando em conta uma taxa de aprovação média já conhecida de aproximadamente 5% nos cursos na modalidade MOOC e os critérios avaliativos rigorosos que adotamos, entende-se que o curso de Ubuntu Básico atingiu uma taxa aprovação que pode ser considerada até mesmo elevada.

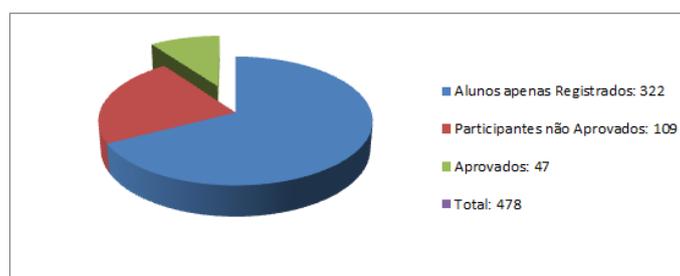


Figura 2. Gráfico de desempenho dos alunos.

Siemens[Siemens 2013] afirma que um grande fator para o alto nível de evasão dos MOOCs está possivelmente relacionado ao comprometimento dos alunos, pois eles não tem a necessidade ou obrigação de finalizar o curso. O que os mantém no curso realizando as atividades e avaliações é o interesse sobre o assunto e a motivação própria.

Ainda neste trabalho de Siemens, em um MOOC realizado pelo Instituto de Tecnologia de Massachussets (MIT), dos 155000 alunos cadastrados, apenas 7157 alunos finalizaram, ou seja, 4,6% dos alunos cadastrados conseguiram finalizar o curso.

O histograma da figura 3, mostra a margem de notas dos alunos, considerando a média final do curso, e a frequência que estas médias foram obtidas. Podemos perceber que a maior parte dos alunos se concentra entre os que obtiveram média de 0 a 1.0, são

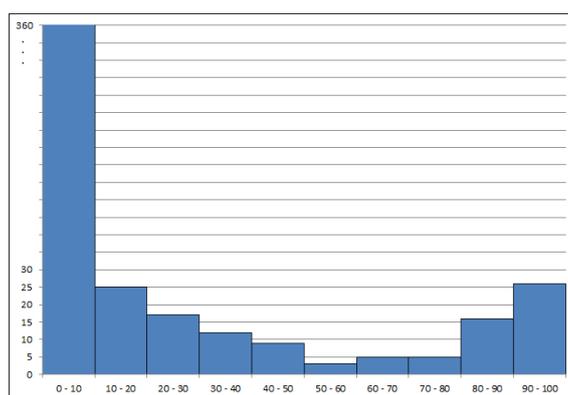


Figura 3. Histograma - Quantidade de alunos por margem de notas.

360 alunos e destes, 322 não realizaram atividade alguma, ou seja, não participaram do curso.

Além disso, foram muitos os comentários finais de satisfação dos alunos com o curso e as manifestações de interesse agora por um curso mais avançado de Ubuntu. Apesar de já encerrado, a página do curso de Ubuntu Básico e suas vídeo aulas no Youtube continuam a ser acessadas por visitantes, estendendo como imaginamos o impacto positivo do treinamento.

Com os resultados obtidos no curso de Ubuntu Básico, podemos perceber uma alta taxa de desistência dos alunos, se considerarmos a quantidade de alunos que se cadastraram no ambiente para a realização do curso e os que efetivamente conseguiram obter o certificado de conclusão do curso. Este fenômeno, conhecido como evasão de cursos MOOC para Clow[Clow 2013], é semelhante à metáfora do funil do Marketing, citado em [Jobber 1995], onde há uma forte taxa de inscrição e alta taxa de desistência no decorrer do curso, tal como é mostrado na Figura a seguir.



Figura 4. Funil de participação em cursos MOOC.

7. Conclusão

Feito estes estudos comparativos, concluiu-se que o ambiente virtual que melhor se enquadrou nos requisitos do projeto de extensão especificado foi o Moodle. Apesar de todas as plataformas atenderem os pré-requisitos em aspectos gerais, o Moodle supriu de forma

eficaz as necessidades. O modelo iterativo do projeto evidenciou-se eficiente, mas deve ser novamente analisado com a realização de novos cursos, para obtenção de mais resultados.

Um dos critérios mais utilizados para avaliação do desempenho de um curso é a evasão a partir da inscrição. Em MOOCs, é comum ter muitos alunos inscritos que não participam de nenhuma atividade, por isso, faz mais sentido analisar a evasão considerando-se alunos participativos, ou seja, aqueles que participaram de pelo menos uma atividade. Dos 478 alunos registrados, 156 foram participativos. Destes 156 participantes, 47 foram aprovados, isto é, 30% dos alunos participantes foram aprovados.

Sendo assim, retornando aos objetivos que foram predefinidos para este trabalho, pode-se concluir que os estudos e métodos utilizados foram efetivos e que a plataforma juntamente com as ferramentas e recursos externos escolhidos, obtiveram sucesso em apoiar o projeto a atingir as suas metas, apesar de ainda não ter atingido um patamar de curso ideal. O ambiente conseguiu atender a todos os requisitos da primeira iteração, fornecendo à comunidade um modelo para implantação de plataforma MOOC, para ser aplicado diversos ambientes, que será melhorado de forma contínua a cada curso realizado a partir das lições aprendidas de iterações anteriores.

Para trabalhos futuros e em outras iterações, é importante realizar um estudo a fim de aprimorar a qualidade dos cursos que estão sendo realizados, seja aperfeiçoando meios de comunicação, criando incentivos aos alunos, analisar os momentos do curso em que os usuários considerados engajados deixam de participar das atividades e tentar reverter tais resultados.

Referências

- Anderson, T. and Dron, J. (2010). Three generations of distance education pedagogy. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 12(3).
- Clow, D. (2013). Moocs and the funnel of participation. In Suthers, D. and Verbert, K., editors, *LAK*, pages 185–189. ACM.
- Dougiamas, M. (2010). História do moodle.
- Fini, A. (2009). The technological dimension of a massive open online course: the case of the cck08 course tools. *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, 10(5):1–26.
- Jobber, D. (1995). *Principles and Practice of Marketing*. McGraw-Hill.
- McAuley, A., Stewart, B., Siemens, G., and Cormier, D. (2010). The mooc model for digital practice.
- Siemens, G. (2012). Moocs are really a platform. Available at <http://www.elearnspace.org/blog/2012/07/25/moocs-are-really-a-platform/>.
- Siemens, G. (2013). Massive open online courses: Innovation in education? *Open Educational Resources: Innovation, Research and Practice*, pages 5–17.

Robótica e Lógica de Programação como forma de atrair meninas para a tecnologia

Christiane Borges Santos¹, Aldo Lúcio de Freitas Mundim¹,
Audir da Costa Oliveira Filho¹, Luiz Fernando Batista Loja¹

¹Departamento de Informática – Instituto Federal de Goiás (IFG)
Campus Luziânia – GO – Brasil

{christiane.santos, aldo.mundim, audir.filho, luiz.loja}@ifg.edu.br

Abstract. *This article presents the Metabotix project: Teaching Robotics and Programming Language for Young Women, which is being developed since 2014 at the Luziânia Campus of Goiania’s Federal Institute, using free (as in libre) hardware and software and recyclable electronic materials. The project counts with an interdisciplinary methodology for learning robotics, applying knowledge acquired during high school classes aiming for the growth of girls’ interests’ in STEM (science, technology, engineering and mathematics) areas.*

Resumo. *Este artigo descreve o projeto Metabotix: Ensino de Robótica e Lógica de Programação para Meninas, que vem sendo desenvolvido no IFG Campus Luziânia desde 2014, utilizando hardware e software livres e materiais eletrônicos recicláveis. O projeto conta com uma metodologia de interdisciplinariedade para o aprendizado de robótica, aplicando conhecimentos compreendidos em sala de aula no ensino médio, visando a ampliação do interesse de meninas em áreas de tecnologia.*

1. Introdução

Os brinquedos ocupam um papel tão importante na vida da criança que podem influenciá-las para o bem ou despertar o talento para algumas profissões. Brinquedos ajudam no desenvolvimento de habilidades, da imaginação, constroem autonomia, exploram, ensinam, reproduzem comportamentos. E é nesta fase que também se começa um tabu: o das profissões masculinas e femininas. Em 1992, a Mattel Toys lançou uma Barbie falante que dizia: ”Aula de matemática é tão difícil!” A boneca virou polêmica, principalmente entre pais e professores que achavam que isso reforçava o estereótipo de que meninas não são boas em matemática [BBC, 2009].

A história mostra que a utopia de que homens se restringem a área exatas e mulheres a área de humanas, não condiz com a contribuição intelectual das mulheres para a evolução do setor de Tecnologia da Informação (TI). Graças às contribuições de Ada Byron (Lady Lovelace) conhecida como a primeira programadora da história, Grace Murray Hopper, que contribuiu no desenvolvimento da linguagem de programação COBOL, Marina C. Chen, que desenvolveu pesquisa sobre design e implementação dos compiladores Fortran, Adele Goldberg, que trabalhou na criação da primeira interface baseada em ícones, Hedy Lamarr que foi atriz e responsável pela técnica de espalhamento espectral que serviu de base para algumas tecnologias de comunicação sem fio, entre tantas outras, foi possível que o desenvolvimento tecnológico chegasse aos níveis atuais. [ADA, 2015].

ENGENHEIRAS FAMOSAS

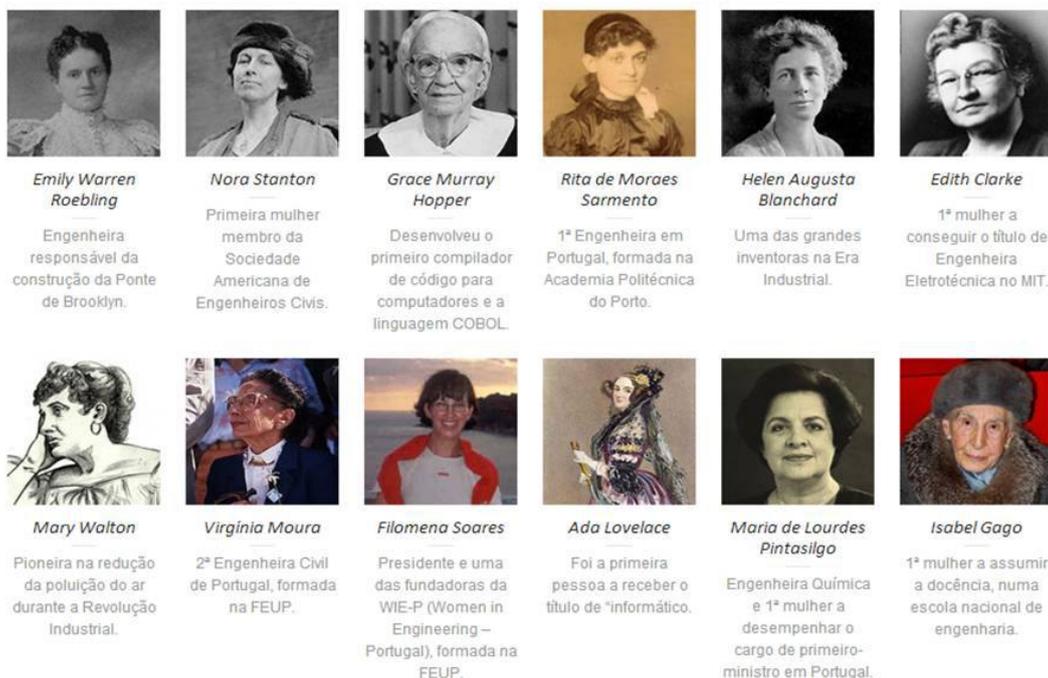


Figure 1. Contribuição feminina em algumas áreas da engenharia e tecnologia

Segundo dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), o número de mulheres que ingressam e concluem o ensino superior supera o de homens. As mulheres têm predominância nas áreas de Ciências Humanas e Sociais (cerca de 81%), mas as Ciências Exatas são dominadas pelos homens, principalmente as Engenharias (cerca de 86,3%). Há um equilíbrio, por sua vez, nas áreas de saúde e agrárias. Em 2013, o curso preferido pelas mulheres era o de pedagogia e o preferido pelos homens o de administração [INEP, 2015].

Para tentar mudar essa realidade, o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), junto com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Secretaria de Políticas para as Mulheres da Presidência da República (SPM-PR) e a Petróleo Brasileiro (Petrobras) em 2013 realizaram uma chamada pública com o objetivo de selecionar propostas para apoio financeiro de projetos que visam contribuir significativamente para o desenvolvimento científico e tecnológico e inovação do País, com a finalidade de ampliar o número de estudantes do sexo feminino nas carreiras de ciências exatas, engenharias e computação.

O projeto Metabotix (Laboratório de Metareciclagem e Robótica para Meninas) do IFG Campus Luziânia, contemplado no edital do MCTI, foca em meninas que estão no ensino médio, incentivando essas estudantes a ingressarem nas carreiras de ciências exatas, engenharias e computação desde cedo. Um dos objetivos do projeto é o de combater a evasão que ocorre principalmente nos primeiros anos destes cursos e despertar o

interesse vocacional para a pesquisa científica e tecnológica. O projeto existe desde 2014 e também conta com recursos do próprio IFG para desenvolvimento do projeto.

Estudos mostram que ao relacionar teoria com algo na prática, o aprendizado das estudantes é ampliado. A evasão em cursos de computação muitas vezes ocorre devido a dificuldade dos alunos em abstrair certos conceitos teóricos de computação. A robótica foi escolhida como metodologia de ensino por se tratar de um ramo da tecnologia que engloba mecânica, metareciclagem, eletrônica e computação, que atualmente trata de sistemas compostos por máquinas e partes mecânicas automáticas, controladas por circuitos elétricos. Além disso, a aplicação prática da robótica engloba áreas da domótica (automação residencial), mecatrônica (automação industrial) e IoT (Internet das Coisas), e o mercado de trabalho é promissor. O crescimento do mercado de robôs pessoais, incluindo aqueles usados para fins educativos e de entretenimento, têm sido enorme e esta tendência podem continuar nas próximas décadas [BENITTI, 2012], [PEREIRA, 2010], [PINTO, 2011].

As jovens, que muitas vezes não estão interessadas em abordagens tradicionais de robótica, tornam-se motivadas quando as atividades de robótica são introduzidas como uma maneira de contar uma história, ou em conexão com outras disciplinas e áreas de interesse. A robótica acaba se tornando uma forma lúdica de aprendizado, em que as meninas se sentem motivadas a desenvolverem projetos de uma forma divertida e interdisciplinar.

A robótica, aliada ao ensino de lógica de programação, ajuda no desenvolvimento do raciocínio lógico e dedutivo das meninas, e mesmo que as mesmas optem por outros ramos profissionais, terão desenvolvido competências de resolução de problemas que serão úteis em suas respectivas áreas do conhecimento. Existem diversas ferramentas que podem introduzir essas meninas no mundo da programação, como por exemplo o *Scratch for Arduino*(S4A), uma linguagem de programação baseada em interface gráfica e o Alice, um ambiente de programação tridimensional de fácil utilização, no qual podem ser criadas animações e interações entre personagens e objetos, e que lembra muitos jogos de vídeo games [Alice, 2015], [Scratch, 2015].

O artigo está definido da seguinte forma: a seção 1 abordou a contextualização e conceitos históricos do uso da robótica e lógica de programação aliadas ao ensino. A seção 2 trará uma visão geral do projeto Metabotix. A seção 3 trará os resultados parciais encontrados com o projeto. A seção 4 aborda as conclusões obtidas.

2. Metabotix

A robótica como forma de auxílio na educação é um dos grandes debates abertos no Brasil. Vários países já exploram a Robótica em instituições de ensino em diversos níveis de escolaridade, como forma de aprimorar o aprendizado de diversos conceitos, devido à sua inerente interdisciplinaridade [PINTO, 2011], [PEREIRA, 2010], [BENITTI, 2012]

Teóricos da educação, tais como Papert acreditam que as atividades de robótica tem um enorme potencial para melhorar o ensino em sala de aula. No entanto, poucos trabalhos apresentam evidência empírica para comprovar o impacto da robótica no aprendizado dos estudantes. Os educadores começaram a gerar idéias e desenvolver atividades para incorporar a robótica no ensino de várias disciplinas, incluindo matemática, ciência e

engenharia. No entanto, sem evidências de pesquisa para apoiar o seu impacto acadêmico direto sobre o desempenho dos alunos, as atividades de robótica podem ser apenas uma "moda" [BENITTI, 2012].

A maioria dos trabalhos relacionados com o uso da robótica como ferramenta de ensino são de natureza descritiva, com base em relatórios de professores que alcançaram resultados positivos individuais. Muitos destes trabalhos estão focados em apoiar a robótica em disciplinas intimamente relacionadas ao campo da robótica, com a programação e construção dos robôs utilizando kits proprietários como o Kit Lego Mindstorms. A Figura 2 apresenta dois modelos de Lego Mindstorms: EV3 e NXT. Os kits Lego são bem intuitivos e se parecem com "brinquedos", a programação pode ser feita através do computador ou no próprio brick, considerado o cérebro da máquina. Apesar de interessante para o ensino da robótica, os kits Lego apresentam recursos limitados de funcionalidades, como programação e aquisição de sensores específicos, pagamento de licenças, que torna o projeto inviável financeiramente em muitos casos.

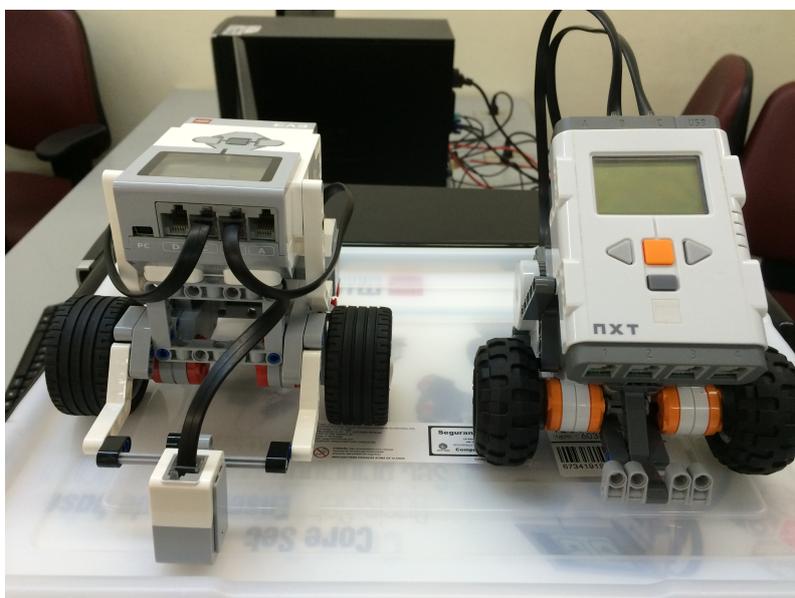


Figure 2. Lego Mindstorms EV3 e NXT

No projeto Metabotix, que atualmente conta com 12 estudantes, elas são desafiadas a construir e programar pequenos robôs, oferecendo a oportunidade de vivenciarem experiências semelhantes às encontradas na vida real, melhorando o seu desempenho escolar e gerando benefícios como: motivação, criatividade, desenvolvimento do raciocínio lógico e a interação em grupo. Na Figura 3 é possível ver a mascote do projeto [SANTOS et al, 2014].

As alunas que participam do projeto estão envolvidas em trabalhos de iniciação científica e/ou de conclusão de curso, e procuraram o laboratório de forma espontânea. O projeto conta com as seguintes etapas [SANTOS et al, 2014]:

1. Sensibilização: apresentação do tema e estabelecimento da relação colaborativa entre educador e educando
2. Lógica de Programação: utilizando programação em bloco e a IDE do próprio Arduino

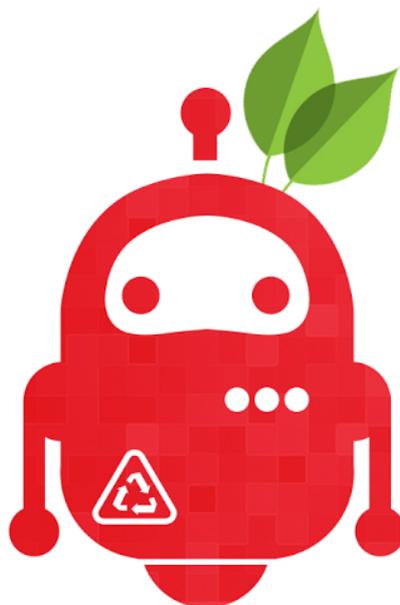


Figure 3. Mascote do projeto Metabotix

3. Teoria Robótica: integração de propostas pedagógicas
4. Capacitação Básica: conceitos de eletricidade e eletrônica
5. Planejamento dos projetos: dispositivos, softwares, linguagens e interface utilizada
6. Experimentação: testes iniciais dos protótipos
7. Montagem: interface, dispositivos, programação

Este projeto é baseado na utilização de softwares e hardwares livres. São utilizados sistemas operacionais GNU/Linux e a plataforma de hardware Arduino UNO. Existem muitos kits de robótica proprietários no mercado, mas a utilização da metareciclagem e de plataformas de hardware livre permitem uma maior flexibilidade para o projeto, além de um melhor custo benefício [Arduino, 2015].

Para introduzir os participantes no mundo da programação, utiliza-se o *Scratch for Arduino*(S4A), uma linguagem de programação baseada em interface gráfica e o Alice, um ambiente de programação tridimensional de fácil utilização, no qual podem ser criadas animações e interações entre personagens e objetos, que lembra muitos jogos de vídeo games [Alice, 2015], [Scratch, 2015].

As alunas aprendem conceitos de eletricidade e eletrônica, identificação de componentes eletrônicos e montagem de circuitos elétricos na protoboard. Utilizam conceitos de montagem e manutenção de computadores para coletar e catalogar peças que podem ser reaproveitadas para a construção dos projetos a partir de equipamentos que antes iriam para descarte.

3. Resultados Obtidos

O projeto está em fase de andamento, mas já consegue-se perceber uma maior motivação e interesse das alunas envolvidas no projeto em seguirem carreiras de exatas, tecnologias e engenharias. As alunas são incentivadas a participarem de olimpíadas e competições relacionadas à física, matemática e computação, e estão obtendo desempenho satisfatório,

pelo menos se classificando para as próximas etapas, não sendo eliminadas na primeira fase.

