

Utilização de tecnologia vestível para acompanhamento de idosos e enfermos

Guilhermino Marcos Silva Afonso¹, Jonathan de Matos¹, Lucas Vieira Werner¹

¹Departamento de Informática

Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) – Ponta Grossa – PR – Brasil

{guilherminomarcos, jonathandematos}@gmail.com, lucaswerner@outlook.com.br

Abstract. *An important health technology area of study is the remote monitoring of patients. This article presents a case study of different remote monitoring technologies and wearable technologies applied in medicine. In addition, it proposes the creation of a wearable technology to address problems related to the health of the elderly portion of the population, which has an expressive growth and need for attention.*

Resumo. *Uma importante área de estudo da tecnologia em saúde corresponde ao monitoramento remoto de pacientes. Este artigo realiza um estudo de caso, de diferentes tecnologias de monitoramento remoto e tecnologias vestíveis aplicadas na área da medicina. Além disso, propõe a criação de uma tecnologia vestível para suprir os problemas relacionados à saúde de idosos, parcela da população de grande crescimento e necessidade de atenção.*

1. Introdução

A tecnologia na área da saúde deixou de ser apenas uma realidade de hospitais referência e passou a fazer parte de clínicas e consultórios [TIC Saúde 2014]. Avanços na área de tecnologia em saúde possibilitaram o alcance a uma infinidade de informações externas ao consultório médico, as quais podem ser analisadas e utilizadas pelo médico. Além disso, essas informações também podem ser utilizadas pelo próprio paciente, dentro ou fora do ambiente hospitalar. Toda essa tecnologia só está agora disponível devido às novas plataformas que vem surgindo neste setor.

Durante a última década, avanços rápidos nos serviços de saúde e de comunicação sem fio de baixo custo têm contribuído na resolução de problemas na área da saúde, motivado principalmente pelo desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação e pela diminuição no custo dos equipamentos utilizados. A integração das comunicações móveis com os sensores eletrônicos facilita a transição dos serviços primariamente centrados na clínica, para serviços centrados no paciente. Pela literatura, essa mudança é denominada como Telemedicina [Kakria, Tripathi e Kitipawang 2015].

Atualmente, a telemedicina é definida como o uso de informações médicas por meio da comunicação eletrônica visando beneficiar a saúde do paciente e a educação dos profissionais da saúde. Ela também pode ser caracterizada como o emprego de sinais eletrônicos para transferir informações médicas (fotografias, imagens em radiologia, áudio, dados de pacientes, videoconferências) de um local a outro, através da Internet, de computadores, de satélites ou de equipamento de videoconferência, com a finalidade de melhorar o acesso à saúde.

Um exemplo marcante da telemedicina são os chamados *EHRs - Electronic Health Record*, no Brasil conhecido como PEP - Prontuário Eletrônico do Paciente. Nos últimos anos, ocorreu um aumento expressivo na utilização dessas tecnologias. Pesquisas mostram que nos EUA 80% dos médicos usam ou pretendem usar um sistema de prontuário eletrônico nos próximos anos, seja para facilitar a vida do médico na organização do consultório ou para melhorar a qualidade do atendimento e da consulta para os pacientes [PWC 2014].

Em geral, a telemedicina pode ser dividida em dois tipos: comunicação ao vivo, a qual ultrapassa a necessidade do médico de encontrar-se pessoalmente com o paciente, possibilitando que as informações do paciente sejam enviadas ao médico quando necessário. O que caracteriza a comunicação ao vivo é a necessidade da presença do médico e do paciente contando com os requisitos adicionais como alta largura de banda e boa velocidade de dados. O segundo tipo é armazenar e transmitir, o qual exige a aquisição de parâmetros médicos, tais como sinais vitais, imagens, vídeos e transmissão de dados do paciente para o especialista no hospital.