No desenvolvimento de um protótipo, as alunas normalmente escolhem uma problemática e tentam resolvê-la, utilizando a robótica, lógica de programação e conceitos de metareciclagem. Para a montagem desses protótipos, a possibilidade de metareciclagem não se limita a equipamentos de informática, aparelhos eletrônicos em geral e brinquedos fora de uso podem ser também aproveitados integralmente ou em partes. A Figura 4 mostra alguns objetos criados com peças de computadores do laboratório que seriam encaminhados para descarte.

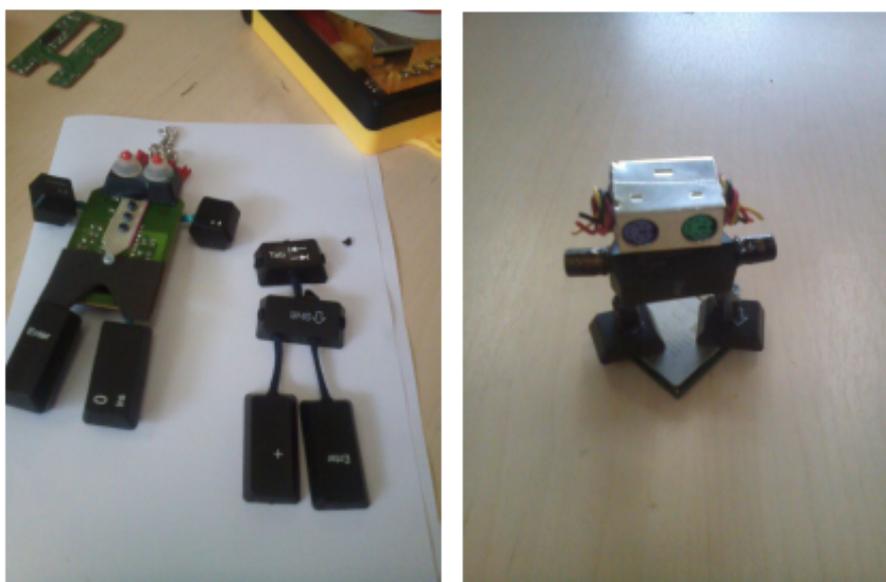


Figure 4. Objetos construídos a partir de peças de descarte eletrônico

Um dos primeiros experimentos realizados com o Arduino foi o do led pisca-pisca, como pode ser visualizado na Figura 5. Em andamento, existem projetos de robôs para identificação de gases nos laboratórios de química e como mecanismo de acessibilidade para pessoas com deficiência visual. Para interação com outros projetos relacionados, as participantes são incentivadas a participarem de eventos bem como em olimpíadas de robótica.

A Figura 6 apresenta um dos protótipos desenvolvidos no projeto, um robô seguidor de linha para utilização em competições de robótica. O objetivo do robô seguidor de linha é o de seguir um percurso pré-determinado, e vence aquele que for mais rápido. Normalmente, o percurso a ser seguido é uma linha que possui cor em contraste com o chão, em geral preto e branco. O robô é totalmente autônomo, não sendo permitido nenhum tipo de influência das alunas na operação do robô, que deve detectar o percurso através dos sensores. Parte do desafio do projeto envolve a programação da lógica para interpretar os sinais recebidos pelos sensores e fazer com que o robô cumpra o percurso de maneira correta, identificando retas, curvas e possíveis desafios do percurso. A participação em eventos de hardware e software livre também é incentivada, e as alunas já apresentaram o projeto em diversos eventos institucionais e nacionais.

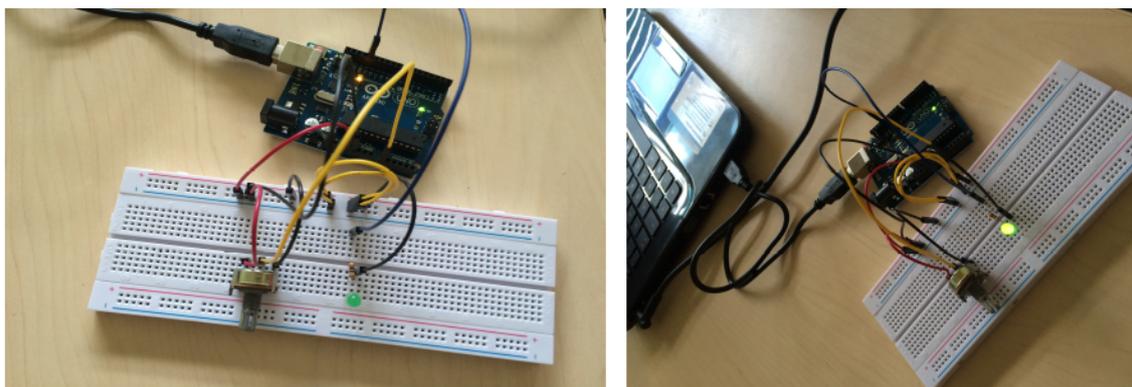


Figure 5. Introdução ao Arduino: led pisca-pisca

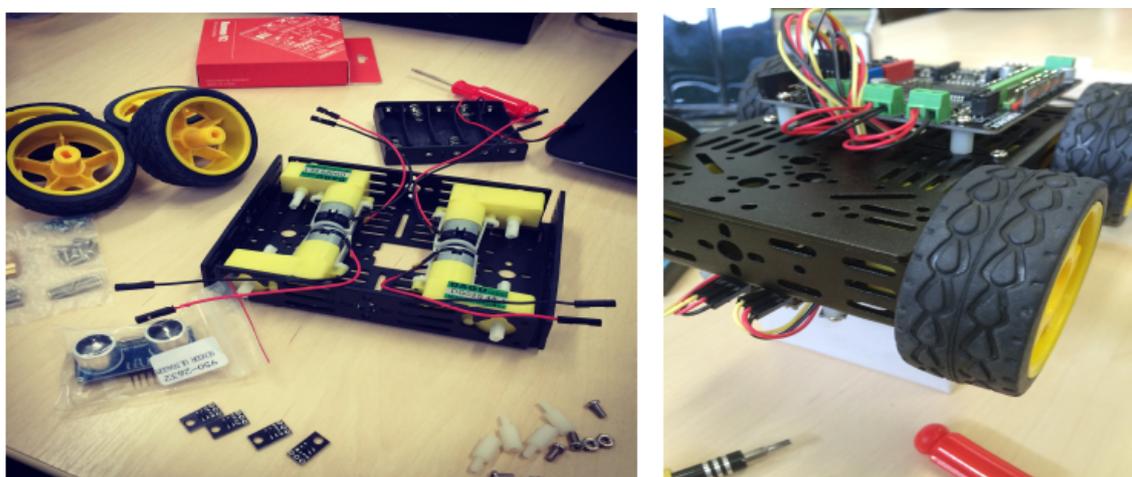


Figure 6. Construção de um robô seguidor de linha

O projeto hoje conta também com uma impressora 3D Prusa Mendel V2 RepRap, também de hardware livre, montada através da aquisição das peças, como pode ser visto na Figura 7. A RepRap é uma Impressora 3D de mesa e de código aberto que tem a capacidade de imprimir objetos plásticos. Como a maioria das peças da RepRap são feitas de plástico e a própria RepRap pode imprimir estas peças, então a RepRap é uma máquina auto-replicável - ou seja, algo que qualquer um pode construir tendo o tempo e os materiais necessários. A impressora foi toda montada em parceria com o Grupo de Pesquisa de Robótica GYNBOT do IFG Campus Goiânia, onde o projeto em andamento é o de criar uma nova impressora 3D, que serão utilizadas na impressão das peças para a construção dos robôs.

4. Conclusões

Muitos estudos focalizam em crenças, valores e atitudes socialmente estabelecidos, que formam estereótipos sobre as habilidades diferenciadas entre homens e mulheres. A quebra desse paradigma de que TI não é para mulheres é fundamental para que uma nova geração de mulheres se sinta motivada a optar por essas áreas.

Através deste projeto que envolve robótica e metareciclagem, as alunas aprendem, com o desafio de dominar os recursos da robótica, a construir seu próprio projeto,

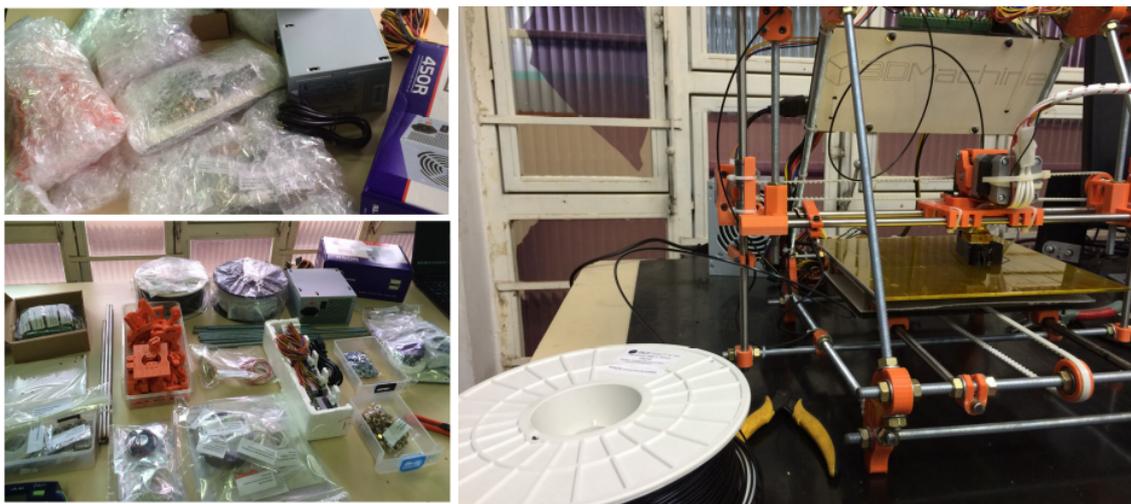


Figure 7. Construção de uma impressora 3D Prusa Mendel V2 RepRap

integrando diversos conteúdos disciplinares, com práticas reais e concretas. Essas alunas desenvolvem uma postura mais ecológica, percebendo que elementos/componentes tidos como lixo podem ser fonte de recursos nos processos de desenvolvimento de novos produtos. Todas as alunas compartilham trabalho, informação e conhecimento, contribuindo para o capital intelectual de todo o grupo.

O projeto, tanto a sua metodologia, quanto seus objetivos, está sendo difundido de acordo com a filosofia do projeto GNU, propondo livre apropriação e desenvolvimento a todos que se interessem, traçando assim um perfil cooperativo e colaborativo.

References

- Alice. *Alice Programming*. Em <http://www.alice.org>. 2015
- Ada. *The Ada initiative*. Em <http://adainitiative.org>. 2015
- Arduino. *Arduino Project*. Em <http://www.arduino.cc>. 2015
- BBC Brasil. *Boneca Barbie celebra 50 anos como Ícone cultural*. Em <http://www.bbc.com/portuguese/topicos/brasil>. 2009
- BENITTI, Fabiane Barreto Vavassori. *Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review*. *Computers & Education*, 58, 978-988. 2012
- PEREIRA, Gabriela Quirino. *O Uso da Robotica Educacional no Ensino Fundamental: relatos de um experimento*. Projeto Final de Curso de Bacharelado em Ciencia da Computacao. Universidade Federal de Goias, Campus Catalao. 2010
- PINTO, Marcos de Castro. *Aplicacao de arquitetura pedagogica em curso de robotica educacional com hardware livre*. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Matematica, Nucleo de Computacao Electronica. 2011
- Portal INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anisio Teixeira). *Porcentagem de mulheres que ingressam e concluem o ensino superior no Brasil*. Em <http://portal.inep.gov.br>. 2015

SANTOS, Christiane Borges, CAVALCANTE, Maria E. G., SILVA, Thamires G., RESENDE, Samantha de F. *Robotica, uma forma ludica de atrair meninas para a tecnologia*. II ERI- Escola Regional de Informática. Goiás. Poster. 2014

S4A. *Scratch for Arduino*. Em <http://s4a.cat>. 2015

Avaliação do Uso de Middleware Baseado em DDS para Disseminação de Dados em Smart Spaces

Marcelo Rodrigues Fortes, Fábio Moreira Costa

Curso de Bacharelado em Ciência da Computação – Universidade Federal de Goiás
(UFG) – Campus Samambaia
Goiânia – GO– Brasil

Marcelorodrigues000@gmail.com, fmc@inf.ufg.br

Abstract. *Recent trends in real-time distributed systems motivated the development of techniques that help manage the delivery of predictable form of information to meet the quality of service (QoS) requirements in heterogeneous environments. A promising approach to building complex systems are distributed middleware platform that follow the paradigm publisher-subscriber communications and implement the DDS data model specified by the OMG. DDS uses the publisher-subscriber communication paradigm, which is interesting for applications such as smart spaces, whose system components are decoupled in time and space. This article discusses the main issues related to the DDS and also presents an implementation of a smart space consists of devices such as smartphones and tablets with Android operating system, which use the DDS to communicate between these devices. They also present the results of experiments made with the implementation built.*

Resumo. *As tendências recentes em sistemas distribuídos de tempo real motivam o desenvolvimento de técnicas que ajudam a gerenciar a entrega da informação de forma previsível, para satisfazer os requisitos de qualidade de serviço (QoS) em ambientes heterogêneos. Uma abordagem promissora para construção de sistemas distribuídos complexos são as plataformas de middleware que seguem o paradigma de comunicação publicador-assinante e implementam o modelo de dados DDS especificado pela OMG. O DDS utiliza o paradigma de comunicação publicador-assinante, que é interessante para aplicações como smart spaces, cujos componentes do sistema estão desacoplados em tempo e espaço. Este artigo discute as principais questões relacionadas ao DDS e apresenta também uma implementação de um smart space composto por dispositivos como smartphones e tablets com sistema operacional Android, onde utilizamos o DDS para fazer a comunicação entre esses dispositivos. Também são apresentados resultados de experimentos feitos com a implementação construída.*

1. Introdução

Middleware é um serviço de propósito geral, que proporciona ao programador API's para facilitar o desenvolvimento de aplicações distribuídas complexas [Xiong, M.,2010]. Esse serviço se encontra entre plataformas e aplicações. Por plataforma, entende-se uma série de serviços de baixo nível e elementos de processamento definidos por uma arquitetura de processador e por interfaces de programação de aplicativos (API's) de sistemas operacionais. Múltiplas implementações diferentes são possíveis, desde que estejam em conformidade com as suas especificações de interface e protocolo.

Existem várias alternativas de paradigmas de comunicação e cada uma delas é utilizada de acordo com o contexto onde se deseja empregá-la. No entanto, neste trabalho será explorado o modelo publicador/assinante (*Publisher/Subscriber*) [Eugster, P. T. 2013]. O esquema de comunicação publicador/assinante é capaz de fornecer uma forma de comunicação que beneficia aplicações onde o acoplamento fraco é uma característica predominante. Assinantes têm a capacidade de manifestar o seu interesse em um evento ou um padrão de eventos e são posteriormente notificados de qualquer evento gerado por um publicador que corresponde ao seu interesse registrado. Um evento é propagado de forma assíncrona para todos os assinantes que registraram interesse em um determinado tópico. A principal característica desse estilo de interação, baseado em eventos, encontra-se na dissociação total em tempo, espaço e sincronização entre publicadores e assinantes.

Smart spaces são sistemas de computação distribuídos, heterogêneos e pervasivos que visam criar um ambiente interativo com sensores, aparelhos de informação e interfaces multimodais [Singh, R., 2006]. Para fazer a comunicação entre esses dispositivos, são utilizadas plataformas de *middleware*, que facilitam a integração desses componentes. Neste trabalho exploramos o uso do *middleware* CoreDX, o qual implementa o modelo de dados DDS [Data distribution service (dds) 2015], para a construção de uma aplicação que executa em dispositivos que compõem um *smart space*. Nessa aplicação dispositivos como *smartphones*, *tablets* e computadores trocam mensagens entre si, simulando a comunicação entre dispositivos de um *smart space*. O objetivo da pesquisa é avaliar o uso do modelo de dados DDS na comunicação entre dispositivos de um *smart space* e verificar se esse modelo de dados atende aos requisitos de interoperabilidade dos dispositivos e escalabilidade desse sistema.

O restante deste artigo está organizado como segue. A próxima seção apresenta os principais conceitos do paradigma de comunicação publicador/assinante. A seção 3 introduz as características do modelo de dados DDS. Na seção 4 fornecemos detalhes da implementação que foi construída. A seção 5 aborda a metodologia utilizada para avaliar o DDS. Os resultados que obtivemos são exibidos na seção 6. Na seção 7 trabalhos relacionados são discutidos. Finalmente, na seção 8, nós introduzimos as considerações finais.

2. Comunicação *Publish/Subscribe*

O desacoplamento em tempo e espaço entre os sistemas finais é a principal característica do paradigma de comunicação publicador/assinante. Nesse paradigma de comunicação

não é necessário que o publicador tenha conhecimento do assinante e vice-versa. Também não há necessidade de que eles estejam ativos simultaneamente para que haja a troca de mensagens, pois o armazenamento e a disseminação dos eventos fica a cargo da infraestrutura publicador/assinante. Esse desacoplamento em tempo e espaço é extremamente útil para dispositivos móveis, pois eles estão frequentemente indisponíveis devido à conexão intermitente, seja pela capacidade limitada da bateria ou pela mobilidade [Oki, B. 1994].

2.1. Esquemas de Registros de Interesse

O paradigma de comunicação publicador/assinante é responsável por fornecer um serviço de entrega de informações entre provedores e consumidores de dados. Um usuário manifesta seu interesse em receber determinados tipos de eventos através da apresentação de um predicado definido no conteúdo dos eventos, chamado de assinatura. Quando um novo evento é gerado e publicado para o sistema, a infraestrutura publicador/assinante entrega esse evento para todos os usuários cujas assinaturas combinam com o evento. Nesta seção apresentaremos uma breve revisão dos principais esquemas de registro de interesse existentes.

Várias são as maneiras para um assinante manifestar interesse em determinados eventos. Os modelos de assinaturas que aparecem na literatura são caracterizados pelo seu poder de expressividade: modelos altamente expressivos oferecem aos assinantes a possibilidade de expressar precisamente o seu interesse, ou seja, receber apenas eventos que são realmente importantes para seu propósito.

Modelo baseado em tópicos: as notificações são agrupadas em tópicos, ou seja, um assinante declara seu interesse em um determinado tópico e receberá todos os eventos relacionados a esse tópico. Cada tópico corresponde a um canal lógico que liga cada publicador a todos os assinantes interessados em seu conteúdo. A diferença entre canal e tópico é que o último é informado dentro de um evento na forma de um atributo especial. Logo, através desta analogia é possível usar multicast ou uma árvore de difusão para disseminar os eventos para os assinantes de cada tópico. Exemplos de sistemas que se enquadram nesta categoria são TIB/RV [Oki, B. 1994], iBus [Altherr, M. 1999] e o Serviço de Notificação CORBA [Object management group: Corba event service specification 2001].

Modelo baseado em conteúdo: assinantes manifestam o seu interesse, especificando condições sobre o conteúdo das notificações que deseja receber. Em outras palavras, um filtro em uma assinatura é uma consulta formada por um conjunto de restrições sobre os valores de atributos da notificação, composta por operadores de disjunção ou conjunção. As restrições dependem do tipo de atributo e da linguagem da assinatura. A maioria das linguagens de assinatura compreendem operadores de igualdade e de comparação, bem como expressões regulares [Carzaniga, A. 2001]. Neste modelo de assinatura os eventos não são classificados de acordo com critérios predefinidos (isto é, o nome do assunto), mas de acordo com as propriedades dos eventos. Como consequência, há um consumo maior de recursos do sistema para fazer o cálculo do conjunto de assinantes que estão interessados em um determinado tópico.

2.2. Modelos de Arquitetura

O serviço de notificação de um sistema publicador/assinante pode seguir uma abordagem centralizada [Segall, B. 2000]. Nessa abordagem, o sistema é composto apenas por um elemento central (*Broker*), que é responsável por determinar para quais assinantes um evento publicado deve ser enviado. Um sistema que representa essa categoria é o SIFT (*Information Dissemination System*) [Yan, T. 1999]. Em outra abordagem, adotada em [Rowstron, A. 2001 e Zhuang, S. Q. 2001] um modelo totalmente descentralizado *peer-to-peer* é adotado, onde cada nó participante tem responsabilidades iguais. Nesta abordagem não há a necessidade de um elemento central (*broker*) para fazer a comunicação entre publicadores e assinantes, pois toda implementação necessária para o envio e recebimento de mensagens de maneira não bloqueante é feita nos próprios publicadores e assinantes. Outra arquitetura é a chamada rede de *brokers*, que é uma rede de servidores especiais. Nessa abordagem, cada *broker* provê o serviço publicador/assinante para parte dos clientes que compõem o sistema.

3. Data Distribution Service (DDS)

A especificação DDS descreve um modelo de dados centralizado para a comunicação e integração de aplicações distribuídas cujo conceito foi padronizado e é atualmente gerido pelo *Object Management Group (OMG)* [Data distribution service (dds) 2015]. Essa especificação define API's e semânticas de comunicação que permitem a entrega eficiente de informações de publicadores aos seus assinantes correspondentes. Uma aplicação distribuída é composta de provedores e consumidores de dados, cada um potencialmente executando em um espaço de endereçamento diferente, possivelmente em computadores diferentes. Uma aplicação pode assumir simultaneamente os papéis de provedor e consumidor de dados [Xiong, M. 2010]. Para um sistema com proporções menores a integração ponto a ponto é considerada administrável, porém quando o sistema cresce, cada novo componente pode ter muitas interações e isso torna-se difícil de controlar.

A complexidade de integração também introduz riscos. Cada interação individual de um elemento do sistema introduz uma dependência. Uma integração ponto-a-ponto não oferece uma maneira explícita de entender essas dependências, pois comportamentos imprevistos podem ocorrer. Em vez de utilizar técnicas ponto-a-ponto, o DDS emprega um modelo de integração de dados centralizados para aplicações desacopladas. Esse modelo de dados centralizado é apenas uma visão lógica, pois a implementação na verdade, é distribuída. Cada elemento do sistema possui todas as informações necessárias para comunicar-se com todos os outros elementos do sistema. Neste modelo os componentes do sistema não necessitam de conhecimento um do outro,

mas apenas dos dados que eles trocam. Cada implementação DDS pode interagir com qualquer outro tipo de sistema DDS. O protocolo utilizado é padronizado, garantindo que sistemas de *software* que utilizam diferentes produtos DDS possam comunicar e trocar dados entre si.