Como se pode imaginar, a telemedicina é uma área muito abrangente e possui uma importante vertente que corresponde às tecnologias de monitoramento. De acordo com recentes pesquisas tecnológicas neste ramo, várias funcionalidades tem sido desenvolvidas para cuidar de pacientes com as mais variadas enfermidades como doenças cardíacas, diabetes, hipertensão, hipertermia, hipotermia. Os recursos tecnológicos atuais também podem ser utilizados para monitoramento remoto de pacientes em constante avaliação física para fins esportivos, pacientes sob algum tratamento médico e quando a presença física não é possível. Além disso, podem ser aplicados em ambientes onde um grupo de pessoas necessitam de atenção especial, caso não exista uma equipe médica ou cuidador de plantão, como por exemplo em asilos e casas de reabilitação. Na medicina geral, estes recursos podem ser utilizados desde o primeiro contato entre o médico e o paciente, na formulação do diagnóstico, durante o tratamento clínico, inclusive em cirurgias com o auxílio de algum meio de comunicação.

Apesar da integração de informações médicas com as informações pessoais disponibilizadas pelos próprios pacientes ser uma tendência para o futuro, existem diversas barreiras. Uma delas corresponde a barreira legal, especialmente quando se trata da utilização de informações pessoais para laudos clínicos. Outras barreiras são, por exemplo, o custo impeditivo, além da dificuldade de utilização por pessoas menos adaptadas a tecnologias como idosos.

Segundo uma pesquisa da PWC, os dispositivos vestíveis tendem a ser utilizados por jovens do sexo masculino com idade de 18 a 34 anos. Porém, indicativos mostram que, devido às mudanças demográficas da população, uma nova leva de faixa etária entre 35 a 54 anos está por vir [PWC 2014].

As altas taxas de natalidade no final do século XX, aliada a uma considerável melhora na qualidade de vida dos idosos, contribuíram para o aumento da expectativa de vida da população, a qual pode ser observada na figura 1 e 2:

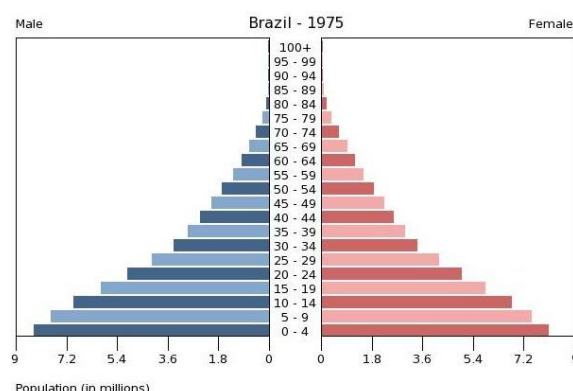


Figura 1. População por faixa etária 1975 [IBGE 2012]

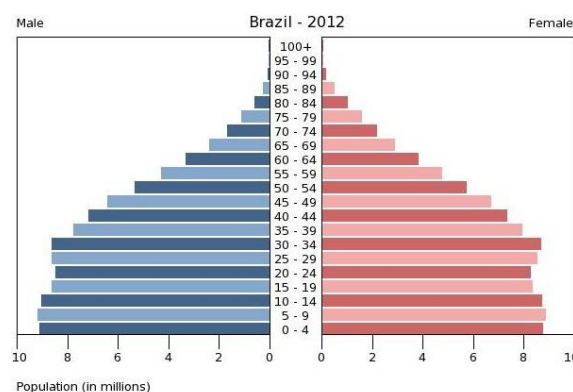


Figura 2. População por faixa etária 2012 [IBGE 2012]

Segundo dados do IBGE, o ano de 2012 apresentou a expectativa de vida média de 74,9 anos. Além disso, o IBGE mostra que o número de brasileiros acima de 65 anos deve quadruplicar até 2060. Com isso, cresce a necessidade de suporte e cuidados com essa parcela representativa da população, em especial nos serviços ligados à saúde.

A comunidade científica comumente utiliza os termos *Mobile Health* (mHealth, saúde móvel) e *Wearable Health Monitoring* (computação vestível para monitoramento da saúde) para designar a prática de cuidados médicos suportados por processos eletrônicos e de comunicação [Rios e Bezerra 2014].

Contudo, ainda existem alguns desafios na construção e utilização de sistemas de monitoramento: custo elevado dos sistemas de monitoramento disponíveis no mercado, a não integração (equipe médica, parentes) de modo a se prover uma solução flexível, soluções de tecnologia proprietárias que podem impedir melhorias ou até impedir a integração com outros dispositivos.