O DDS tem a capacidade de adequar o comportamento de comunicação pois a qualidade de serviço (QoS) permite ao usuário configurar mais de 22 itens distintos do comportamento da comunicação, fornecendo controle refinado para atender às necessidades da aplicação. Por exemplo: requisitos de confiabilidade, de armazenamento, de apresentação, de filtragem e redundância de dados. Interações com outros serviços ou aplicações são independentes de falhas nos serviços de rede, o que significa que estão sempre disponíveis para os usuários, pois os dados são armazenados em cache pelo publicador até que todos os assinantes recebam a informação, caso essa funcionalidade seja configurada através das políticas de qualidade de serviço. Por isso, mesmo que a rede não esteja disponível a informação não é perdida.

Outra importante característica dos sistemas que usam DDS é o suporte à descoberta dinâmica, que permite a adição de aplicações ao sistema e automaticamente descobrir publicações de seu interesse e, conseqüentemente, receber essas informações. Essa integração é feita em tempo de execução [Data distribution service (dds) 2015]. O modelo global de dados do DDS consiste nas seguintes entidades: *DomainParticipant*, *DataWriter*, *DataReader*, *Publisher*, *Subscriber* e *Topic*. Publicadores representam os objetos responsáveis pela emissão de dados. Um publicador pode publicar tipos diferentes de dados. Participantes utilizam *datawriter(s)* para publicarem eventos. É responsabilidade dos publicadores determinarem quando é apropriado enviar as mensagens, de acordo com suas políticas de QoS ligadas ao *datawriter* correspondente.

Um assinante recebe dados publicados e os torna disponíveis para os participantes. Para acessar os dados recebidos o participante deve usar um *datareader* ligado ao assinante. A associação de um objeto *datawriter* (representando uma publicação) com objetos do tipo *datareader* (representando assinaturas) é feita por meio de um tópico. Um tópico associa um nome (único no sistema), um tipo de dados, e parâmetros de QoS relacionados com os próprios dados.

4 Implementação

O sistema aqui apresentado é uma implementação que simula um *smart space* composto por um servidor e por vários clientes, como mostra a Figura 1. A aplicação que roda nos clientes foi construída para *smartphones* e *tablets* com sistema operacional Android. O servidor consiste em uma aplicação que roda em um *desktop* e é compatível com qualquer sistema operacional, desde que uma máquina virtual Java esteja instalada. Para a construção do sistema foi utilizada a linguagem Java.

Uma característica importante dos *smart spaces* é que a interação com o sistema acontece de uma forma mais natural, onde o ambiente é capaz de reconhecer e responder à presença de indivíduos e dispositivos, de forma transparente e discreta. Com

essa finalidade, utilizamos tags NFC (*Near Field Communication*) para simular a detecção do dispositivo pelo *smart space*. Ou seja, as *tags* são utilizadas para delimitar o espaço físico, pois o fato de o dispositivo detectar a tag pode ser interpretado como a entrada dele no espaço formado pelo *smart space*.

Toda a comunicação entre os componentes do sistema é feita através de um único tópico, composto por uma string e, um único domínio. Nós utilizamos a política de qualidade de serviço *reliability*, que configura o nível de confiabilidade que o CoreDX garante para comunicações entre *datareaders* e *datawriters*. Essa qualidade de serviço foi utilizada com a configuração *best effort*. Dessa forma o CoreDX fará o melhor esforço para entregar os dados publicados, mas não há garantia de que todos os dados serão recebidos por todos *datareaders*. O servidor da aplicação funciona como um assinante, recebendo e processando todas as publicações oriundas dos clientes. Os clientes que compõem o sistema, desempenham o papel de publicadores. Ao se aproximar de uma *tag* NFC, a aplicação que executa no cliente a detecta e publica um evento como forma de anunciar sua entrada no *smart space*. Ao receber esse evento, o servidor processa a informação e responde com uma mensagem de confirmação para o cliente. Assim a aplicação cliente pode ter certeza de que o servidor recebeu o evento que foi publicado para anunciar a entrada do dispositivo no *smart space*.

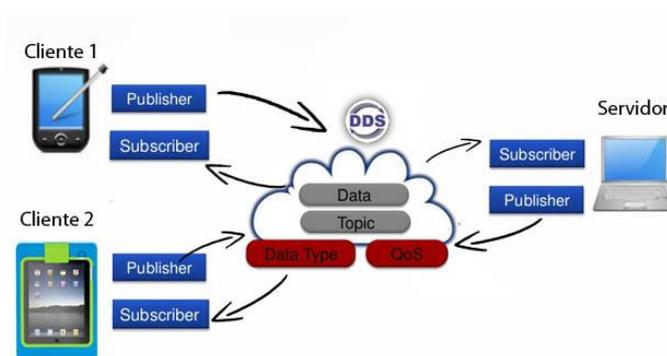


Figura 1. Descrição em alto nível da arquitetura do sistema.

5. Metodologia de Avaliação

Para realizar a avaliação foi utilizada a implementação descrita na seção 4. Através da construção deste sistema, foram realizados os experimentos cujos resultados serão apresentados na seção seguinte.

O ambiente montado para execução dos experimentos consiste em 2 computadores (sendo que um desses computadores é utilizado para simular os processos dos clientes), 1 switch DELL 6248P e 1 roteador MKBR100. Cada um dos dois computadores têm um processador AMD phenom, 4GB de RAM, 320 GB de HD e 2 Interfaces independentes de rede. O sistema operacional que executa nos computadores é o Ubuntu versão 14.04, 64 bits. A plataforma de *middleware* utilizada para os testes é o CoreDX DDS versão 3.6.21.

Os computadores foram utilizados para instanciar os processos dos clientes e do servidor, respectivamente. Para avaliar a aplicação, medimos a latência e a vazão do sistema, variando o número de publicadores e assinantes (primeiro para 1 publicador e 1 assinante, depois 6 publicadores e 6 assinantes). O experimento referente à vazão foi executado tanto para a rede cabeada quanto para a rede sem fio, com o intuito de comparar a vazão do DDS nessas duas tecnologias de comunicação. O experimento referente à latência foi executado apenas para a rede sem fio e, o objetivo desse experimento é saber qual o comportamento do DDS diante do aumento de componentes do sistema. Nos gráficos da seção seguinte cada par publicador/assinante é representado por $dds(n)$, onde n é o identificador de cada par. Para cada um desses pares foi criado um domínio exclusivo para realizar a comunicação entre ambos, com o objetivo de facilitar a captura dos resultados. As métricas utilizadas para a avaliação de desempenho do sistema são descritas a seguir:

- **Latência:** o tempo gasto para que um pacote de dados vá de um ponto designado para o outro. Por vezes, é a medida do tempo necessário para que um pacote de resposta seja enviado de volta para o remetente. No caso deste trabalho, a latência foi calculada como sendo o tempo gasto para que uma mensagem fosse publicada para o servidor e, uma resposta enviada pelo servidor fosse recebida de volta. Neste experimento, a latência de ida e volta é calculada como o valor médio de 100 medições.
- **Vazão:** é definida como o número total de *bytes* recebidos pelo servidor, por unidade de tempo.

6. Resultados

Para avaliar o desempenho do sistema realizamos experimentos de vazão e também de latência com diferentes quantidades de publicadores e assinantes. O gráfico mostrado na Figura 3 mostra que o valor da latência não sofreu alterações significativas mesmo com o aumento do tamanho das mensagens. A figura 4 mostra que, mesmo com o acréscimo de componentes do sistema e também com o aumento do tamanho das mensagens, o resultado da latência não sofreu grandes alterações, se mantendo em torno de 29 ms. Existem muitas razões para os resultados obtidos nos testes, uma delas é o fato de sistemas baseados em DDS reduzirem significativamente a sobrecarga necessária para enviar dados através da rede em comparação com a arquitetura cliente-servidor e também pelo fato dos componentes do sistema estarem todos na mesma rede local.

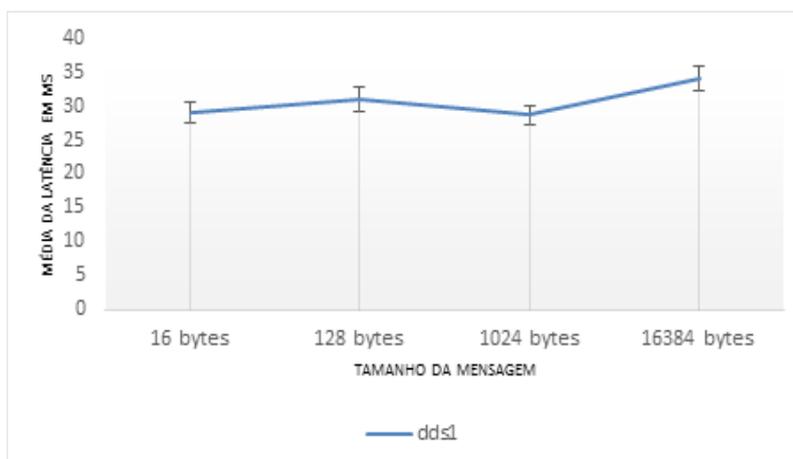


Figura 3. Latência: 1 publicador - 1 assinante

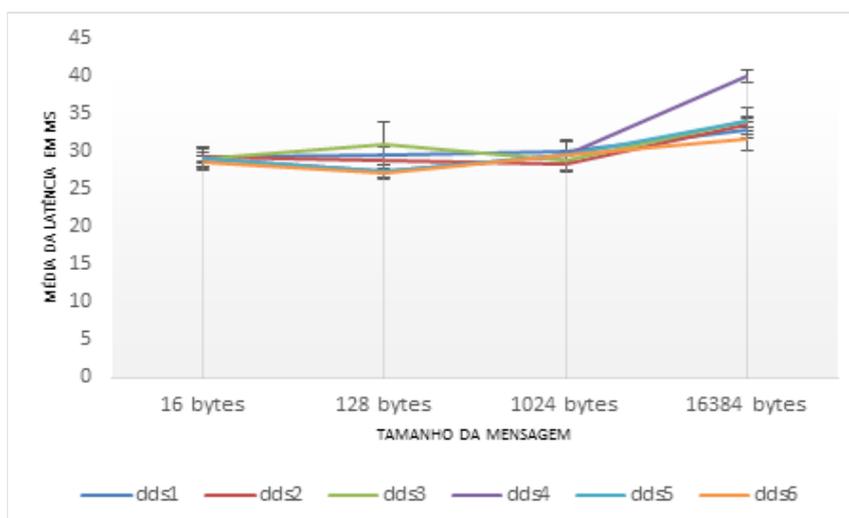


Figura 4. Latência: 6 publicadores - 6 assinantes.

O experimento referente à vazão do sistema mede a quantidade de mensagens recebidas pelo servidor em um determinado intervalo de tempo. Para realizar este experimento, detectamos qual era a vazão máxima do DDS no ambiente em que os experimentos foram realizados (cerca de 180 mensagens por segundo). Então, variamos a quantidade de publicadores e assinantes, assim como o tamanho das mensagens, para avaliarmos o comportamento do DDS.

Nota-se, a partir da Figura 5, que a taxa de transferência não sofreu alterações significativas mesmo com o aumento no número de participantes ativos. No entanto, há uma queda da vazão para mensagens maiores de 1024 bytes. O gráfico representado pela Figura 6 mostra a diferença entre a vazão do DDS em uma rede sem fio comparada com sua vazão em uma rede cabeada. É possível notar que a vazão na rede cabeada é cerca de duas vezes maior que a vazão na rede sem fio. As principais razões para esse

problema são o uso extensivo de IP multicast em domínios DDS e a falta de mecanismos adequados para lidar com conectividade intermitente.

Em nossos experimentos consideramos no máximo 6 publicadores e 6 assinantes. Porém, em aplicações práticas esse número possui proporções muito maiores. Essa limitação ocorreu por conta do número limitado de máquinas que usamos em nossas experiências.

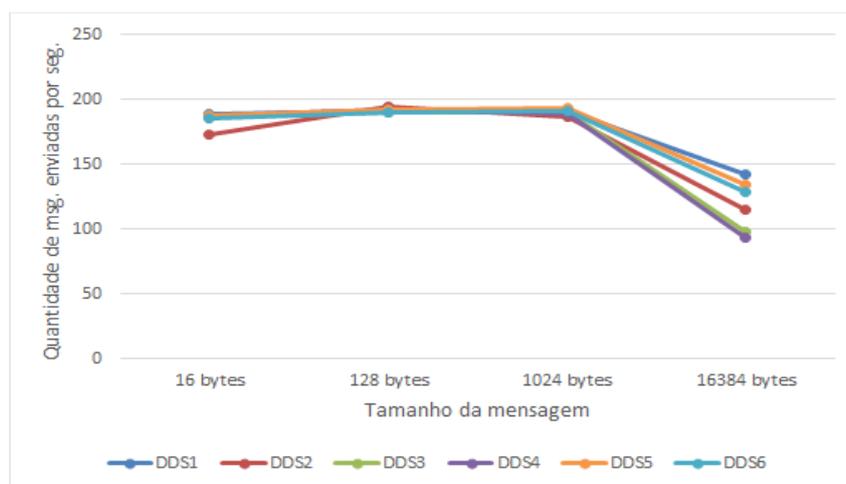


Figura 5. Vazão: 6 publicadores - 6 assinantes

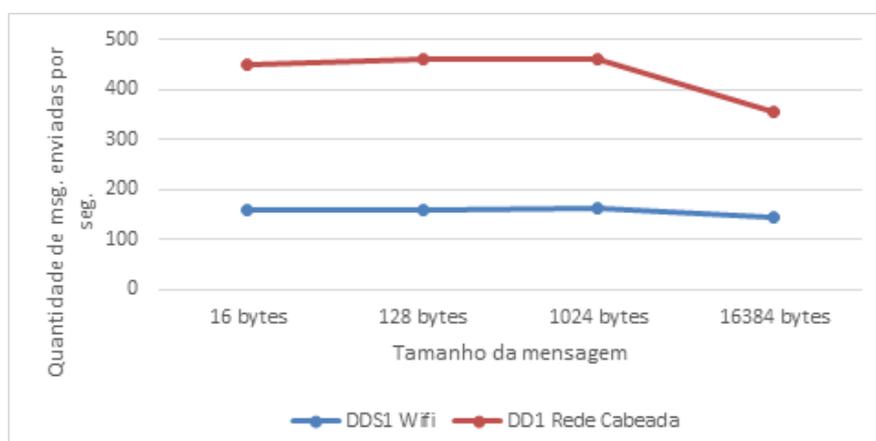


Figura 6. Vazão: 1 publicador - 1 assinante

7. Trabalhos Relacionados

Em [Talavera, L. E], [David, L. 2013] e [de Souza] são apresentadas aplicações que usam como substrato de *middleware* o sistema *Scalable Data Distribution Layer* (SDDL). Em

[Talavera, L. E] os autores mostram como detectar dispositivos em co-movimento através dos seus sensores de acelerômetro. Os dispositivos enviam os dados de seu acelerômetro via bluetooth para um *smartphone*, que processa essa informação e depois envia para um servidor central através de sua conexão com a Internet. Em [de Souza] um protocolo é proposto para coordenação de um conjunto de UAVs (Veículos Aéreos não Tripulados) equipados com câmeras, para o uso de vigilância e segurança pública durante eventos de massa. Em [David, L. 2013] uma aplicação de rastreamento de frota utilizando SDDL é apresentada. O *middleware* utilizado nesses trabalhos citados acima também utiliza o DDS como protocolo de comunicação. Porém, diferentemente do *middleware* utilizado em nosso trabalho, o SDDL implementa outro protocolo de comunicação além do DDS, que é o MR-UDP.

Em [Al-Madani 2014] foi introduzida uma avaliação de desempenho para transmissão de vídeo através de LAN, usando o DDS. A aplicação apresentada em [ALMADANI, B 2014], assim como nosso trabalho, utiliza *tags* NFC para a detecção de novos integrantes do sistema. Porém, além de NFC, RFID também é utilizado como forma de detectar novos integrantes. Em [Sanchez-Monedero 2011] e [An, K., Gokhale 2015] melhorias no protocolo de descoberta do DDS são propostas para aumentar a escalabilidade do sistema em ambientes de larga escala. No presente trabalho, assim como nos trabalhos citados acima, nós utilizamos o DDS para realizar a comunicação entre dispositivos. Porém, em nosso trabalho, visamos a avaliação do comportamento do DDS em um ambiente ubíquo, especificamente em um *smart space* e, destacar suas principais vantagens e desvantagens.

8. Conclusão

Este trabalho avaliou o uso de uma plataforma de *middleware*, que implementa o modelo de dados DDS, para fazer a comunicação entre elementos que compõem um *smart space*. Esse tipo de ambiente envolve troca de parâmetros de controle simples e estados do sistema, exigindo taxas de dados relativamente baixas e latência previsível. *Middlewares* baseados em DDS realizam a comunicação e integração de aplicações distribuídas, abstraindo a heterogeneidade dos componentes do sistema e garantindo a entrega confiável e previsível dos dados.

Os resultados dos experimentos mostraram que a vazão do sistema implementado usando DDS se manteve estável para mensagens menores que 1024 bytes. Também é possível observar que a latência não sofreu alterações significativas, mesmo com a adição de publicadores e assinantes ao sistema.

Portanto o uso do DDS em smart spaces é interessante, visto que, ele lida bem com conectividade intermitente, é leve, extensível e possui suporte para plataformas e linguagens de programação heterogêneas.

9. Referências

Rowstron, A., Kermarrec, A. M., Castro, M., & Druschel, P. (2001). SCRIBE: The design of a large-scale event notification infrastructure. In *Networked group communication* (pp. 30-43). Springer Berlin Heidelberg.

- Al-Madani, B., Al-Roubaiey, A., & Baig, Z. A. (2014). Real-time QoS-aware video streaming: a comparative and experimental study. *Advances in Multimedia*, 2014, 1.
- Almadani, B.; Khan, S.; Sheltamani, T. R.; Shakshuki, E. M.; Musaddiq, M.; Saeed, B. Automatic vehicle location and monitoring system based on data distribution service. *Procedia computer science*, 37:127–134, 2014.
- Altherr, M., Erzberger, M., & Maffeis, S. (1999, October). iBus-a software bus middleware for the Java platform. In *Proceedings of the International Workshop on Reliable Middleware Systems* (pp. 43-53).
- An, K., Gokhale, A., Schmidt, D., Tambe, S., Pazandak, P., & Pardo-Castellote, G. (2014, May). Content-based filtering discovery protocol (CFDP): scalable and efficient OMG DDS discovery protocol. In *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems* (pp. 130-141). ACM.
- Segall, B., Arnold, D., Boot, J., Henderson, M., & Phelps, T. (2000, June). Content based routing with elvin4. In *Proceedings AUUG2k*.
- Almadani, B., Bajwa, M. N., Yang, S. H., & Saif, A. W. A. (2015). Performance Evaluation of DDS-Based Middleware over Wireless Channel for Reconfigurable Manufacturing Systems. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015.
- Carzaniga, A., Rosenblum, D. S., & Wolf, A. L. (2001). Design and evaluation of a wide-area event notification service. *ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)*, 19(3), 332-383.
- Data distribution service (dds). Disponível: <http://www.omg.org/spec/DDS/1.4/PDF>. Acesso: Novembro/2015
- David, L., Vasconcelos, R., Alves, L., André, R., & Endler, M. (2013). A DDS-based middleware for scalable tracking, communication and collaboration of mobile nodes. *Journal of Internet Services and Applications*, 4(1), 1-15.
- de Souza, B. J. O., & Endler, M. Coordinating Movement within Swarms of UAVs through Mobile Networks.
- Eugster, P. T., Felber, P. A., Guerraoui, R., & Kermarrec, A. M. (2003). The many faces of publish/subscribe. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35(2), 114-131.
- Yan, T. W., & Garcia-Molina, H. (1999). The SIFT information dissemination system. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, 24(4), 529-565.
- Talavera, L. E., Endler, M., Vasconcelos, I., Vasconcelos, R., Cunha, M., & Silva, F. (2014). The Mobile Hub Concept: Enabling applications for the Internet of Mobile Things. *Monografias em Ciência da Computação*, nr, 1200, 04-14.

- Xiong, M., Parsons, J., Edmondson, J., Nguyen, H., & Schmidt, D. C. (2010). Evaluating the performance of publish/subscribe platforms for information management in distributed real-time and embedded systems. *omgwiki.org/dds*.
- Object management group: Corba event service specification. OMG Document formal, 1, 2001. Disponível: <http://www.omg.org/>. Acesso: Novembro/2015
- Oki, B., Pfluegl, M., Siegel, A., & Skeen, D. (1994, January). The Information Bus: an architecture for extensible distributed systems. In *ACM SIGOPS Operating Systems Review* (Vol. 27, No. 5, pp. 58-68). ACM.
- de Souza, B. J. O., & Endler, M. (2015). Coordinating Movement within Swarms of UAVs through Mobile Networks.
- Zhuang, S. Q., Zhao, B. Y., Joseph, A. D., Katz, R. H., & Kubiawicz, J. D. (2001, January). Bayeux: An architecture for scalable and fault-tolerant wide-area data dissemination. In *Proceedings of the 11th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video* (pp. 11-20). ACM.
- Sanchez-Monedero, J., Povedano-Molina, J., Lopez-Vega, J. M., & Lopez-Soler, J. M. (2011). Bloom filter-based discovery protocol for DDS middleware. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 71(10), 1305-1317.
- Singh, R., Bhargava, P., & Kain, S. (2006). State of the art smart spaces: application models and software infrastructure. *Ubiquity*, 2006(September), 7.
- Talavera, L. E., Endler, M., & da Silva, F. S. Demo Abstract: Monitoring Co-Movement of Smart Objects using Accelerometer Data.
- Xu, B., Linderman, M., Madria, S., & Wolfson, O. (2010, October). A Tactical Information Management Middleware for Resource-constrained Mobile P2P Networks. In *Reliable Distributed Systems, 2010 29th IEEE Symposium on* (pp. 303-307). IEEE.