A oferta de soluções de baixo custo é fundamental para a viabilidade de utilização deste tipo de serviço por parte dos pacientes sem recursos financeiros ou planos de saúde. Os sistemas de monitoramento devem ser flexíveis e ter certa autonomia para disparar alertas. Um exemplo disso é caso aconteça uma parada cardíaca: além do dispositivo alertar o parente do acontecido, deve também chamar a ambulância para o local onde está o paciente. Para reduzir os custos da tecnologia proposta, uma opção é a preferência ao

uso de tecnologias *open source* na construção desses novos sistemas.

O termo open source, também conhecido como código aberto, refere-se a algo que pode ser modificado e compartilhado porque seu design é acessível ao público. Projetos de código aberto são aqueles que incentivam a troca de informações, a participação colaborativa, prototipagem rápida, a transparência e desenvolvimento da comunidade [Hippel 2001].

Neste contexto, este trabalho propõe um sistema de monitoramento vestível de baixo custo, mediante a utilização de sensores acoplados e integrados em um microcontrolador, utilizando tecnologia *open source* e oferecendo ao usuário uma interface simples e intuitiva.

2. Trabalhos relacionados

Existem diversos trabalhos na literatura relacionados a tecnologia vestível, monitoramento remoto de pacientes e análise de incertezas de dados obtidos por meio de sensores.

Um dos trabalhos mais relevantes do assunto é o *Real-Time Health Monitoring System for Remote Cardiac* [Kakria et al. 2015]. Neste estudo, é apresentado um sistema de monitoramento em tempo real para acompanhar pacientes cardíacos. O sistema é composto de sensores vestíveis, aplicação mobile e interface web. O sensor detecta frequência cardíaca, pressão arterial, temperatura e passa as informações para o celular via Bluetooth, a informação coletada é transferida para a interface web via WiFi/3G, usada pelo médico. A solução permite análise confiável dos dados e possui um monitoramento completo para os fins propostos. Em contrapartida, possui limitações relacionadas a falsos alarmes e ao consumo de bateria devido à tecnologia 3G.

O trabalho Telemedicina: Uma Revisão da Literatura [Soirefmann, Blom, Leopoldo e Cestari 2008] tem um enfoque sobre as várias formas e aplicações da telemedicina como tele-educação, tele-assistência, custo-efetividade e como este modelo se apresenta dentro do Brasil. Ele descreve como o crescimento das inovações tecnológicas na área da computação, nas imagens digitais de alta resolução, na robótica e na internet impactaram na forma como a informação passou a ser disponibilizada na medicina.

Outro trabalho importante é o Modelo arquitetural para geração de alertas [Araújo, Valentim, Lacerda, Carvalho, Dantas e Diniz 2012], o qual trata sobre os alertas gerados pelos equipamentos biomédicos usados para monitoramento de pacientes. O tempo para gerar e mandar os alertas segue restrições de tempo recomendadas, a fim de melhorar a tomada de decisão pelos profissionais de saúde. Para este fim, foi desenvolvida uma arquitetura para gerar e mandar alertas sobre o monitoramento do paciente, baseada em um sistema de agendamento em tempo-real, utilizando computação móvel, ubíqua e sensível ao contexto. Os resultados obtidos se encaixam nos requisitos descritos pela literatura. Apesar disso, a solução não possui um mecanismo tolerante a falha e também não foi estabelecido critérios de segurança para as informações usadas pela arquitetura.

O estudo *An Open Architecture Patient Monitoring System Using Stadart Technologies* [Várady, Benyó e Benyó 2002] propôs um protótipo de um sistema remoto de monitoramento do paciente, composto de um monitor de cabeceira, uma unidade de ambiente, uma unidade de atuador rudimentar e um monitor central. Os dispositivos se comu-

nicam por meio do Profibus DP, um padrão de comunicação industrial. A solução possui como pontos fortes a escalabilidade, interfaces padrão e possibilidade de interpretação flexível dos sinais. Em contrapartida o design do sistema negligencia alguns aspectos importantes do monitoramento como as reais propriedades dos sinais vitais e seus intervalos.

O artigo *Socio-economic effects and cost saving potential of remote patient monitoring* [Perl e Stiegler 2013] propôs um sistema de monitoramento inserido diretamente no marcapasso de pacientes cardíacos. Para tal, foi utilizado o *BIOTRONIK Home Monitoring-System*, o qual mostrou ser seguro e apresentou benefícios clínicos, com redução de procura médica por parte dos pacientes.

A proposta que mais se aproxima, apesar de utilizar outro tipo de tecnologia vestível, do proposto no trabalho é a WHMS4 – Um Sistema de Monitoramento Remoto de Pacientes de Forma Integrada, Flexível, Escalável e com Baixo Custo, Este trabalho propõe um sistema de monitoramento de sinais vitais de pacientes denominado WHMS4 (*Wearable Health Monitoring Simple Secure and Scalable System*) [Rios e Bezerra 2014], mediante a utilização de um conjunto de sensores acoplados a roupa e integrados em um microcontrolador, o sistema possui sistema de ociosidade limitando seu funcionamento, para melhor aproveitamento de bateria.

A arquitetura do sistema é dividida em componentes onde cada componente é responsável por uma etapa do processo de monitoramento (Figura 3), sendo a camiseta com os hardwares presentes, celular como meio transmissor, e suas diversas interfaces de visualização

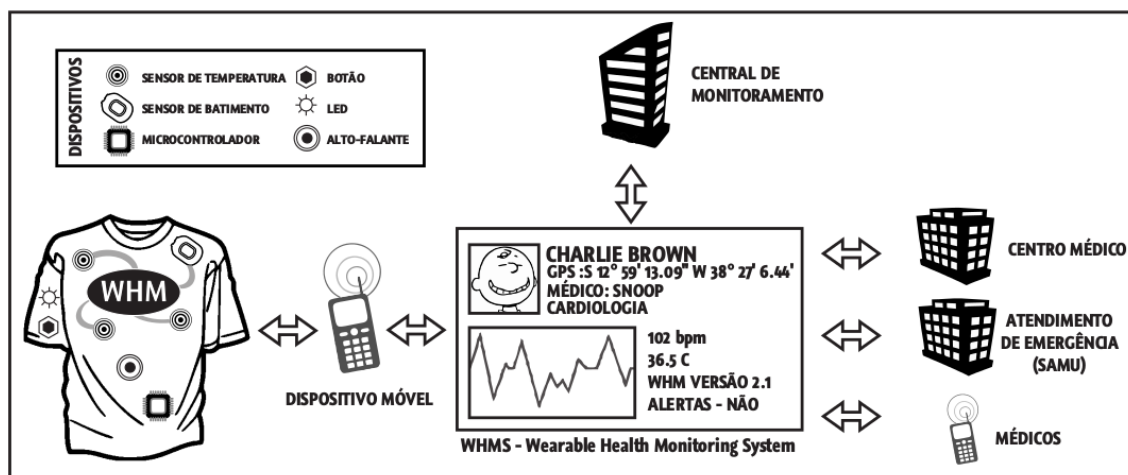


Figura 3. Arquitetura WHMS4 [Rios e Bezerra 2014]

3. Metodologia

Este trabalho desenvolve uma tecnologia vestível para monitoramento remoto e diagnóstico de forma a detectar anomalias em tempo real que ajuda a evitar doenças e auxilia na reabilitação de pacientes que se recuperam de alguma doença.

O sistema de monitoramento em tempo real foi desenvolvido usando como base a plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre Arduino Nano modelo 3. A mesma é equipada com o um microcontrolador Atmega 328 e conta com 14 pinos digitais, que podem ser usados tanto como entrada ou saída de dados.

Nestes pinos digitais foram conectados sensores eletrônicos para extrair dados que ajudam a computar várias informações médicas e espaciais, tais como: batimento cardíaco, temperatura corporal, posição relativa no ambiente e localização geográfica tudo ao mesmo tempo. Estas informações ajudam a detecção precoce de doenças tais como arritmia, também auxilia na detecção imediata como taquicardia, hipotermia, hipertermia através de um sistema de alarme com base no limite superior e inferior, assim como mudanças bruscas nos valores do giroscópio e acelerômetro que ajudam na detecção de uma posição relativa no ambiente podendo identificar uma queda, também a localização geográfica pode auxiliar no caso de perda, que é comum em pacientes com Alzheimer e alguns idosos, ou no caso de uma emergência de forma a saber a localização exata do enfermo.