Uma Revisão Sistemática sobre Pesquisas em Ontologias no Contexto do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação

Maickon Assunção da Silva, Taciana Novo Kudo, Renato de Freitas Bulcão Neto

Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 - 74.690-900 – Goiânia – GO – Brasil

maickonsilva@inf.ufg.br, taciana@inf.ufg.br, renato@inf.ufg.br

***Abstract.** The growing number of available unstructured data, produced by an increasing number of different sources, makes the recovery and sharing data tasks, information and knowledge become increasingly difficult to be performed by humans and mostly by machines. For this reason, many studies have backed the use of ontologies as a solution to this problem. In this paper we present an investigation about the state of the art of researches on Ontologies in the Brazilian context. For this, we performed a systematic review of literature on the papers published in the Brazilian Symposium on Information System in the last eight years in order to map the state of art in that context.*

***Resumo.** O crescente número de dados disponíveis de forma desestruturada e produzidos por uma quantidade cada vez maior de fontes diferentes, faz com que as tarefas de recuperação e compartilhamento de dados, informações e conhecimento se tornem cada vez mais difíceis de serem executadas por seres humanos e principalmente por máquinas. Nesse sentido, muitos estudos têm voltado à atenção para o uso de Ontologias como solução para este problema. Neste trabalho apresentamos uma investigação sobre o estado da arte das pesquisas em Ontologias no contexto brasileiro. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre os trabalhos publicados no Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação nos últimos oito anos com o objetivo de mapear o estado da arte no tema e âmbito citados.*

1. Introdução

A cada dia, o aumento exponencial na produção e a disponibilização de dados de forma desestruturada, provenientes de diferentes fontes e referentes aos mais diversos assuntos, têm representado um grande problema quando se trata da recuperação e compartilhamento destes dados e também de conhecimento. Assim, a demanda pela informação organizada tem motivado inúmeras pesquisas com a finalidade de sistematizar a informação, assegurando que dados, informações e conhecimento sejam produzidos, processados, disseminados e recuperados por seres humanos e máquinas, de forma cada vez mais fácil, rápida e confiável.

Neste cenário, as ontologias têm sido estudadas como uma solução para organizar e sistematizar a informação. Uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada [Borst 1997]. Especificação formal quer dizer algo que é legível para os computadores, explícita são os conceitos, propriedades, relações, funções, restrições e axiomas explicitamente definidos, conceitualização representa um modelo abstrato de algum fenômeno do mundo real e compartilhada significa conhecimento consensual. Assim, as ontologias têm a tarefa fundamental de representar o conhecimento de um determinado domínio, como

biologia, direito, educação etc, através da estruturação e definição explícita de seus conceitos e relacionamentos entre estes, através de linguagens lógicas e processáveis por computadores, organizando a informação, garantindo a semântica dos termos e permitindo a manipulação de conhecimento por computadores.

O objetivo deste trabalho é analisar o estado da arte das pesquisas em ontologias no contexto brasileiro, a partir da análise dos trabalhos completos produzidos no tema citado, a fim de identificar informações a respeito dos principais usos de ontologias, dos principais métodos de avaliação utilizados, os domínios de aplicação e as principais questões de pesquisa em aberto descritas nos trabalhos.

A metodologia utilizada para se alcançar este objetivo foi um processo de revisão sistemática da literatura [Kitchenham 2004] que consiste em um estudo de um conjunto de artigos retornados de bases de pesquisa guiado por um protocolo de revisão sistemática. Os trabalhos utilizados como referencial para o desenvolvimento desta revisão são artigos completos que descrevem o uso de ontologias publicados no Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI), por se tratar da maior conferência sobre a área de Sistemas de Informação no Brasil.

Este artigo está assim organizado: a Seção 2 descreve o método de revisão sistemática adotado neste trabalho, desde a definição de seu protocolo até a fase de extração de dados; a Seção 3 apresenta a análise dos resultados obtidos dessa revisão; e a Seção 4 faz uma síntese das contribuições e de trabalhos futuros desta pesquisa.

2. Metodologia

Uma revisão sistemática é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema [Sampaio 2007]. É uma forma de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas que foram encontradas e definidas como relevantes para uma determinada questão de pesquisa, área temática, ou fenômeno de interesse. Neste trabalho, o objetivo da revisão sistemática foi levantar os dados sobre o estado da arte das pesquisas em ontologias no Brasil, o qual teve como referencial o trabalho de [Kitchenham 2004], que sugere um processo dividido em cinco fases, são elas:

- **Planejamento:** fase em que é elaborado o protocolo de revisão sistemática que norteia todo o processo de revisão, definindo as questões de pesquisa, os tipos de trabalhos a serem pesquisados, os filtros a serem aplicados nas buscas pelos trabalhos, as fontes de pesquisa que reúnem as publicações sobre o tema definido, dentre outros¹;
- **Execução:** execução das strings de busca nas bibliotecas digitais selecionadas para a aquisição dos artigos e documentação dos resultados obtidos em uma planilha;
- **Seleção:** leitura de metadados como título e resumo dos artigos coletados na etapa anterior, executando os critérios de exclusão definidos no protocolo e identificando na planilha os trabalhos que foram excluídos;
- **Extração:** leitura na íntegra dos artigos selecionados na etapa anterior e execução dos critérios de exclusão, restando apenas os artigos relevantes para a obtenção dos dados que responderão às questões de pesquisa definidas no protocolo;
- **Análise e Conclusão:** produção de gráficos, dados estatísticos e conclusões acerca dos dados dos artigos considerados relevantes na etapa anterior.

¹ Para mais detalhes sobre o protocolo deste trabalho acesse:
https://docs.google.com/document/d/1phUiOTsr4A_yTp7b-FZnLqb0wtx-BqNqPMnYUpoNOYk

2.1 Fase de Execução

Nesta fase do processo de revisão sistemática os trabalhos a serem utilizados no processo de revisão foram buscados na fonte de pesquisa definida no protocolo. Diferentemente do método adotado por [Kitchenham 2004] em que se utiliza *strings* de busca sobre fontes de pesquisa, neste trabalho, os artigos utilizados foram reutilizados de parte de um outro processo de revisão sistemática² desenvolvido pelos autores deste trabalho, em que se analisa o estado da arte de pesquisas em Sistemas de Informação Inteligentes no contexto brasileiro, considerando trabalhos publicados no SBSI, entre os anos de 2008 e 2015, presentes na Biblioteca Digital Brasileira de Computação (BDBComp).

A decisão de buscar os trabalhos relevantes para esta revisão entre os trabalhos utilizados na revisão executada anteriormente partiu do fato de que o tópico SI Inteligentes engloba, além de outras teorias da Inteligência Artificial, como Mineração de Dados, Agentes Inteligentes e Algoritmos Genéticos, também inclui as ontologias. Logo, os trabalhos relevantes a esta pesquisa estão entre os trabalhos utilizados na pesquisa anterior, não sendo necessário o trabalho de executar novamente *strings* de busca na BDBComp. Entre os produtos gerados pela revisão sistemática executada anteriormente, obtivemos uma planilha com um total de 79 artigos (Figura 1), todos com seus respectivos dados compilados do sistema JEMS, como ano de publicação, título, resumo, autores e tópico, sendo este último referente a SI Inteligentes. Estes artigos foram utilizados para a execução da próxima etapa desta revisão.

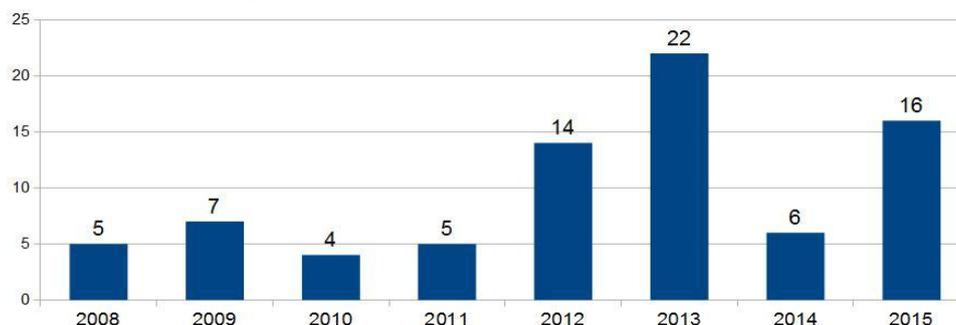


Figura 1. Fase de Execução: Artigos classificados com o tópico SI Inteligentes agrupados por ano de publicação.

2.2 Fase de Seleção

Após a obtenção dos trabalhos publicados no evento SBSI, oriundos da biblioteca digital BDBComp, publicados entre os anos de 2008 e 2015 e classificados com o tópico SI Inteligentes, a partir da leitura do título e resumo dos artigos retornados, foram aplicados os critérios de exclusão definidos no protocolo para a seleção dos artigos relevantes para este trabalho. Dos 79 artigos obtidos, 54 (68,3%) foram eliminados nesta etapa, todos pelo mesmo critério de exclusão que se refere a eliminação de trabalhos que não são relacionados com o tema ontologias em SI. Os 25 artigos restantes cujo tópico de interesse estava relacionado a ontologias seguiram para a próxima fase desta revisão sistemática.

² Detalhes do protocolo de revisão citado e a lista completa dos artigos relevantes são encontrados em <https://drive.google.com/open?id=1KOqf7b3LyTb-UYsWm1k-y9PyvtzeBYDXZex9EUDKHiA> e https://docs.google.com/spreadsheets/d/1OnddXZCg7u1RDD97MpkjhUsWvncT_Ej8MEK9xLF-Pfc

2.3 Fase de Extração

Para a execução da fase de extração, os 25 artigos foram lidos na íntegra e confrontados com os critérios de exclusão. Após a execução desses critérios, nenhum trabalho foi eliminado nesta fase. Isto se deve principalmente pelo fato de que 3 dos 4 critérios de exclusão definidos para esta revisão serem os mesmos utilizados no outro processo de revisão sistemática que serviu de base para este, e de onde obtivemos os artigos utilizados nesta revisão pré-filtrados com esses critérios.

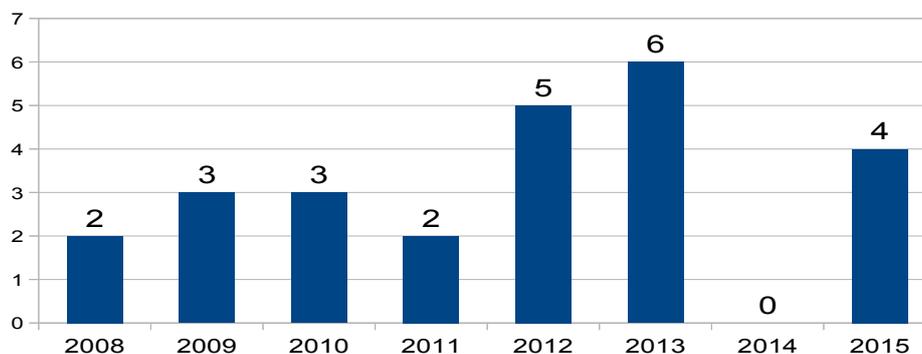


Figura 2. Fase de Extração: artigos relevantes à pesquisa agrupados por ano de publicação.

Portanto, após esta fase, é possível concluir que dos 79 artigos obtidos inicialmente oriundos da base BDBComp, 54 (68,3%) deles foram eliminados sob a execução dos critérios de exclusão definidos, restando um total de 25 (31,7%) trabalhos relevantes sobre ontologias no contexto do SBSI, publicados entre 2008 e 2015, considerando o protocolo de revisão sistemática adotado neste trabalho, e que serão utilizados para responder às questões de pesquisa definidas no protocolo. A distribuição desses 25 artigos ao longo do período considerado é exibida na Figura 2.

3. Resultados da Revisão

Após a fase de extração foram identificados 25 artigos relevantes a este trabalho, de acordo com o protocolo de revisão. A análise detalhada destes trabalhos permitiu responder as questões de pesquisa definidas no protocolo, contribuindo com um panorama sobre o estado da arte das pesquisas sobre ontologias no contexto do SBSI. Como resultado desta pesquisa, nesta seção é apresentada a análise realizada sobre os trabalhos relevantes, onde as questões de pesquisa são respondidas.

3.1 Análise da Revisão

A partir da leitura e extração dos dados relevantes dos artigos incluídos nesta revisão, foi possível representar a evolução das pesquisas relacionadas ao tema de ontologias, e as principais instituições responsáveis por esta evolução.

Nas primeiras quatro edições do evento realizadas entre os anos de 2008 e 2011, consideradas por este trabalho, foram identificados 10 trabalhos (40%) incluídos nesta revisão. Já entre os anos de 2012 e 2015 (nas últimas 4 edições do evento), mesmo com a ausência de artigos no tema de interesse desta pesquisa publicados no ano de 2014, este número aumentou (vide Figura 3) sendo identificados 15 trabalhos (60%), revelando assim um interesse contínuo no tema citado no Brasil.

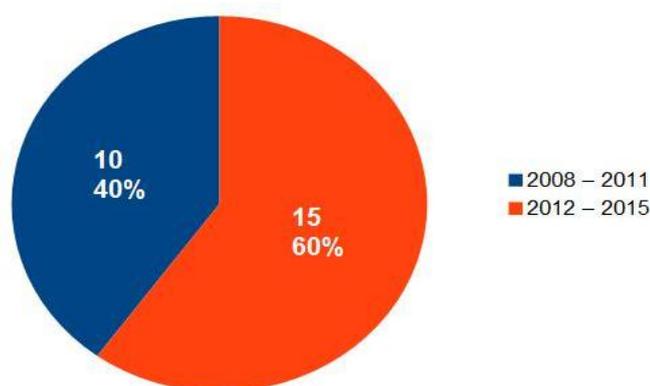


Figura 3. Artigos relevantes à pesquisa classificados por ano de publicação agrupados em dois quadriênios.

Em relação às instituições que desenvolveram os trabalhos utilizados nesta revisão, verificou-se que houve participação de 16 instituições entre universidades federais e estaduais. Considerando que alguns trabalhos foram desenvolvidos em parceria entre autores de duas ou mais instituições, entre os anos de 2008 e 2011, houve trabalhos oriundos de 8 instituições. Este número subiu para 16 entre os anos de 2012 e 2015, o que significa crescente interesse das instituições brasileiras no desenvolvimento de trabalhos e pesquisas no tema abordado nesta pesquisa.

No entanto, mais da metade destes trabalhos (56%) são desenvolvidos por apenas 5 universidades brasileiras, a saber: Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV). Estas instituições sustentam grande parte dos trabalhos incluídos nesta pesquisa (Figura 4) e são as principais responsáveis pela evolução nos últimos anos das pesquisas em ontologias no Brasil.

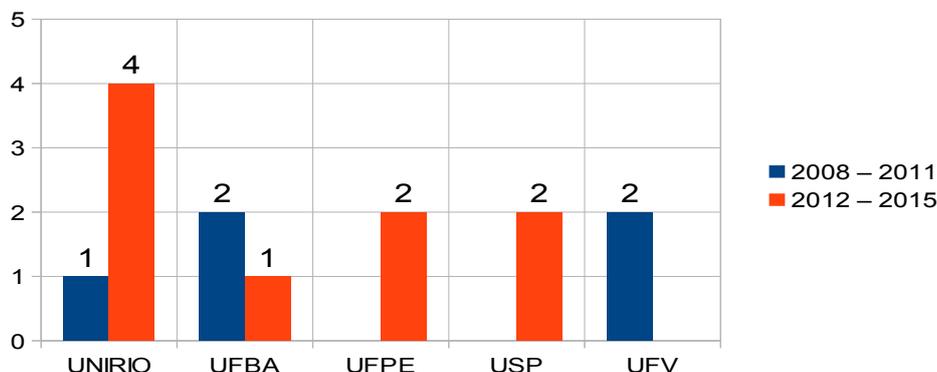


Figura 4. Universidades que mais publicaram artigos relevantes à pesquisa agrupados por dois quadriênios.

3.2 Questões de Pesquisa

De acordo com o estudo realizado, apresentamos nesta seção as questões de pesquisa definidas no protocolo e o mapeamento de dados em relação aos trabalhos revisados. Destacamos que todos os trabalhos relevantes abordaram todas as questões de pesquisa, com exceção da questão de pesquisa 2 (QP2) do protocolo, que foi abordada de forma relevante à pesquisa em 72% dos trabalhos.

QP1. Usos de Ontologia

A primeira questão de pesquisa refere-se a *Quais são os principais usos de Ontologias em cada trabalho*. Segundo [Noy and McGuinness 2001], os principais objetivos ao se desenvolver ontologias são:

- compartilhar o conhecimento comum da estrutura da informação entre pessoas ou agentes de software (interoperabilidade);
- permitir a reutilização do conhecimento do domínio de aplicação (reúso);
- tornar as deduções de um domínio explícitas (suporte à inferência);
- analisar formalmente o conhecimento do domínio (modelagem formal).

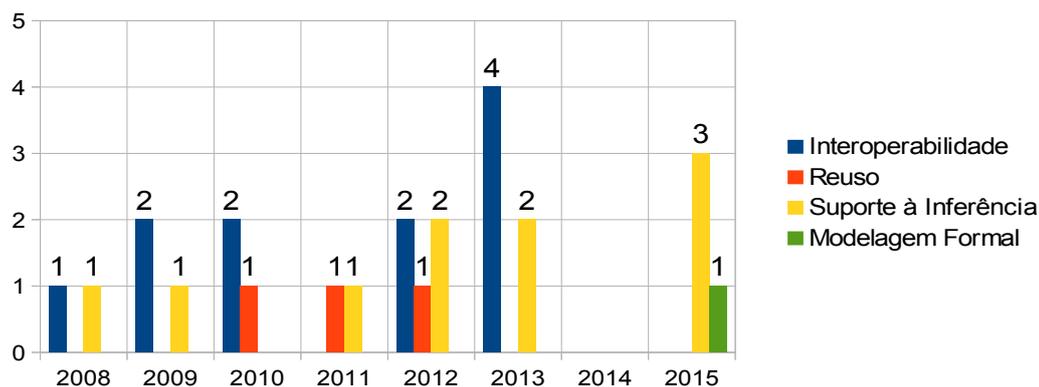


Figura 5. Uso de ontologias nos artigos relevantes agrupados por ano de publicação.

A Figura 5 ilustra que os esforços da maioria (88%) das pesquisas em ontologias no Brasil, de acordo com o contexto do SBSI, têm sido voltados principalmente interoperabilidade e suporte à inferência. Dos trabalhos analisados, 11 (44%) foram desenvolvidos com o intuito de prover sistemas capazes de interoperar entre si, por meio da organização e sistematização dos conceitos de um determinado domínio, aplicados principalmente: na composição de serviços web [Zuniga et al. 2012], [Sena et al. 2010] e [Fonseca, Claro and Lopes 2009]; para a interação entre instituições e organizações virtuais [Venero et al. 2013], [Lira and Tedesco 2015] e [Librelotto et al. 2009]; e para a colaboração em projetos e pesquisas científicas [Gaspar, Braga and Campos 2010] e [Bernardo, Santanchè and Baranauskas 2012].

40% dos trabalhos exploram ontologias para estruturar e explicitamente representar conceitos de um domínio para inferir conhecimento de forma confiável, principalmente para apoio na tomada de decisão [Santos and Girardi 2012], [Mattos et al. 2012] e [Pintas and Siqueira 2011]. Esta pesquisa revelou um pequeno interesse no desenvolvimento de ontologias para reúso, com apenas 3 trabalhos [Martins et al. 2011], [Gualberto et al. 2012] e [Menezes et al. 2010] publicados para este fim, e também para a modelagem formal com apenas 1 trabalho [Lima, Oliveira and Salvador 2015]. Um resumo dos trabalhos classificados por uso das ontologias é apresentado na Tabela 1.

QP2. Avaliações de Ontologia

A segunda questão de pesquisa trata de identificar *Como as ontologias são avaliadas em cada trabalho*. De acordo com [Brank, Grobelnik and Mladenić 2005] a maioria das abordagens de avaliação de ontologias pertence a uma das categorias abaixo:

Tabela 1. Trabalhos agrupados de acordo a finalidade do uso de ontologia.

Uso	Trabalhos
Interoperabilidade	[Alencar and Salgado 2013], [Venero et al. 2013], [Mota et al. 2013], [Alves et al. 2013], [Bernardo, Santanchè and Baranauskas 2012], [Zuniga et al. 2012], [Sena et al. 2010], [Gaspar, Braga and Campos 2010], [Librelotto et al. 2009], [Fonseca, Claro and Lopes 2009], [Rigo, Schneider and Oliveira 2008]
Reuso	[Gualberto et al. 2012], [Martins et al. 2011], [Menezes et al. 2010]
Suporte à Inferência	[Confort et al. 2015], [Oliveira et al. 2015], [Lira and Tedesco 2015], [Teixeira, Azevedo and Siqueira 2013], [Chagas, Neto and Cortés 2013], [Santos and Girardi 2012], [Mattos et al. 2012], [Pintas and Siqueira 2011], [Lamas et al. 2009], [Lamas et al. 2008]
Modelagem Formal	[Lima, Oliveira and Salvador 2015]

- comparação com um trabalho de referência (que pode ser uma outra ontologia);
- baseada no uso de uma ontologia em uma aplicação e na avaliação dos resultados;
- comparações com uma fonte de dados (ex.: uma coleção de documentos) sobre o domínio coberto pela ontologia;
- avaliação feita por humanos, que tentam avaliar uma ontologia de acordo com um conjunto de critérios.

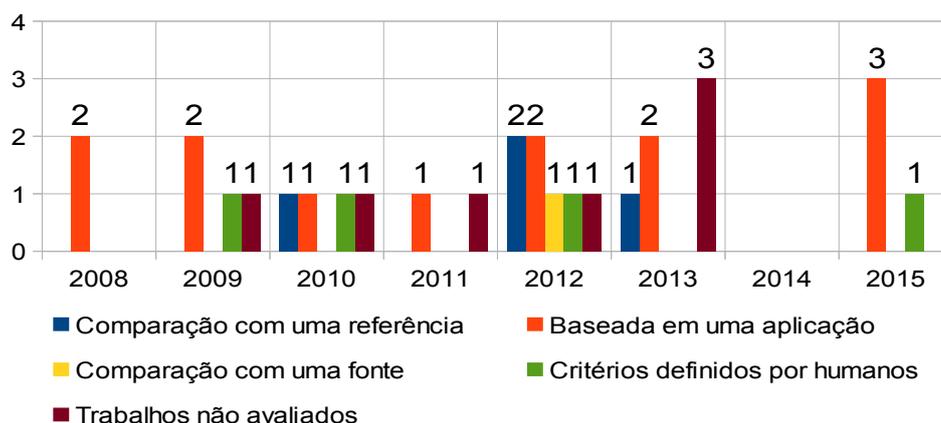


Figura 6. Métodos de avaliação de ontologias dos artigos relevantes à pesquisa agrupados por ano de publicação.

A Figura 6 destaca que 12% dos trabalhos relevantes à esta pesquisa utilizaram dois ou mais dos métodos de avaliação citados acima, e que parte dos artigos (28%) não avaliaram suas contribuições, alguns ([Chagas, Neto and Cortés 2013], [Mota et al. 2013] e [Mattos et al. 2012]) sugerindo estas avaliações como trabalhos futuros.

Analisando-se o gráfico da Figura 6, é possível perceber que a maioria (52%) dos artigos analisados nesta revisão avaliaram suas contribuições através de uma aplicação. Isso pode ser explicado pelo fato de que, nestes trabalhos, as ontologias e as propostas de modelos, arquiteturas e processos desenvolvidos foram implementados, assim, as avaliações foram conduzidas através da execução dessas implementações e verificações de suas saídas de acordo com os resultados esperados.

A comparação com uma fonte de dados foi o método de avaliação menos abordado, presente em apenas 1 trabalho. Este fato é um reflexo dos usos das ontologias nos trabalhos, pois, em se tratando de questões de interoperabilidade e suporte à

inferência, os trabalhos demonstraram uma maior preocupação em avaliar quão explícitos estão os conceitos de um domínio em uma ontologia, avaliando os conceitos, seus relacionamentos, estrutura, axiomas e etc, para suporte às inferências e também minizar a heterogeneidade semântica na interação entre sistemas. Assim, nestes casos a abordagem de avaliação através da comparação com outras fontes de dados não se mostra a mais adequada por apenas verificar o quanto uma ontologia cobre os conceitos de um domínio, revelando conceitos ausentes ou desnecessários, sendo melhor utilizada como uma abordagem complementar às outras abordagens de avaliação de acordo com as finalidades de uso das ontologias verificadas nos trabalhos utilizados nesta revisão.

Um resumo dos trabalhos classificados por método de avaliação de ontologias segue na Tabela 2.

Tabela 2. Trabalhos agrupados de acordo os métodos de avaliação de ontologia.

Método de Avaliação	Trabalhos
Comparação com uma referência	[Alves et al. 2013], [Bernardo, Santanchè and Baranauskas 2012], [Gualberto et al. 2012], [Sena et al. 2010]
Baseada em uma aplicação	[Confort et al. 2015], [Oliveira et al. 2015], [Lira and Tedesco 2015], [Alencar and Salgado 2013], [Teixeira, Azevedo and Siqueira 2013], [Santos and Girardi 2012], [Zuniga et al. 2012], [Pintas and Siqueira 2011], [Menezes et al. 2010], [Fonseca, Claro and Lopes 2009], [Lamas et al. 2009], [Lamas et al. 2008], [Rigo, Schneider and Oliveira 2008]
Comparação com uma fonte	[Gualberto et al. 2012]
Critérios definidos por humanos	[Lima, Oliveira and Salvador 2015], [Gualberto et al. 2012], [Sena et al. 2010], [Fonseca, Claro and Lopes 2009]
Trabalhos avaliados não	[Venero et al. 2013], [Chagas, Neto and Cortés 2013], [Mota et al. 2013], [Mattos et al. 2012], [Martins et al. 2011], [Gaspar, Braga and Campos 2010], [Librelotto et al. 2009]

QP3. Domínios de Aplicação

A terceira questão de pesquisa é sobre *Em quais domínios de aplicação são utilizadas as ontologias em cada trabalho*. Seguem assim os principais domínios identificados:

- **Modelagem de Processos de Negócio:** em [Martins et al. 2011], [Mattos et al. 2012] e [Gualberto et al. 2012] ontologias foram utilizadas para representar de forma consensual e não ambígua os conceitos do domínio do negócio nas organizações promovendo a aprendizagem dos processos organizacionais;
- **Saúde:** abordado entre os trabalhos como a informática médica em [Mota et al. 2013] e hospitais pervasivos em [Librelotto et al. 2009];
- **Recuperação e Extração de Informações:** em sistemas para recuperação de informação, ontologias dão suporte tanto para a fase de indexação, ao criar anotações em textos, quanto durante a fase de recuperação através de inferências para descobrir novas informações [Freitas et al. 2005]. Em [Lima, Oliveira and Salvador 2015], [Alencar and Salgado 2013], [Lamas et al. 2009] e [Lamas et al. 2008] ontologias apoiam a busca, recuperação e extração de informações;
- **Serviços Web:** em [Zuniga et al. 2012], [Sena et al. 2010], [Gaspar, Braga and Campos 2010], [Fonseca, Claro and Lopes 2009], [Lamas et al. 2009] e [Lamas et al. 2008] ontologias foram utilizadas para interoperabilidade via serviços web;

- **Gestão do Conhecimento:** ontologias permitem a integração de sistemas e bases de dados já existentes, bem como descobrir informações implícitas [Freitas et al. 2005]. Ontologias para a gestão do conhecimento foram abordadas por [Confort et al. 2015], [Chagas, Neto and Cortés 2013], [Gualberto et al. 2012] e [Pintas and Siqueira 2011].

A Figura 7 descreve a distribuição dos artigos relevantes à pesquisa segundo o domínio de aplicação de ontologias.

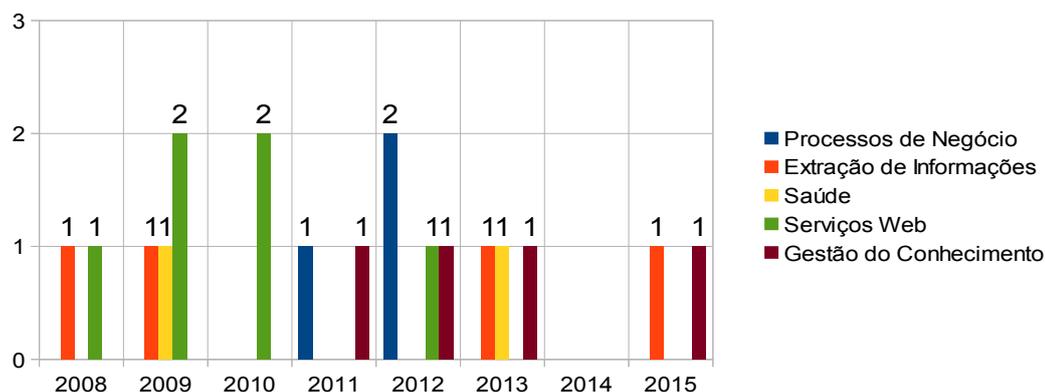


Figura 7. Domínios de aplicação dos artigos relevantes à pesquisa agrupados por ano de publicação.

4. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

A proposta deste trabalho foi apresentar um processo de revisão sistemática da literatura para levantar dados e analisar o estado da arte das pesquisas em Ontologias no Brasil, respondendo às seguintes questões de pesquisa:

1. Qual o principal uso de ontologia em cada trabalho?
2. Como as ontologias são avaliadas em cada trabalho?
3. Em que domínios de aplicação são utilizadas as ontologias em cada trabalho?

A revisão sistemática considerou os trabalhos publicados nas últimas 8 edições do SBSI, relacionados com o tema de ontologias e presentes na biblioteca digital BDBComp. Cada artigo retornado da base teve sua relevância analisada de acordo com os critérios de exclusão, os não relevantes foram eliminados e o restante seguiram para as demais fases do processo de revisão e serviram de base para o levantamento dos dados necessários para responderem às questões de pesquisa e assim revelar o estado da arte das pesquisas no tema referido.

Dos 79 artigos retornados inicialmente, um total de 25 (31,6%) foi considerado relevante para este trabalho. A partir destes artigos foi possível perceber que no contexto do SBSI:

- a curva de crescimento de publicações sobre ontologias revela um interesse contínuo nesta área;
- o número de instituições que desenvolveram trabalhos cresceu nos últimos anos, porém poucas universidades brasileiras sustentam a maioria das pesquisas;
- o foco das pesquisas em ontologias é voltado para o uso das ontologias como suporte à inferência, principalmente para sistemas de apoio à decisão em

organizações e também para a interoperabilidade de sistemas, com maior aplicação em serviços web semânticos e organizações virtuais;

- a principal forma de avaliação de ontologias é a partir de aplicações, através da implementação das ontologias em sistemas ou com apoio de editores;
- Gestão do Conhecimento, Processos de Negócios, Saúde, Extração de Informações e Serviços Web são os domínios de aplicação mais abordados pelos trabalhos;

A síntese do estado da arte das pesquisas em Ontologias obtida como resultado deste trabalho, tem como objetivo subsidiar novas pesquisas na área citada no Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás.

Como trabalho futuro, propomos um trabalho investigativo mais amplo, não limitado apenas ao Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI), mas envolvendo outros eventos e periódicos nacionais sobre o tema abordado. De forma complementar, a ideia é também aprimorar a busca pelos trabalhos que serão utilizados na revisão a partir da seleção de outras fontes de pesquisa, além da biblioteca digital BDBComp, pretendendo assim alcançar um resultado o mais próximo possível da realidade do estado da arte das pesquisas sobre o tema abordado no contexto brasileiro.

Agradecimentos

Aos coordenadores das edições do SBSI abordadas neste trabalho: Fátima Nunes, Fernanda Baião, Flávia Santoro, Renata Araújo, Rita Maciel, Sean Siqueira, Valdemar Vicente Graciano Neto, Vaninha Vieira dos Santos e Vinícius Sebba Patto.

Referências

- [Alencar and Salgado 2013] ALENCAR, A. & SALGADO, A.(2013). A Visual Query Interface for Ontology-based Peer Data Management Systems (PDMS). Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2013/002.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Alves et al. 2013] ALVES, A. et al. (2013). Classificador de alinhamento de ontologias utilizando técnicas de aprendizado de máquina. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2013/003.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Bernardo, Santanchè and Baranauskas 2012] BERNARDO, I. & SANTANCHÊ, A. & BARANAUSKAS, M. (2012). Reconhecendo Padrões em Planilhas no domínio de uso da Biologia. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2012/0037.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Borst 1997] BORST, W. N. Construction of engineering ontologies. 1997. Tese (Doutorado). Disponível em: <<http://www.ub.utwente.nl/webdocs/inf/1/t0000004.pdf>>. Acesso em: 31 Out. 2015.
- [Brank, Grobelnik and Mladenié 2005] BRANK, J.; GROBELNIK, M. & MLADENIÉ, D. (2005). A SURVEY OF ONTOLOGY EVALUATION TECHNIQUES. Disponível em: <http://ai.ia.agh.edu.pl/wiki/_media/pl:miw:2009:brankevaluationsikdd2005.pdf>. Acesso em: 31 Out. 2015.
- [Chagas, Neto and Cortés 2013] CHAGAS, J. & NETO, F. & CORTÉS, M.(2013). Uma abordagem Baseada em Agentes de Apoio à Gestão de Projetos de Software. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2013/0057.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.

- [Confort et al. 2015] CONFORT, V. et al. (2015). Extração de Ontologias a partir de Histórias: um estudo exploratório em storytelling. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B5CYcM3kGUzWU0hmZGpob01jLTQ>>. p. 243 - 250. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Fonseca, Claro and Lopes 2009] FONSECA, A. & CLARO, D. & LOPES, D. (2009). Gerenciando o desenvolvimento de uma composição de Serviços Web Semânticos através do OWL-S Composer. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2009/0010.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Gaspar, Braga and Campos 2010] GASPAS, W. & BRAGA, R. & CAMPOS, F. (2010). SWfPS: Um Sistema de Proveniência de Dados e Processos no Domínio de Workflows Científicos. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2010/0015.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Gualberto et al. 2012] GUALBERTO, E. et al. (2012). InfoSecRM: Uma Abordagem Ontológica para a Gestão de Riscos de Segurança da Informação. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2012/001.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Kitchenham 2004] Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 33(2004):1-26.
- [Lamas et al. 2008] LAMAS, A. et al. (2008). Sistemas de Informação Geográfica Móveis orientados ao contexto: uma abordagem baseada em ontologias de domínios. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2008/0014.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Lamas et al. 2009] LAMAS, A. et al. (2009). Ontologias e Web Services aplicados ao desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica Móveis Sensíveis ao Contexto. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2009/0014.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Librelotto et al. 2009] LIBRELOTTO, G. et al. (2009). A Definição de uma API para o Processamento de Ontologias em Hospitais Pervasivos. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2009/001.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Lima, Oliveira and Salvador 2015] LIMA, F. & OLIVEIRA, H. & SALVADOR, L.(2015). Um método Não Supervisionado para o Povoamento de Ontologias a partir de Fontes Textuais na Web. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B5CYcM3kGUzWU0hmZGpob01jLTQ>>. p. 387 - 394. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Lira and Tedesco 2015] LIRA, H. & TEDESCO, P.(2015). Uma Abordagem de Gerenciamento de Conflitos Metacognitivos Sensível a Contexto para Sistemas Colaborativos. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B5CYcM3kGUzWU0hmZGpob01jLTQ>>. p. 283 - 290. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Martins et al. 2011] MARTINS, A. et al. (2011). Uso de uma Ontologia de Fundamentação para Dirimir Ambiguidades na Modelagem de Processos de Negócio. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2011/usodeumaantologia.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Mattos et al. 2012] MATTOS, T. et al. (2012). Formalizando Contexto em Processos de Negócio. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2012/0022.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Menezes et al. 2010] MENEZES, L. et al. (2010). Uma Abordagem Baseada em Ontologias para Modelagem Semântica e Geográfica de Sites de Conteúdo Social no Contexto dos Setores Públicos. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2010/0022.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.

- [Mota et al. 2013] MOTA, M. et al. (2013). Uma Taxonomia Ontológica para a Classificação de Estudos em Informática Médica. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2013/0054.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Noy and McGuinness 2001] NOY, N. & MCGUINNESS, D. L. (2001) Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. Disponível em: <http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf> Acesso em: 31 Out. 2015.
- [Oliveira et al. 2015] OLIVEIRA, R. et al. (2015). Projeto e implementação do framework Outer-tuning: auto sintonia e ontologia para bancos de dados relacionais. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B5CYcM3kGUzWb3Jack1IYzNCcm8>>. p. 171 - 178. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Pintas and Siqueira 2011] PINTAS, J. & SIQUEIRA, S.(2011). O PAPEL DA SEMÂNTICA NO BUSINESS INTELLIGENCE 2.0: Um Exemplo no Contexto de um Programa de Pós-Graduação. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2011/opapeldasemantica.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Rigo, Schneider and Oliveira 2008] RIGO, S. & SCHNEIDER, E. & OLIVEIRA, J. (2008). Arquitetura baseada em Web Semântica para aplicações de Hiperídia Adaptativa. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2008/0020.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Sampaio 2007] R. F. Sampaio e M. C. Ancini, “Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica”, Revista Brasileira de Fisioterapia, vol. 11, pp. 83–89, 2007.
- [Santos and Girardi 2012] SANTOS, L. & GIRARDI, R.(2012). Uma Técnica Orientada por Objetivos para a Construção de Ontologias de Aplicação. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2012/002.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Sena et al. 2010] SENA, V. et al. (2010). Similaridade Semântica na Composição de Sistemas de Informação através dos Serviços Web. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2010/0017.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Teixeira, Azevedo and Siqueira 2013] FILHO, H. & AZEVEDO, L. & SIQUEIRA, S. (2013). Análise da Aplicabilidade do Uso de Ontologias e Regras Semânticas para Apoiar a Verificação de Conformidade no Contexto de Arquiteturas Orientadas a Serviço. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2013/0027.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.
- [Venero et al. 2013] VENERO, M. et al. (2013). OpenMuseum: a framework for collaboration between cultural heritage institutions. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2013/0014.pdf>>. Acesso: 30 Out. 2015.
- [Zuniga et al. 2012] ZUNIGA, J. et al. (2012). Implementação de um Sistema de Composição Automática de Serviços Web (SCASW) Desacoplado: Módulos Interface e Tradutor. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2012/0044.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2015.

Uma Revisão Sistemática Sobre o Uso de Aprendizagem de Máquina no Monitoramento de Pacientes

Rommell Guimarães Caixeta, Renato de Freitas Bulcão Neto

Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
CEP 74.690-900 – Goiás – GO – Brasil

Abstract. *The last few years have witnessed an increase of studies regarding the use of automated monitoring systems for patients and data mining tools for vital sign data. This trend has been due to several factors such as new developments in monitoring technology as well as the promotion of projects that address the need for new methods of care to account for an increasingly elderly population. By using the systematic review method, this paper aims at mapping the state of the art in the use of machine learning techniques for patient monitoring, regarding pre-processing techniques, algorithms and databases used.*

Resumo. *Os últimos anos mostraram um aumento do número de estudos sobre o uso de sistemas automatizados de monitoramento de pacientes e ferramentas de mineração de dados para sinais vitais. Essa tendência se deve a vários fatores tais como novos desenvolvimentos em tecnologia de monitoramento assim como a promoção de projetos que atendam a necessidade de novos métodos de cuidado que levam em conta uma população cada vez mais envelhecida. Usando o método de revisão sistemática, este artigo objetiva mapear o estado da arte no uso de técnicas de aprendizagem de máquina no monitoramento de pacientes, com respeito a técnicas de pré-processamento, algoritmos e bases de dados utilizados.*

1. Introdução

O melhoramento de tecnologias de aquisição e armazenamento de dados ao longo do tempo possibilitou o registro de quantidades progressivamente maiores de dados em várias áreas. Na área da saúde, essa melhora possibilitou tanto uma melhor coleta de sinais vitais de pacientes como o armazenamento desses sinais. Isto viabilizou a análise destes sinais, algo que tem crescente demanda [Banaee et al. 2013] e possivelmente um grande impacto na atividade de monitoramento, considerando o envelhecimento da população em geral.

Este artigo visa mapear o estado da arte em relação ao uso de técnicas de pré-processamento de sinais vitais e aprendizagem de máquina no monitoramento de pacientes, em particular na análise de séries temporais obtidas a partir de sinais vitais de pacientes.

Este artigo está assim estruturado: a Seção 2 descreve o método de revisão sistemática adotado nesse trabalho; a Seção 3 apresenta a análise dos resultados obtidos dessa revisão; a Seção 4 apresenta uma discussão dos resultados e a Seção 5 faz uma síntese desta pesquisa.

2. Materiais e Métodos

O processo de revisão sistemática neste trabalho teve como referencial o trabalho de [Kitchenham 2004] que sugere um processo dividido em três estágios: planejamento, condução da revisão e reportagem da revisão. O estágio de planejamento é composto pela etapa de identificação da necessidade de uma revisão e pela etapa da definição de um protocolo. O estágio da condução da revisão compreende a identificação de pesquisas, seleção de estudos, avaliação dos estudos, extração de dados e por fim síntese de dados. O estágio de reportagem da revisão é de etapa única.

No estágio de Planejamento foi elaborado de um protocolo que norteou a revisão sistemática. As questões de pesquisa são descritas a seguir:

- **QP1. Pré-processamento:** *Quais técnicas são utilizadas para mitigar dificuldades no pré-processamento de séries temporais de sinais vitais?*
- **QP2. Modelo de monitoramento:** *Quais modelos, algoritmos e/ou ferramentas de software são utilizados para monitoramento de sinais vitais?*
- **QP3. Bases de dados:** *Quais bases de dados de monitoramento de pacientes são utilizadas?*

Os tipos de trabalhos escolhidos foram artigos de periódicos ou de conferências. O filtro temporal escolhido foi de 2010 a 2014. Critérios de exclusão foram: não explorar séries temporais de sinais vitais, tipos de estudo incompatíveis, não explorar aprendizagem de máquina, não explorar a predição de estados de pacientes monitorados e ocorrência duplicada. A *string* de busca escolhida foi: *(learn OR predict) AND "time series" AND "vital sign"*.

As bases escolhidas foram: ACM Digital Library, IEEE Explorer Digital Library, Scopus, Springer, PubMed e Science Direct.

3. Análise de resultados da Revisão

Após a execução da *string* de busca sobre as bases citadas, foram retornados 357 artigos. A **Figura 1** relaciona as bases de artigos com a quantidade de artigos recuperados.

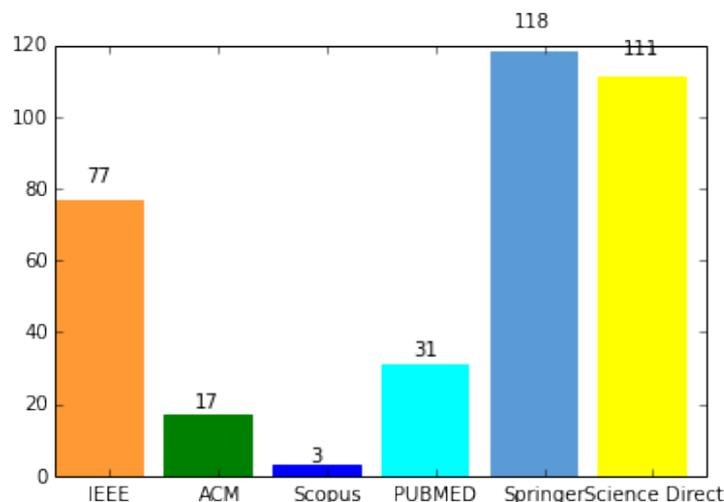


Figura 1. Número de publicações agrupadas por base

3.1 Seleção de estudos

Após a leitura do título e dos resumos dos trabalhos, foram aplicados os critérios de exclusão descritos a seguir. Dos 357 artigos, 267 deles foram excluídos por diferentes critérios: 90 artigos (33.7%) foram excluídos por não explorar séries temporais de sinais vitais, 88 artigos (33%) por serem tipos de estudo incompatíveis, 80 artigos (30%) por não explorarem aprendizagem de máquina e 9 artigos (3,4%) por serem duplicados. Os 90 trabalhos restantes seguiram para a fase de extração.

3.2 Avaliação de qualidade e Extração

Como resultado da aplicação dos critérios de exclusão sobre os 90 artigos lidos na íntegra, foram excluídos 36 destes: 30 artigos (83.3%) foram excluídos por não explorar a predição de estados de pacientes monitorados e 6 artigos (16.6%) foram excluídos por não explorar aprendizagem de máquina. Não foram utilizados outros critérios de avaliação de qualidade.

Portanto, concluiu-se que existem 54 artigos relevantes para esta revisão, publicados de 2010 a 2014, considerando o protocolo de revisão sistemática adotado neste trabalho. A **Figura 2** relaciona esses 25 trabalhos relevantes por ano e por biblioteca digital.