Para a obtenção da frequência cardíaca do paciente foi utilizado o sensor *Pulse sensor amped* [Pulse Sensor 2016], que é um sensor de hardware livre que contém um LED e um fotodiodo sensível à luz, que são comumente usados em celulares, tablets e laptops, para ajustar o brilho da tela em ambientes de pouca luz. O sangue é vermelho, pois reflete luz vermelha e absorve luz verde. O LED verde é associado ao fotodiodo sensível à luz para detectar a quantidade de sangue que flui pelo pulso a qualquer momento. Quando o coração bate, o fluxo de sangue no pulso (e, portanto, a absorção de luz verde) é maior. Entre batimentos, o fluxo é menor. Ao piscar o LED centenas de vezes por segundo, é possível calcular o número de vezes que o coração bate a cada minuto, ou seja, sua frequência cardíaca [Martins 2010].

Para obtenção da temperatura corporal e da posição relativa no ambiente foi utilizado o sensor de hardware livre MPU-6050 que contém em um único chip um acelerômetro e um giroscópio tipo MEMS, com três eixos para o acelerômetro e três eixos para o giroscópio, sendo ao todo 6 graus de liberdade. Também possui um sensor de temperatura embutido, permitindo medições entre -40 e +85 °C. O sensor de temperatura é na verdade um termistor, que é um semicondutor sensível a temperatura ou seja, com o aumento da temperatura a resistência diminui podendo assim ser medida a temperatura corporal [Souza 2016]. O acelerômetro e o giroscópio são chamados de sensores inerciais, porque têm por objetivo perceber os efeitos da ação de forças que provoquem uma mudança do estado inercial de sistemas sobre os quais estas forças são exercidas, sensores estes baseados na tecnologia MEMS [Lee 2011]. Sensores inerciais são dispositivos MEMS capazes de monitorar variações de velocidade e aceleração, linear ou angular, direta ou indiretamente, através da conversão de forças inerciais em alguma mudança física conhecida que possa ser capturada por um transdutor correspondente e convertida em um sinal elétrico. Este sinal elétrico é submetido a processos de filtragem linear e não-linear a fim de se criar uma estimativa do sinal de entrada. A saída final representará um valor calibrado da aceleração ou velocidade medida [Kempe 2011]. Com isso é possível detectar se o usuário está parado, caminhando ou correndo, também é possível detectar se ele está em pé, sentado ou deitado. No caso de uma mudança muito brusca da aceleração angular podemos considerar como uma queda por exemplo.

Para o conhecimento da localização utilizamos o módulo GPS *Global Position System* que permite através da utilização da conexão com satélites saber precisamente a altitude, longitude e latitude do módulo.

Também foi utilizado o módulo GSM/GPRS *Global System for Mobile Commu-*

nications e *Geral Package Radio System* de modelo SIM800L, que permite com o uso de um cartão SIM o envio e recebimento mensagens de texto usando o serviço SMS *Short Message Service*, envio e recebimento de pacote de dados da internet usando o protocolo HTTP *Hypertext Transfer Protocol* que é um protocolo de comunicação utilizado para sistemas de informação de hipermídia, distribuídos e colaborativos. A vantagem do uso do HTTP é que ele é muito flexível.

Em paralelo ao sistema de monitoramento, foi desenvolvida uma interface que pode ser usado pelo usuário, pelo cuidador ou pelo médico responsável. Os sensores eletrônicos capturam os dados que são convertidos em informações médicas dos pacientes, estas informações são então enviadas usando o protocolo HTTP para uma plataforma de rede distribuída que é responsável por salvar as informações em banco, atualizar as informações na interface mobile e disparar algum evento se for necessário, como por exemplo uma notificação no celular do cuidador. No caso de não ser possível a conexão com a internet as informações são enviadas por SMS ao celular do cuidador, a interface mobile está programada para ler as mensagens de texto que o celular recebe, podendo assim atualizar as informações e envia-las para o plataforma de rede distribuída continuando assim o fluxo normal de dados. A arquitetura do sistema é de três camadas compreendendo uma interface do paciente, a tecnologia vestível, a interface do usuário, um *smartphone* ou dispositivo capaz de acessar a internet e possui um navegador e uma plataforma de rede distribuída.