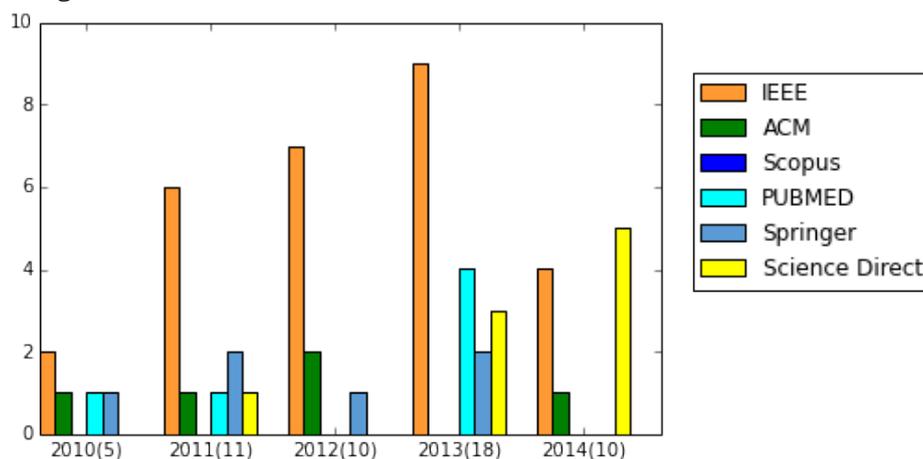


Figura 2. Número de artigos incluídos por ano de publicação (total por ano) e repositório de busca

Nota-se que dos 54 artigos selecionados, 9 deles estão relacionados à pesquisadores do Instituto de Pesquisa de Engenharia Biomédica da Universidade de Oxford (Clifton et al., Wong et al., Pimentel et al.), 4 estão relacionados à Universidade Paris Descartes (Salem et al.) e 3 relacionados ao MIT, o Instituto de Tecnologia de Massachussets (Lehman et al.).

Dos 54 artigos, 3 deles correspondem à revisões da literatura, sendo eles [Banaee et al. 2013], [Esfandiari et al. 2014] e [Pimentel et al. 2014]. Os demais artigos descrevem modelos e implementações de métodos com respectivos testes e experimentos de avaliação com dados reais de pacientes.

3.3 Questões de Pesquisa

De acordo com o estudo realizado, apresentamos nesta seção as questões de pesquisa e o mapeamento de dados em relação aos trabalhos revisados. Destacamos que nem todos

os trabalhos relevantes abordaram as 3 questões de pesquisa do protocolo, porém, grande parte destes trabalhos abordou a maioria das questões levantadas.

QP1. Pré-processamento

Neste trabalho, adotaremos a perspectiva do passo de pré-processamento de [Esfandiar et al. 2014]. Portanto, as principais abordagens de pré-processamento de dados são:

a) Descrição de dados e sumarização. Uso de métodos estatísticos, como diagrama de caixa ([Salem et al. 2013b] e [Salem et al. 2014]), média, variância [Moorman et al. 2011], média de variância real [Slaughter et al. 2012], curtose [Jalali et al. 2014] de séries temporais podem ser considerados nessa abordagem.

b) Limpeza de dados. Valores atípicos, também chamados de artefatos, tem comportamento diferente dos demais dados e devem ser removidos ([Mao et al. 2012], [Oates et al. 2012a] e [Oates et al. 2012b]). Um algoritmo de *peak-shaving* para remoção de artefatos é descrito em [VanLoon et al. 2010]. Registros defeituosos que não podem ser aproveitados devem ser eliminados ([Bhattacharya et al. 2014], [Lehman et al. 2012] e [Lehman et al. 2014]). Ruído deve ser eliminado com métodos como filtro Hampel ([Salem et al. 2013b] e [Salem et al. 2014]), filtro Gaussiano ([Lehman et al. 2012] e [Lehman et al. 2014]), filtro de Primeira Ordem [Rocha et al. 2011], Análise Funcional de Dados [Clifton et al. 2013a], filtro de banda-passante ([Soo-Yeon et al. 2013] e [Nan et al. 2011]), suavização [Kalpakis et al. 2012]. Valores faltantes devem ser estimados com técnicas como interpolação linear ([Lehman et al. 2012], [Lehman et al. 2014], [VanLoon et al. 2010], [Rocha et al. 2011] e [Salem et al. 2013a]), imputação por média [Clifton et al. 2014] e por k-vizinhos mais próximos [Kalpakis et al. 2012].

c) Integração de dados. Pode ser necessária a integração de dois ou mais conjuntos de dados para a criação de um único conjunto de dados. Não houve trabalhos descrevendo integração de dados.

d) Transformação de atributos. Conversão de todos os valores de uma determinada variável para uma escala desejada. Um exemplo dessa abordagem é a normalização ([VanLoon et al. 2010]). A representação de agregação simbólica aproximada SAX (Symbolic Aggregate approXimation) intrinsecamente realiza transformação de valores ([Oates et al. 2012a], [Oates et al. 2012b] e [Lin et al. 2012]).

e) Discretização e binarização. Preparação de dados contínuos para algoritmos de classificação e associação. A representação de agregação simbólica aproximada(SAX) intrinsecamente realiza discretização de valores ([Oates et al. 2012a], [Oates et al. 2012b] e [Lin et al. 2012]).

f) Redução de dados. Redução de registros ou colunas para obter um modelo mais simples e interpretável, diminuir uso de memória e tempo de processamento, eliminar atributos irrelevantes e evitar a "maldição da dimensionalidade". Vários métodos são utilizados, tais como: transformada Haar wavelet ([Salem et al. 2013b], [Salem et al. 2014] e [Rocha et al. 2010]), extração de amplitude de modulação de séries temporais [Selvaraj et al. 2011], uso de atributos baseado em análise espectral ([Mao et al. 2012], [Taihai et al. 2013] e [Zhang et al. 2010]), uso de pacotes de software específicos para batimento cardíaco como o Physionet SQI [Syed et al. 2011], representação de agregação simbólica aproximada SAX ([Oates et al. 2012a], [Oates et al. 2012b] e [Lin et al. 2012]), representação usando regressão por processo Gaussiano ([Pimentel et al. 2013], [Clifton et al. 2012], [Clifton et al. 2013c] e [Wong et al. 2012]), *bucket bagging* [Mao et al. 2011] e contagem de subsequências [Abadia et al. 2011].

Nota-se que muitos trabalhos (20 artigos) ou não descreveram explicitamente seus métodos de pré-processamento, ou não apontam como a formulação de seus modelos mitigam dificuldades no processamento de sinais vitais.

QP2. Modelo de monitoramento

As principais abordagens são:

a) Máquinas de Vetor de Suporte. Uma Máquina de Vetor de Suporte (Support Vector Machine, SVM) é um dos principais métodos de aprendizagem estatística que é capaz de classificar informação previamente desconhecida pela derivação de atributos selecionados e construção de um hiperplano multidimensional que separa pontos de dados em duas classes para compor um modelo de decisão. SVM é utilizado em [Clifton et al. 2013b], [Mao et al. 2012], [Nan et al. 2012], [Shen-Tsu 2013], [Taihai et al. 2013], [Pechenizkiy et al. 2010], [Soo-Yeon et al. 2013], [Clifton et al. 2011], [Nan et al. 2011], [Slaughter et al. 2012], [Clifton et al. 2014] e [Kennedy and Turley 2011].

b) Redes Neurais. Uma Rede Neural é uma abordagem de inteligência artificial que é amplamente utilizada para classificação e predição. Os métodos de Redes Neurais modelam os dados de treino aprendendo a classificação conhecida dos registros e comparando com classes preditas dos registros de maneira a modificar os pesos da rede para a próxima iteração de aprendizagem. Redes Neurais são utilizadas em [Rocha et al. 2011], [Kennedy and Turley 2011] e [Rocha et al. 2010].

c) Árvores de Decisão. Neste método, os atributos mais robustos para divisão inicial do conjunto de dados são detectados, criando um modelo de árvore e provendo uma representação eficiente de regras de classificação. Árvores de Decisão são usadas em [Pechenizkiy et al. 2010], [Kalpakis et al. 2012], [Jalali et al. 2014], [Salem et al. 2013a] e [Kennedy and Turley 2011].

d) Modelos de Misturas Gaussianas. Este método é baseado sob a premissa de que os dados de entrada formam uma combinação linear de distribuições Gaussianas. Após inicialização aleatória de alguns parâmetros como primeiro passo do método, o modelo é estimado baseado nos dados e é computada densidade de probabilidade condicional de cada classe. Modelos de Misturas Gaussianas são utilizados em [Clifton et al. 2013a], [Pimentel et al. 2013], [Clifton et al. 2012], [Clifton et al. 2013c], [Guiza et al. 2013], [Clifton et al. 2014] e [Wong et al. 2012].

e) Modelos Ocultos de Markov. Modelos Ocultos de Markov são modelos probabilísticos convenientes para modelar dados sequenciais. Geralmente, sinais são modelados como cadeias de Markov para computar a probabilidade da ocorrência de cada estado através do cálculo do histograma das probabilidades de estados sucessivos. Usando este modelo os estados ocultos podem ser inferidos a partir de observações de dados sequenciais. Modelos Ocultos de Markov são utilizados em [Lehman et al. 2012] e [Singh et al. 2010].

f) Modelos Baseados em Regras. Raciocínio Baseado em Regras é um método simples para reconhecer padrões, anomalias e eventos específicos baseado em regras e condições pré-definidas e armazenadas. Modelos Baseados em Regras são utilizados em [Hu et al. 2013], [Forkan et al. 2014], [Bhattacharya et al. 2014], [Pechenizkiy et al. 2010] e [Hemalatha et al. 2014].

g) Regressão Logística. O modelo binário logístico é usado para prever uma resposta binária baseada em uma ou mais variáveis preditoras (atributos). As probabilidades

descrevendo os possíveis resultados de um experimento são modeladas em função de variáveis explanatórias (preditores) usando a função logística. Regressão Logística é utilizada em [Lehman et al. 2014], [Bai et al. 2014], [Mao et al. 2011], [Politano et al. 2013], [Moorman et al. 2011] e [Lehman et al. 2013].

h) Análise de Domínio de Frequência/Wavelet. Análise de dados de séries temporais no domínio de frequência habilita extrair padrões e tendências previamente desconhecidos nos dados. Utilizados também para selecionar atributos, tais análises permitem modelar e encontrar padrões complexos e detectar anomalias não óbvias nos dados. Este tipo de análise é usada em [Salem et al. 2013b], [Selvaraj et al. 2011] e [Salem et al. 2014].

i) Outros métodos de aprendizagem. Outros métodos foram utilizados na literatura selecionada, tais como Estimção de Razão de Densidade de Kernel utilizado como índice de status de paciente [Dongmei and Meng 2011], Análise de Redes de Recorrência [Ramirez et al. 2013], Modelo de Risco Proporcional de Cox [Syed et al. 2011], Análise de Variabilidade Contínua [Green et al. 2013], Ponto de Detecção Holter-Winter [Salem et al. 2013c], K-Vizinhos Mais Próximos ([Oates et al. 2012b], [Oates et al. 2012a] e [Lin et al. 2012]), Classificadores Bayesianos ([Zhang et al. 2010] e [Abadia et al. 2011]), Modelo de Avaliação Preditivo Estocástico [Genc 2011] e Agrupamento Ponderado K-médias Esférico com Deslocamento de Fase [Wang et al. 2013].

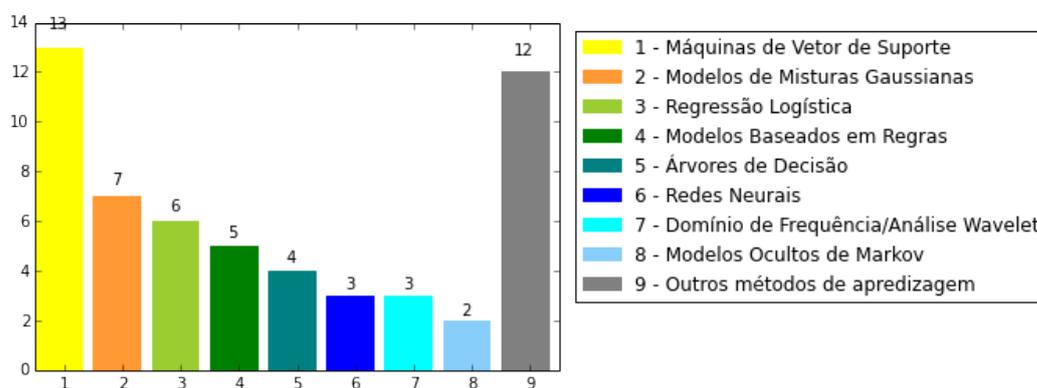


Figura 3. Quantidade de trabalhos que utilizam cada método de aprendizagem

A **Figura 3** ilustra a quantidade de artigos que fazem uso dos métodos de aprendizagem entre os trabalhos analisados. Uma observação a ser feita é que alguns trabalhos utilizam mais de uma abordagem.

QP3. Bases de dados

A maior parte dos artigos (32) utilizou dados não publicamente acessíveis, obtidos a partir de contratos e termos de uso específicos com instituições e hospitais. O restante (19) utilizou dados publicamente acessíveis, sendo que destes quase todos (18) utilizaram bases de dados disponíveis no site physionet.org.

4. Discussão

A distribuição da **Figura 2** sugere uma tendência ascendente para o número de publicações, algo também notado em [Esfandiari et al. 2014]. Deve-se considerar que a fase de execução da revisão sistemática deu-se em Outubro de 2014.

Constata-se significativa diversidade de aplicação de métodos de aprendizado de máquina. Isso se deve pelo fato de que as aplicações podem ter que tratar de dados diferentes, mesmo considerando o mesmo sinal vital. Por exemplo, algumas aplicações podem ter que processar intervalos irregulares de medidas. Nesse caso, métodos que podem tratar esses intervalos irregulares (e.g., Modelos Gaussianos ou Análise Wavelet) podem ser usados. Se os intervalos de medidas são regulares, pode-se utilizar métodos como os Modelos Ocultos de Markov.

Em relação às bases de dados utilizadas, enquanto dados específicos obtidos diretamente junto a hospitais podem ter melhor interpretabilidade e possivelmente serem mais fáceis de processar, o uso de bases de dados públicas encoraja testes de novos métodos sobre o mesmo conjunto de dados e a verificação independente de resultados.

5. Conclusões

A pesquisa de métodos de monitoramento de pacientes utilizando aprendizagem de máquina vem crescendo, acompanhadas por melhoramentos em equipamentos de leitura, armazenamento e processamento de dados de pacientes, conforme os dados sobre pesquisas científicas publicadas apresentados.

A análise de séries temporais de sinais vitais de pacientes requer pré-processamento de dados, pois inerentemente não são compatíveis com métodos de aprendizagem de máquina. Outro aspecto desse requerimento se refere a ruídos nos dados, leituras em intervalos irregulares, dados ausentes e leituras com artefatos. Quando não se consegue garantir que os dados não contenham as irregularidades acima citadas, deve-se utilizar técnicas de pré-processamento e modelagem dos dados que mitiguem essas situações.

Há enorme diversidade de métodos de aprendizagem utilizados, sendo os principais: Máquinas de Vetores de Suporte, Modelos Mistos Gaussianos, Modelos Baseados em Regras e Regressão Logística. Entretanto, não há consenso na literatura sobre quais métodos são melhores, devido a uma grande variedade de cenários e situações em que tais métodos são aplicados, mesmo dentro do contexto de monitoramento de pacientes, que por sua vez dificulta a realização de estudos comparativos que sejam mais generalizáveis.

Referências

- [Abadia et al 2011] Abadia, Rhodora and Stranieri, Andrew and Quinn, Anthony and Seifollahi, Sattar(2011). Real time processing of data from patient biodevices. *Proceedings of the Fourth Australasian Workshop on Health Informatics and Knowledge Management - Volume 120* ISBN: 978-1-921770-00-5 pages 25-30. Australian Computer Society, Inc.
- [Bai et al. 2014] Bai, Yong; Do, Duc H.; Harris, Patricia Rae Eileen; Schindler, Daniel; Boyle, Noel G.; Drew, Barbara J. & Hu, Xiao(2014). Integrating monitor alarms with laboratory test results to enhance patient deterioration prediction. *Journal of Biomedical Informatics*.
- [Banaee et al. 2013]Banaee H, Ahmed MU, Loutfi A.(2013). Data mining for wearable sensors in health monitoring systems: a review of recent trends and challenges. *Sensors (Basel)*.
- [Bhattacharya et al. 2014] Bhattacharya, Sakyajit and Rajan, Vaibhav and Huddar,

- Vijay(2014). A novel classification method for predicting acute hypotensive episodes in critical care. *Proceedings of the 5th ACM Conference on Bioinformatics, Computational Biology, and Health Informatics* ISBN: 978-1-4503-2894-4, pages 43-52. ACM.
- [Clifton et al. 2013a] Clifton, D.A.; Clifton, L.; Hugueny, S.; Wong, D.; Tarassenko, L. (2013). An Extreme Function Theory for Novelty Detection. *Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of*. IEEE Journals & Magazines pages 28-37.
- [Clifton et al. 2013b] Clifton, D.A.; Wong, D.; Clifton, L.; Wilson, S.; Way, R.; Pullinger, R.; Tarassenko, L.(2013) A Large-Scale Clinical Validation of an Integrated Monitoring System in the Emergency Department. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, IEEE Journals & Magazines, pages 835-842.
- [Clifton et al. 2012] Clifton, L.; Clifton, D.A.; Pimentel, M.A.F.; Watkinson, P.J.; Tarassenko, L.(2012). Gaussian process regression in vital-sign early warning systems. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE Conference Publications, pages 6161-6164.
- [Clifton et al. 2013c] Clifton, L.; Clifton, D.A.; Pimentel, M.A.F.; Watkinson, P.J.; Tarassenko, L. (2013). Gaussian Processes for Personalized e-Health Monitoring With Wearable Sensors. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, IEEE Journals & Magazines, pages 193-197.
- [Clifton et al. 2014] Clifton, L.; Clifton, D.A.; Pimentel, M.A.F.; Watkinson, P.J.; Tarassenko, L. (2014). Predictive Monitoring of Mobile Patients by Combining Clinical Observations With Data From Wearable Sensors. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, IEEE Journals & Magazines, pages 722-730.
- [Clifton et al. 2011] Clifton, L.; Clifton, D.A.; Watkinson, P.J.; Tarassenko, L.(2011) Identification of patient deterioration in vital-sign data using one-class support vector machines. *Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2011 Federated Conference on*, IEEE Conference Publications, pages 125-131.
- [Dongmei and Meng 2011] Dongmei Chen; Meng, M.Q.-H(2011). A new density-ratio based approach for patient-specific biomedical monitoring. *Engineering in Medicine and Biology Society,EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE Conference Publications, pages 6943-6946.
- [Esfandiari et al. 2014] Esfandiari, Nura; Babavalian, Mohammad Reza; Moghadam, Amir-Masoud Eftekhari & Tabar, Vahid Kashani(2014). Knowledge discovery in medicine: Current issue and future trend. *Expert Systems with Applications*.
- [Forkan et al. 2014] Forkan, Abdur Rahim Mohammad; Khalil, Ibrahim; Tari, Zahir; Foufou, Sebti & Bouras, Abdelaziz(2014).A context-aware approach for long-term behavioural change detection and abnormality prediction in ambient assisted living. *Pattern Recognition*.
- [Genc 2011] Genc, Sahika(2011). Prediction of mean arterial blood pressure with linear stochastic models. *Engineering in Medicine and Biology Society,EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE Conference Publications, pages 712-715.
- [Green et al. 2013] Green, Geoffrey C.; Bradley, Beverly; Bravi, Andrea & Seely, Andrew J.E.(2013). Continuous multiorgan variability analysis to track severity of

organ failure in critically ill patients. *Journal of Critical Care*.

- [Guiza et al. 2013] Güiza F, Depreitere B, Piper I, Van den Berghe G, Meyfroidt G. (2013). Novel methods to predict increased intracranial pressure during intensive care and long-term neurologic outcome after traumatic brain injury: development and validation in a multicenter dataset. *Crit Care Med*. 2013.
- [Hemalatha et al. 2014] Hemalatha, C. Sweetlin; Vaidehi, V. & Lakshmi, R.(2014). Minimal infrequent pattern based approach for mining outliers in data streams. *Expert Systems with Applications*.
- [Hu et al. 2013] Hu, Xiao; Do, Duc; Bai, Yong & Boyle, Noel G.(2013). A case-“control study of non-monitored \ECG\ metrics preceding in-hospital bradyasystolic cardiac arrest: Implication for predictive monitor alarms. *Journal of Electrocardiology*.
- [Jalali et al. 2014] Jalali, A.; Buckley, E.M.; Lynch, J.M.; Schwab, P.J.; Licht, D.J.; Nataraj, C.(2014). Prediction of Periventricular Leukomalacia Occurrence in Neonates After Heart Surgery. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of. IEEE Journals & Magazines*, pages 1453-1460.
- [Kalpakis et al. 2012] Kalpakis, Konstantinos and Yang, Shiming and Hu, Peter F. and Mackenzie, Colin F. and Stansbury, Lynn G. and Stein, Deborah M. and Scalea, Thomas M.(2012). Outcome prediction for patients with severe traumatic brain injury using permutation entropy analysis of electronic vital signs data. *Proceedings of the 8th International Conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*. ISBN: 978-3-642-31536-7, pages 415-426, Springer-Verlag.
- [Kennedy and Turley 2011] Kennedy, C.E.; Turley, J.P.(2011). Time series analysis as input for clinical predictive modeling: Modeling cardiac arrest in a pediatric ICU. *Theoretical Biology and Medical Modelling*.
- [Kitchenham 2004] Kitchenham, B.(2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004):1-26.
- [Lehman et al. 2013] Lehman, L.-W.H.; Nemati, S.; Adams, R.P.; Moody, G.; Malhotra, A.; Mark, R.G.(2013). Tracking progression of patient state of health in critical care using inferred shared dynamics in physiological time series. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*. IEEE Conference Publications, pages 7072-7075.
- [Lehman et al. 2014] Lehman, L.; Adams, R.; Mayaud, L.; Moody, G.; Malhotra, A.; Mark, R.; Nemati, S.(2014). A Physiological Time Series Dynamics-Based Approach to Patient Monitoring and Outcome Prediction. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of. IEEE Early Access Articles*.
- [Lehman et al. 2012] Lehman, L.H.; Nemati, S.; Adams, R.P.; Mark, R.G.(2012). Discovering shared dynamics in physiological signals: Application to patient monitoring in ICU. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE Conference Publications, pages 5939-5942.
- [Lin et al. 2012] Lin, J; Khade, R; Li, Y.(2012). Rotation-invariant similarity in time series using bag-of-patterns representation. *Journal of Intelligent Information Systems*.

- [Mao et al. 2011] Yi Mao; Yixin Chen; Hackmann, G.; Minmin Chen; Chenyang Lu; Kollef, M.; Bailey, T.C. Medical Data Mining for Early Deterioration Warning in General Hospital Wards. *Data Mining Workshops (ICDMW), 2011 IEEE 11th International Conference on*. IEEE Conference Publications, pages 1042-1049.
- [Mao et al. 2012] Mao, Yi and Chen, Wenlin and Chen, Yixin and Lu, Chenyang and Kollef, Marin and Bailey, Thomas(2012). An integrated data mining approach to real-time clinical monitoring and deterioration warning. *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. ISBN: 978-1-4503-1462-6, pages 1140-1148. ACM.
- [Moorman et al. 2011] Moorman, J.R.; Rusin, C.E.; Hoshik Lee; Guin, L.E.; Clark, M.T.; Delos, J.B.; Kattwinkel, J.; Lake, D.E.(2011). Predictive monitoring for early detection of subacute potentially catastrophic illnesses in critical care. *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE Conference Publications, pages 5515-5518.
- [Nan et al. 2012] Nan Liu; Zhiping Lin; Jiuwen Cao; Zhixiong Koh; Tongtong Zhang; Guang-Bin Huang; Wee Ser; Ong, M.E.H.(2012). An Intelligent Scoring System and Its Application to Cardiac Arrest Prediction. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*. IEEE Journals & Magazines, pages 1324-1331.
- [Nan et al. 2011] Nan Liu; Zhiping Lin; Zhixiong Koh; Guang-Bin Huang; Wee Ser; Marcus Eng Hock Ong. Patient Outcome Prediction with Heart Rate Variability and Vital Signs. *Journal of Signal Processing Systems*.
- [Oates et al. 2012a] Oates, T.; Mackenzie, C.F.; Stansbury, L.G.; Aarabi, B.; Stein, D.M.; Hu, P.F.(2012). Predicting Patient Outcomes from a Few Hours of High Resolution Vital Signs Data. *Machine Learning and Applications (ICMLA), 2012 11th International Conference on*. IEEE Conference Publications, pages 192-197.
- [Oates et al. 2012b] Oates, T.; Mackenzie, C.F.; Stein, D.M.; Stansbury, L.G.; DuBose, J.; Aarabi, B.; Hu, P.F.(2012). Exploiting Representational Diversity for Time Series Classification. *Machine Learning and Applications (ICMLA), 2012 11th International Conference on*. IEEE Conference Publications, pages 538-544.
- [Pechenizkiy et al. 2010] Pechenizkiy, M.; Vasilyeva, E.; Zliobaite, I.; Tesanovic, A.; Manev, G.(2010). Heart failure hospitalization prediction in remote patient management systems. *Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2010 IEEE 23rd International Symposium on*. IEEE Conference Publications, pages 44-49.
- [Pimentel et al. 2013] Pimentel, M.A.F.; Clifton, D.A.; Tarassenko, L.(2013). Gaussian process clustering for the functional characterisation of vital-sign trajectories. *Machine Learning for Signal Processing (MLSP), 2013 IEEE International Workshop on*. IEEE Conference Publications, pages 1-6.
- [Pimentel et al. 2014] Pimentel, Marco A.F.; Clifton, David A.; Clifton, Lei & Tarassenko, Lionel(2014). A review of novelty detection. *Signal Processing*.
- [Politano et al. 2013] Politano, Amani D.; Riccio, Lin M.; Lake, Douglas E.; Rusin, Craig G.; Guin, Lauren E.; Josef, Christopher S.; Clark, Matthew T.; Sawyer, Robert G.; Moorman, J. Randall & Calland, James F.(2013) Predicting the need for urgent intubation in a surgical/trauma intensive care unit. *Surgery*.
- [Ramirez et al. 2013] Ramírez Ávila GM, Gapelyuk A, Marwan N, Walther T, Stepan H, Kurths J, Wessel N.(2013). Classification of cardiovascular time series based on

- different coupling structures using recurrence networks analysis. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2013.
- [Rocha et al. 2010] Rocha T, Paredes S, Carvalho P, Henriques J, Harris M.(2010). Wavelet based time series forecast with application to acute hypotensive episodes prediction. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2010.
- [Rocha et al. 2011] Rocha, Teresa; Paredes, Simão; de Carvalho, Paulo & Henriques, Jorge(2011). Prediction of acute hypotensive episodes by means of neural network multi-models. *Computers in Biology and Medicine.*
- [Salem et al. 2013a] Salem, O.; Guerassimov, A.; Mehaoua, A.; Marcus, A.; Furht, B. (2013). Sensor fault and patient anomaly detection and classification in medical wireless sensor networks. *Communications (ICC), 2013 IEEE International Conference on.* IEEE Conference Publications, pages 4373-4378.
- [Salem et al. 2013b] Salem, O.; Yaning Liu; Mehaoua, A.(2013). A lightweight anomaly detection framework for medical wireless sensor networks. *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2013 IEEE.* IEEE Conference Publications, pages 4358-4363.
- [Salem et al. 2013c] Salem, O.; Yaning Liu; Mehaoua, A.(2013). Detection and isolation of faulty measurements in medical Wireless Sensor Networks. *Future Information and Communication Technologies for Ubiquitous HealthCare (Ubi-HealthTech), 2013 First International Symposium on.* IEEE Conference Publications, pages 1-5.
- [Salem et al. 2014] Salem, O.; Yaning Liu; Mehaoua, A.; Boutaba, R.(2014). Online Anomaly Detection in Wireless Body Area Networks for Reliable Healthcare Monitoring. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of.* IEEE Journals & Magazines, pages 1541-1551.
- [Selvaraj et al. 2011] Selvaraj, N.; Shelley, K.H.; Silverman, D.G.; Stachenfeld, N.; Galante, N.; Florian, J.P.; Mendelson, Y.; Chon, K.H.(2011). A Novel Approach Using Time-Frequency Analysis of Pulse-Oximeter Data to Detect Progressive Hypovolemia in Spontaneously Breathing Healthy Subjects. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on.* IEEE Journals & Magazines, pages 2272-2279.
- [Shen-Tsu 2013] Shen-Tsu Wang(2013). Construct an Optimal Triage Prediction Model: A Case Study of the Emergency Department of a Teaching Hospital in Taiwan. *Journal of Medical Systems.*
- [Singh et al. 2010] Singh, A.; Tamminedi, T.; Yosiphon, G.; Ganguli, A.; Yadegar, J. (2010). Hidden Markov Models for modeling blood pressure data to predict acute hypotension. *Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2010 IEEE International Conference on.* IEEE Conference Publications, pages 550-553.
- [Slaughter et al. 2012] Slaughter, G.; Kurtz, Z.; des Jardins, M.; Hu, P.F.; Mackenzie, C.; Stansbury, L.; Stein, D.M.(2012). Prediction of mortality. *Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), 2012 IEEE.* IEEE Conference Publications, pages 1-4.
- [Soo-Yeon et al. 2013] Soo-Yeon JiAshwin BelleKevin R. WardKathy L. RyanCaroline A. RickardsVictor A. ConvertinoKayvan Najarian. *Heart rate variability analysis during central hypovolemia using wavelet transformation.* Journal of Clinical Monitoring and Computing.

- [Syed et al. 2011] Syed Z, Stultz CM, Scirica BM, Gutttag JV.(2011). Computationally generated cardiac biomarkers for risk stratification after acute coronary syndrome. *Sci Transl Med*. 2011.
- [Taihai et al. 2013] Taihai Chen; Mazomenos, E.B.; Maharatna, K.; Dasmahapatra, S.; Niranjana, M.(2013). Design of a Low-Power On-Body ECG Classifier for Remote Cardiovascular Monitoring Systems. *Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, IEEE Journal on*. IEEE Journals & Magazines, pages 75-85.
- [VanLoon et al. 2010] Van Loon, K.; Guiza, F.; Meyfroidt, G.; Aerts, J.-M.; Ramon, J.; Blockeel, H.; Bruynooghe, M.; Van den Berghe, G.; Berckmans, D.:(2010). Prediction of Clinical Conditions after Coronary Bypass Surgery using Dynamic Data Analysis. *Journal of Medical Systems*.
- [Wang et al. 2013] Wang J, Chung FL, Deng Z, Wang S, Ying W.(2013). Weighted spherical 1-mean with phase shift and its application in electrocardiogram discord detection. *Artif Intell Med*. 2013.
- [Wong et al. 2012] Wong, D.; Clifton, D.A.; Tarassenko, L.(2012). Probabilistic detection of vital sign abnormality with Gaussian process regression. *Bioinformatics & Bioengineering (BIBE), 2012 IEEE 12th International Conference on*. IEEE Conference Publications, pages 187-192.
- [Zhang et al. 2010] Zhang, Lei and Tamminedi, Tejaswi and Ganguli, Anurag and Yosiphon, Guy and Yadegar, Jacob(2010). Hierarchical multiple sensor fusion using structurally learned Bayesian network. *Wireless Health 2010*. ISBN: 978-1-60558-989-3, pages 174-183. ACM.

Image Segmentation Based in Pulse Coupled Neural Network

Daniela O. Albanez, Sérgio F. da Silva, Marcos A. Batista

¹Graduate Program in Modeling and Optimization, Federal University of Goiás
Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, CEP 75704-020, Catalão, GO, Brasil

doalbanez@hotmail.com, sergio@ufg.br, marcos.batista@pq.cnpq.br

Abstract. *This article describes the method of image segmentation using pulse coupled neural networks (PCNN's). The model undergoes a simple change in feeding input with respect to original PCNN, which we consider as input only the image pixel. We will compare the results with results presented in the literature, then we will apply the PCNN to target satellite images and show its effectiveness.*

1. Introduction

Segmentation is usually first step in the analysis of an image, with the idea of segmenting an object by dividing the parts, or parts considered homogeneous according to some criterion uniformity, and ends when the objects interest has been separated.

The image segmentation consist in to subdivide the image into its constituent parts. The idea of image segmentation is to classify pixels of set of pixels. It is the first analysis stage image [Gonzalez and Woods 2002]. Segmentation helps identify differences between two or more objects, both among themselves and between each other and the background.

There are several segmentation techniques being used in literature. In this article we use Pulse Coupled Neural Network (PCNN) for image segmentation.

This technique began to be studied in the 80's and 90's researching the phenomena of synchronous pulse in cat's visual cortex, Eckhorn introduced the linking field network, he discovered that the brain in an oscillating way created binary images that could extract different features from the visual impression [Eckhorn et al. 1990]. With that discovery they developed a neural network, called Eckhorn's network, to simulate this behavior.

In Eckhorn's network, neurons with similar inputs generate pulses simultaneously, filling temporal gaps and varying the magnitude of the input data. According to [Kuntimad and Ranganath 1999] Eckhorn's network has some limitations when it is used for image processing, but network performance depends on the proper selection of the parameters.

Over the years researchers studied neuron models to make it suitable for images processing, with result, applications based on PCNN's are discussed [Kuntimad and Ranganath 1999, Zhang and Shi 2005, Caufield and Kinser 1999]. [Ranganath and Kuntimad 1996] modified Eckhorn's model for image processing applications including image segmentation, smoothing and object detection.

As PCNN is a single-layer neural network model, and in the use of PCNN for image processing, a neuron corresponds to a pixel, at the same time, the neuron corresponding to the pixel link the neighboring neurons. The aim of our paper

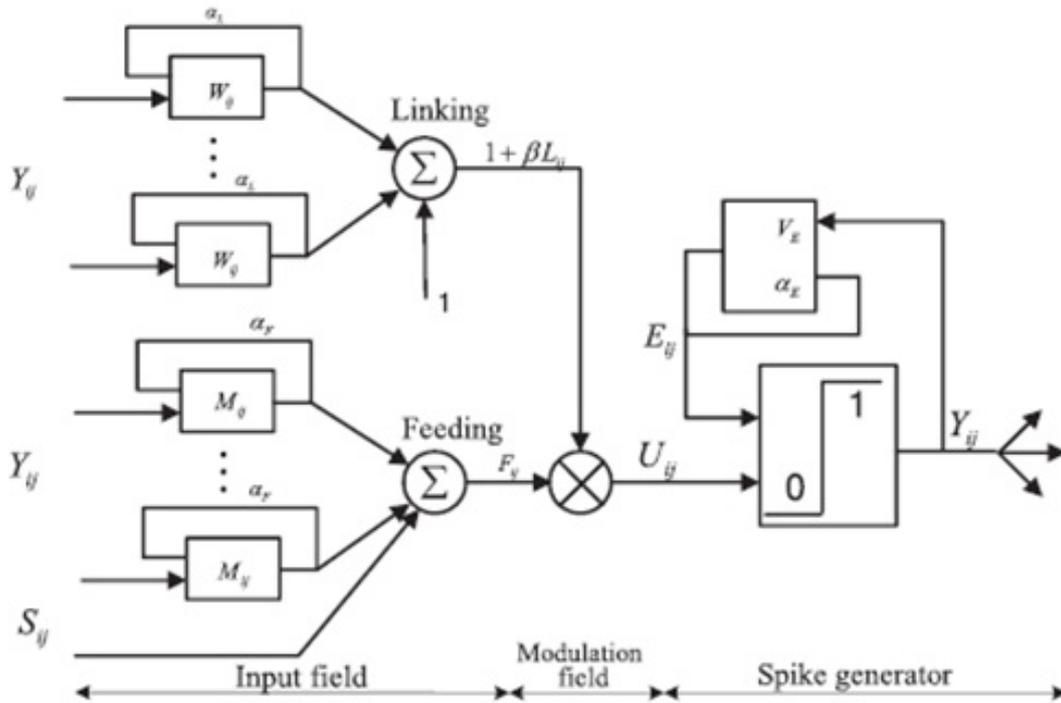


Figure 1. Original PCNN Model [Gao and Guo 2013]

is to describe results of comparative experiences of some images were segmented using pulse coupled neural networks in the literature and present various kinds of Goiás State satellite images which we apply a PCNN and demonstrate the effectiveness of this model through experiments. The results of comparative experiments are present in the [Kuntimad and Ranganath 1999, Wang and Tian 2010, Zhou 2014].

The remainder of the paper is organized as follows: In Sect. 2, we briefly review the original PCNN model. In Sect. 3 we make a short comment on the image segmentation based on PCNN and proposed a model. In Sect. 4, the PCNN image segmentation algorithm is described. In Sect. 5, we compare the results obtained with results presented in the literature and we apply the PCNN to target satellite images. Finally, conclusions are in Sect. 6.

2. Original PCNN Model

In this section, we describe the Pulse Coupled Neural Network (PCNN) and its principle of segmentation. The PCNN model was developed by Eckhorn [Eckhorn et al. 1990] is a simple network that does not require training and the network was constructed by simulating the activities of the cat's visual cortex neurons. PCNN model consists of three main parts [Lindblad and Kinser 2005]: input field, modulation field, and spike generator, as shown in Fig.1. PCNN produces an output of binary pulse images when stimulated with images. The mathematical model of the PCNN can be described in following equations [Song and Liu 2010, Wang and Yang 2010]:

$$F_{ij}(n) = e^{\alpha_F} F_{ij}[n - 1] + V_F \sum_{k,l} M_{i,j,k,l} Y_{ij}[n - 1] + S_{ij} \quad (1)$$

$$L_{ij}(n) = e^{\alpha_L} L_{ij}[n-1] + V_L \sum_{k,l} W_{i,j,k,l} Y_{ij}[n-1] \quad (2)$$

$$U_{ij}(n) = F_{ij}(n)[1 + \beta L_{ij}(n)] \quad (3)$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } U_{ij}(n) > E_{ij}(n), \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$E_{ij}(n) = e^{\alpha_E} E_{ij}(n-1) + V_E Y_{ij}(n) \quad (5)$$

The input field contains two parts: a feeding receptive field $F_{ij}(n)$ and linking receptive field $L_{ij}(n)$. Feeding receptive field is intensity of image pixels (i, j) . S_{ij} is a external stimulus. Linking receptive field is input communicate with neighboring neurons through the weight matrice W . M e W refer to the Gaussian weight function with the distance. Each pixel in the image is connected to a unique neuron and each neuron is connected with surrounding neurons through a radius of linking receptive field. The input F the neuron is receiving the input stimulus S which is its corresponding to the intensity of a pixel of size $M \times N$.

The internal activity of the neuron $U_{ij}(n)$ is result by combining the feeding and linking inputs in the modelation field, where β is the linking coefficient. If the internal activity is large, then the neuron will generate a pulse. V_F and V_L are amplitude constant and α_F and α_L and decay time constant.

Spike generated is composed of the variable threshold comparator and pulse generator. $E_{ij}(n)$ is the dynamic threshold, where α_E is the decay time constant of threshold and V_E is the amplitude constant of the threshold and V_E enhances the threshold value of fired neuron. The PCNN can work meticulously, if smaler α_E and it will take much time to finish the processing, while, larger α_E decrease time of PCNN [Wang and Yang 2010].

When neuron threshold $E_{ij}(n)$ exceeds $U_{ij}(n)$, the spike generator will shut down and threshold began to decrease exponentially [Yang 2009]. If $U_{ij}(n) > E_{ij}(n)$, the neuron will emit a pulse that causes fire, while the corresponding neuron output $Y_{ij}(n) = 1$, this state of firing will be delivered to adjacent neurons if neighbor neurons have similar intensity, now, when the threshold starts decaying until the next internal activity of the neuron. The output of the neuron is then iteratively feedback with a delay of single iteration. The output of the neuron is consequently $Y_{ij}(n) = 0$ when the threshold is larger than the internal activity U .

3. Image Segmentation Based in PCNN

In this section, we present a modified model for image segmentation. In the proposed model, the parameter F was reduced. Image segmentation is an important issue in image processing which is a technique that groups pixels into regions, setting object regions. Segmentation uses the features extracted from the image, for this it is necessary a good selection of parameters for which there is perfect segmentation. The PCNN is a single

neural network model which is more suitable for real-time image processing. In the use of PCNN for image processing, it is usually that a neuron corresponds to a pixel.

More and more researchers have sought knowledge to segmentation images using pulse coupled neural network, we can name some examples low:

[Wang and Tian 2010] used simplified PCNN for separating the cucumber from background.

[Lei and Yang 2010] used a new algorithm based on bidirectional search pulse-coupled neural network (BPCNN) in the color image segmentation.

[Song and Liu 2010] proposed a multi-target image segmentation algorithm based on the improved PCNN model.

[Li and Gao 2013] proposed a immune algorithm which helped PCNN parameters be to adjusted adaptively.

[Gao and Guo 2013] proposed a iterative algorithm of [Li and Gao 2013] for automatic image segmentation.

When it speaks to image processing we have a wide field of research and these researchers referred to above are just the start to an even wider knowledge that is under development. Similar to the mathematical model of the PCNN, the proposed model is described by the following process:

$$F_{ij}(n) = S_{ij} \quad (6)$$

In this model we propose only change the feeding receptive field F , we consider as input only the image pixel S . While the other equations remain the same, as shown in Fig.2.

When PCNN is used in the image segmentation, the number of neurons in the network is equal to the number of pixels in the input image. One-to-one correspondence exists between image pixels and neurons. Equation (6) indicates that each pixel's intensity is inputted to the F_{ij} channel of the neuron that is connected with it. Meanwhile, each neuron is connected with neurons by the L_{ij} channel in its 8-neighbor field, equation (2). Each neuron's output has two states, 1(firing) or 0(no firing). In (4), Y_{ij} is the output of neuron. Equations (2)-(6) describe how each neuron operates and is arranged in PCNN for image segmentation.

4. PCNN Based Image Segmentation Algorithm

First, introduce the symbols that will be used in PCNN image segmentation algorithm. F is the feeding input matrix, is the input image grayscale. L is the linking input matrix, m is Gaussian matrix

$$\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{4\sqrt{2}+8} & \frac{2}{4\sqrt{2}+8} & \frac{\sqrt{2}}{4\sqrt{2}+8} \\ \frac{2}{4\sqrt{2}+8} & 0 & \frac{2}{4\sqrt{2}+8} \\ \frac{\sqrt{2}}{4\sqrt{2}+8} & \frac{2}{4\sqrt{2}+8} & \frac{\sqrt{2}}{4\sqrt{2}+8} \end{bmatrix} \cdot$$

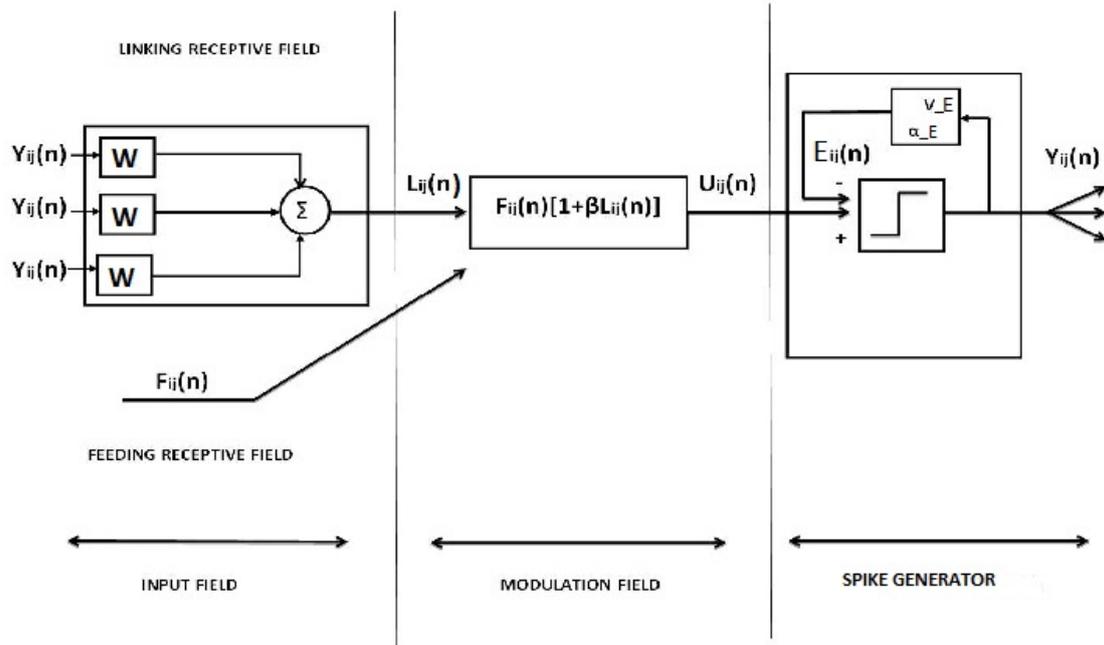


Figure 2. PCNN model proposed

Y is the neuron output matrix. U is the internal activity matrix and E is the threshold matrix. Seg is the segmentation matrix. α_E is the decay time constant of threshold and V_E is the amplitude constant of the threshold. V_L and α_L are amplitude constant and decay time constant, respectively. Re is the matrix that is used to save the image segmented result. Each neuron has the same linking coefficient β . F, L, U, E, Y, Seg, Re have the same dimensions equal to the image size. "*" indicates array multiplication.

PCNN image segmentation algorithm is described in the following.

1. Initialize with the input image to grayscale and determine the parameters of pulse-coupled neural network, α_L ; α_E ; V_L ; V_E ; β and K is the number of interactions.
2. $F = S$.
3. $L = e^{\alpha_L} L[n - 1] + V_L \sum_{k,l} W_{i,j,k,l} * Y[n - 1]$.
4. $U = F * [1 + \beta L]$.
5. $E = e^{\alpha_E} E[n - 1] + V_E Y$.
6. If $Y = 1$; $Seg(i, j)$
else $Y = 0$, go back to 3.
7. Then save it as the image segmentation Re , end.

In step 1), enters with the input image grayscale and determines the parameters of the network, each image was used a certain value to the parameters, so that the end result is a perfect segmentation.

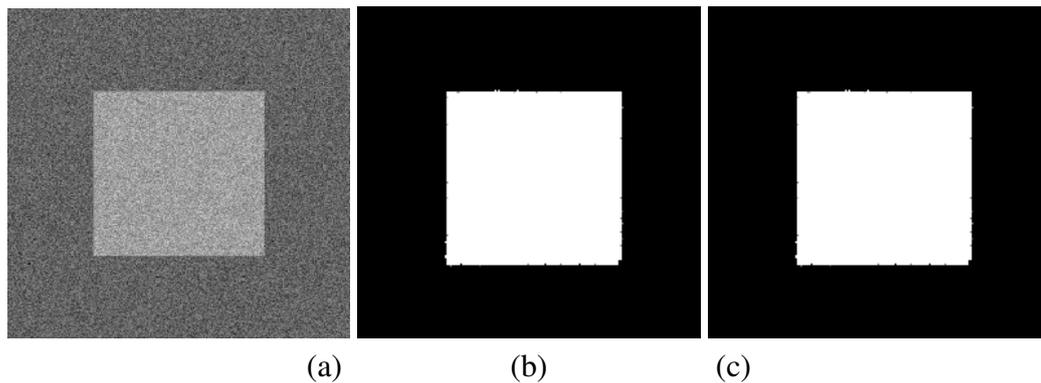


Figure 3. (a)Original image [Kuntimad and Ranganath 1999]. (b)Segmented image [Kuntimad and Ranganath 1999]. (c) Image segmentation by PCNN.

From step 2) to step 5), according to the characteristic of PCNN, segment the original image to obtain the segmentation result considering of places of pixels and the similarity of the intensity of the same area in the original image.

In step 6), when a neuron has fired, increase its threshold to the constant large enough to prevent it from firing again. The result of image segmentation ,Re , obtains in step 7).

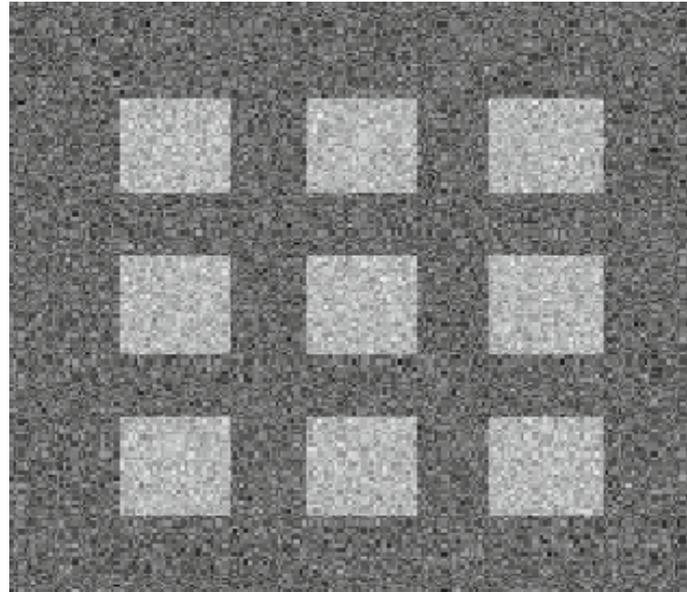
5. Experiments Results

In this section, we compare and discuss the experimental results presented in [Kuntimad and Ranganath 1999, Wang and Tian 2010, Zhou 2014] with what we have accomplished, moreover, we present experimental results with satellite images.

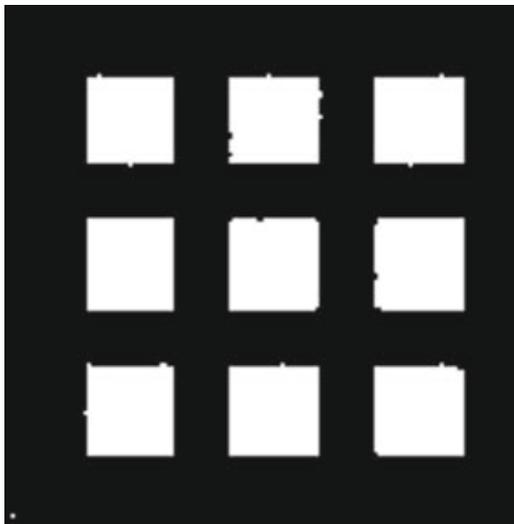
In Figure 3(a) shows the original image and the result obtained by [Kuntimad and Ranganath 1999] in Figure 3(b) with values $\beta = 0.4, V_E = 300, \alpha_E = 15, V_L = 1.0$ and $\alpha_L = 0.5$. The result when applying PCNN segmentation is represented in Figure 3(c) with values $\beta = 0.1, V_E = 50, \alpha_E = 1.0, V_L = 1.0$ and $\alpha_L = 1.0$. We observed that despite presenting some parameters with different values, the result obtained was the same as [Kuntimad and Ranganath 1999].

In Figure 4(a) shows the original image [Zhou 2014]. In his work [Zhou 2014] compares various methods of image segmentation to the model proposed by him, thus showing the effectiveness of a PCNN as we see the result obtained by [Zhou 2014] in Figure 4(b) with values $\beta = 0.1, V_E = 20, \alpha_E = 1.0, V_L = 0.2, \alpha_L = 1.0, \alpha_F = 0.1$ and $V_F = 0.5$. The result when applying PCNN segmentation is represented in Figure 4(c) with values $\beta = 0.1, V_E = 50, \alpha_E = 1.0, V_L = 1.0$ and $\alpha_L = 1.0$. Again we note that despite having some parameters with different values the result was the same as [Zhou 2014].

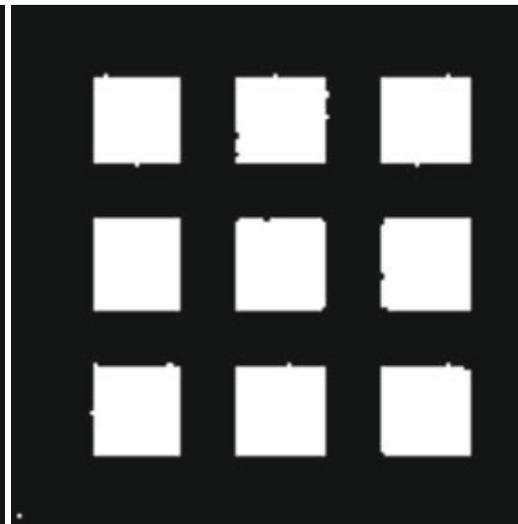
In Figure 5(a) shows the original image [Wang and Tian 2010]. In his work [Wang and Tian 2010] used the simplified model PCNN to separate the cucumber complex background, in Figure 5(b) the parameters used were $V_E = 100$ and $\alpha_E = 0.90$. The result when applying PCNN segmentation is represented in Figure 5(c) with values $\beta = 0.1, V_E = 40, \alpha_E = 1.0, V_L = 0.7$ and $\alpha_L = 1.0$. Unlike the previous figures, in Figure 4(c) shows an improvement in Cucumber segmentation, setting better its format.



(a)



(b)



(c)

Figure 4. (a)Original image [Zhou 2014]. (b)Segmented image [Zhou 2014]. (c) Image segmentation by PCNN.

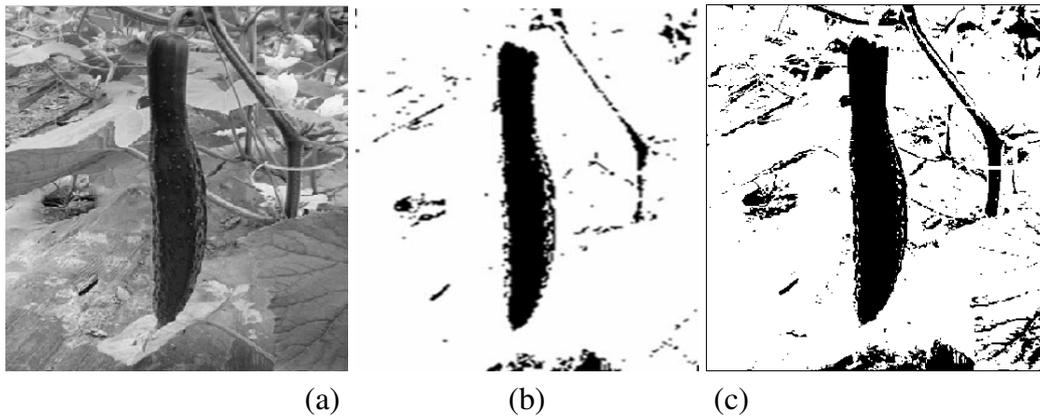


Figure 5. (a)Original image [Wang and Tian 2010]. (b)Segmented image [Wang and Tian 2010]. (c)Segmented image using PCNN

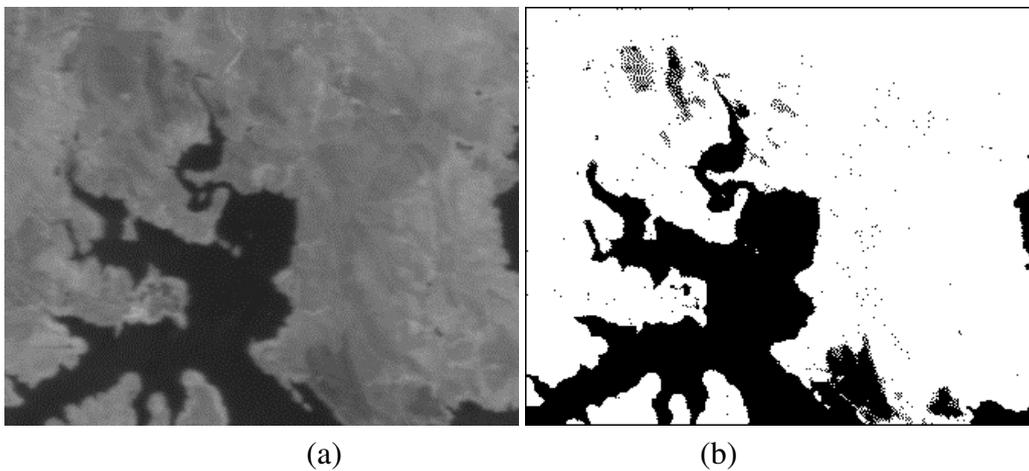


Figure 6. (a)Satellite image of reservoir and dam between the municipalities of Cascallho Rico and Três Ranchos in the state of Goiás in Brazil. (b)Image segmentation 6(a).

The proposed method is also applied on satellite images which contains water and agriculture area. In Figure 6(a) shows a satellite image of reservoir and dam between the municipalities of Cascallho Rico and Três Ranchos. The result when applying PCNN segmentation is represented in Figure 6(b) with values $\beta = 0.1, V_E = 40, \alpha_E = 1.0, V_L = 0.7$ and $\alpha_L = 1.0$. In Figure 7(a) shows a satellite image of the river Paranaíba in the state of Goiás in Brazil. The result when applying PCNN segmentation is represented in Figure 7(b) with values $\beta = 0.1, V_E = 40, \alpha_E = 1.0, V_L = 0.7$ and $\alpha_L = 1.0$. We realize that PCNN makes a perfect segmentation of water.

In Figure 8(a) and Figure 9(a) shows a original satellite images determining agriculture areas. The result when applying PCNN segmentation is represented in Figure 8(b) with values $\beta = 0.1, V_E = 60, \alpha_E = 1.0, V_L = 0.7$ and $\alpha_L = 1.0$. The result when applying PCNN segmentation is represented in Figure 9(b) with values $\beta = 0.1, V_E = 60, \alpha_E = 1.0, V_L = 0.9$ and $\alpha_L = 1.0$. We realize that PCNN makes a perfect segmentation of agriculture areas.

As can be seen from the presented results, the PCNN is giving good result for

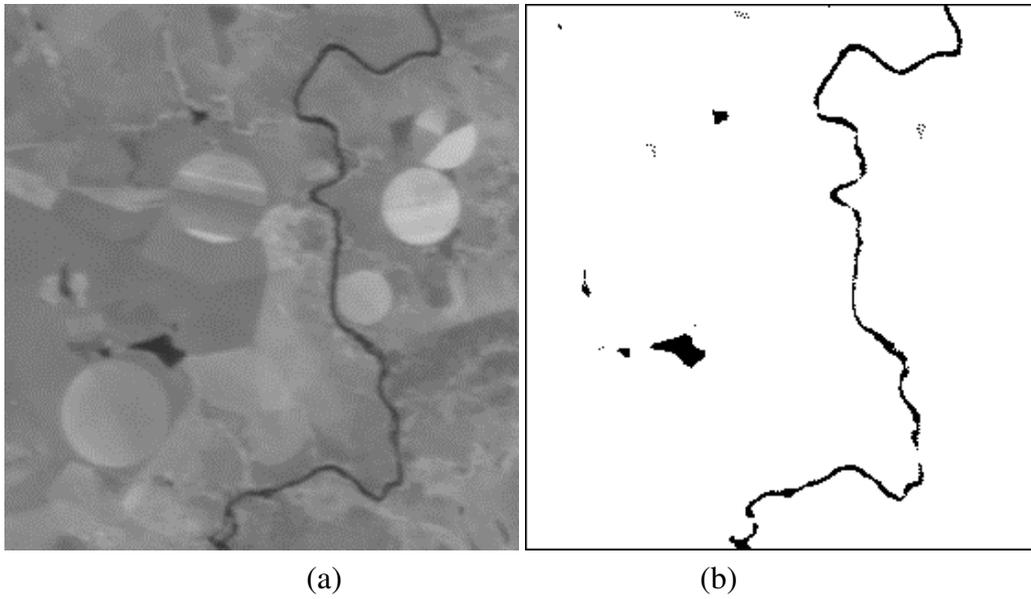


Figure 7. (a)Satellite image of the river Paranaíba. (b)Image segmentation 7(a).

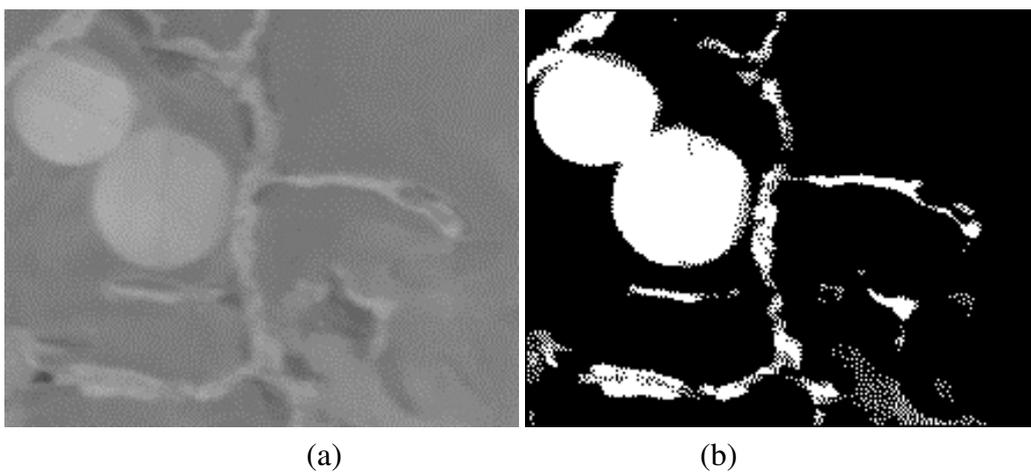


Figure 8. (a)Original satellite image of agriculture areas . (b)Image segmentation 8(a).

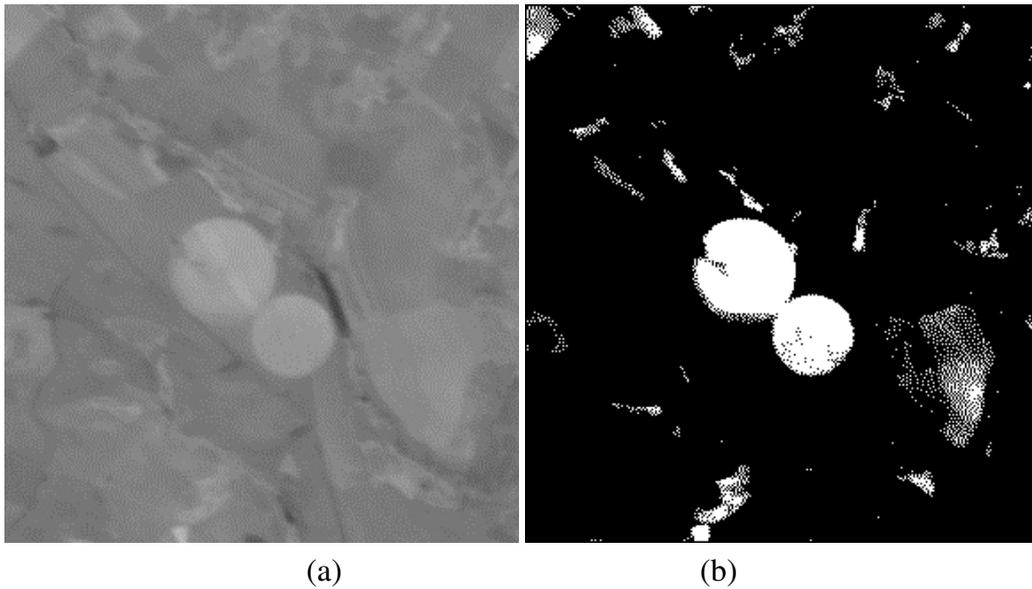


Figure 9. (a)Original satellite image of agriculture areas . (b)Image segmentation 9(a).

images and also satellite images of Goiás State region in Brazil.

6. Conclusions

In this article we compared results of our neural network with results presented in the literature and we present results of the segmentation of satellite imagery of the State of Goiás in Brazil obtained using pulse coupled neural network. As one could see, although we have implemented a simple neural network to network presented promising results, the results indicate that PCNN network was effective in satellite imagery segmentation determining irrigation areas and rivers, demonstrating its potentiality.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Coordination of Higher Education Personnel Training (Capes), Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and Research Support Foundation of Goiás State (FAPEG) for the financial support.

References

- Caufield, H. J. and Kinser, J. M. (1999). Finding shortest path in the shortest time using pcnn's. volume 10, pages 604 – 606. IEEE Transactions on Neural Networks.
- Eckhorn, R., Reitboeck, H. J., Arndt, M., and Dicke, P. (1990). *Neural Computation*. Mit Press.
- Gao, C.; Zhou, D. and Guo, Y. (2013). Automatic iterative algorithm for image segmentation using a modified pulse-coupled neural network. volume 119, pages 332 – 338. Neurocomputing.
- Gonzalez, R. and Woods, R. (2002). *Digital Image Processing*. Prentice-Hall, 2th edition.

- Kuntimad, G. and Ranganath, H. (1999). Perfect image segmentation using pulse coupled neural network. pages 591 – 597. IEEE Transactions on Neural Networks.
- Lei, K. and Yang, L. (2010). A new algorithm of image segmentation based on bidirectional search pulse-coupled neural network. pages 101 – 104. IEEE International Conference on Computational Aspects of Social Networks.
- Li, J.; Zou, b. D.-L. and Gao, X. (2013). Image segmentation with pcnn model and immune algorithm. volume 8, pages 2429 – 2436. Journal of Computers (Finland).
- Lindblad, T. and Kinser, J. M. (2005). *Image Processing Using Pulse-Coupled Neural Networks*. Springer, 2th edition.
- Ranganath, H. S. and Kuntimad, G. (1996). Iterative segmentation using pulse-coupled neural networks. volume 2760, pages 543 – 554. Proc. SPIE.
- Song, Yin-Ma; Z. X.-H. and Liu, G.-I. (2010). One segmentation algorithm of multi-target image based on improved pcnn. volume 10. International Workshop on Intelligent Systems and Applications, IEEE Transactions on Neural Networks.
- Wang, Haiqing; Ji, C. G.-B. and Tian, G. (2010). A simplified pulse-coupled neural network for cucumber image segmentation. pages 1053 – 1057. IEEE International Conference on Computational and Information Sciences.
- Wang, Zhaobin; Ma, Y. C.-F. and Yang, L. (2010). Review of pulse-coupled neural networks. pages 5–13. Image and Vision Computation.
- Yang, B. (2009). Search in two-way pulse coupled neural network and image segmentation. volume 28. J. Automation Technology and Application.
- Zhang, J.; Dong, J. and Shi, M. (2005). An adaptive method for image filtering with pulse-coupled neural networks. Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing.
- Zhou, Dongguo; Gao, C. G.-Y. (2014). A coarse-to-fine strategy for iterative segmentation using simplified pulse-coupled neural network. volume 18, pages 557 – 570. Soft Comput.