4. Resultados

Para o desenvolvimento do dispositivo vestível, foi utilizado a plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre Arduino Nano modelo 3. A escolha do hardware livre se deve ao fato de que desta forma outros pesquisadores podem replicar o trabalho, fazer alterações e sugerir melhorias. Também foi usado o módulo de gps neo6mv2, módulo de acelerômetro giroscópio e sensor de temperatura Mpu-6050, módulo de batimentos cardíacos Pulse Sensor. Para o envio dos dados, foi utilizado o módulo gsm sim-800l e o circuito foi montado de acordo com a representação na figura 4.

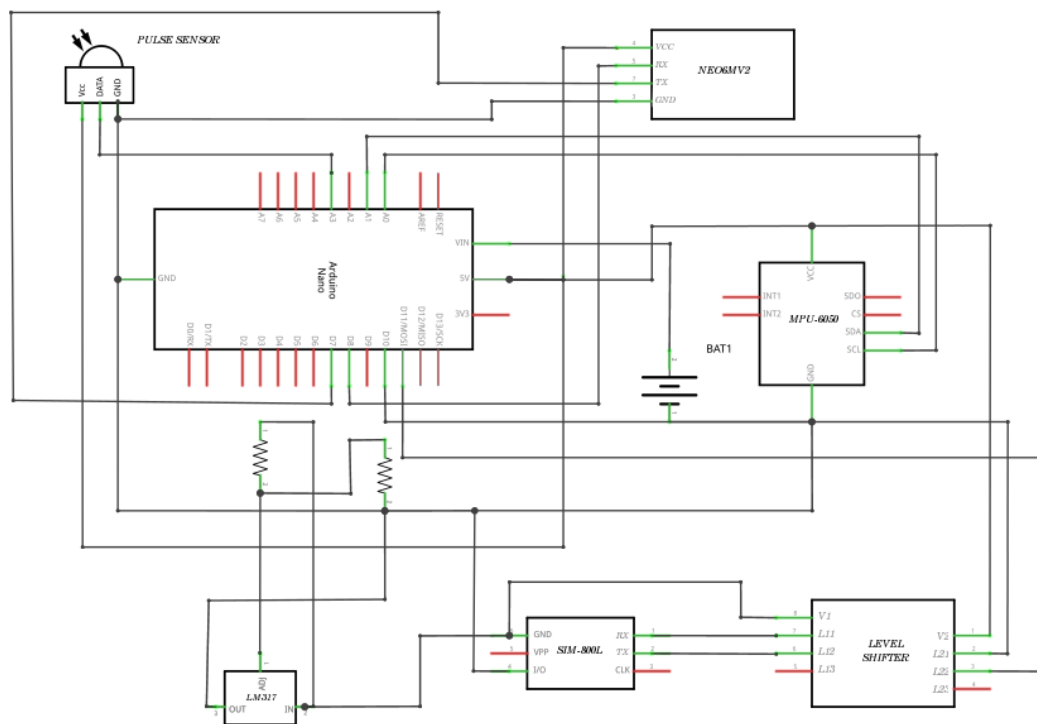


Figura 4. Circuito da tecnologia vestível [Autor 2016]

Para o desenvolvimento do software, foi criada uma interface web, utilizando-se do protocolo WAMP - *Web Application Messaging Protocol*, o qual torna capaz a comunicação instantânea entre hardware e software. Também foi utilizado o Crossbar.io, um *Web Server open-source* que se utiliza do protocolo WAMP, implementado na linguagem Python. Além disso, a linguagem nodejs foi usada para implementação do *back-end* e twitter bootstrap para o *front-end*, o funcionamento da aplicação é representado através do caso de uso (Figura 5).

A captação das informações da aplicação é representado através do diagrama de sequência (Figura 6).

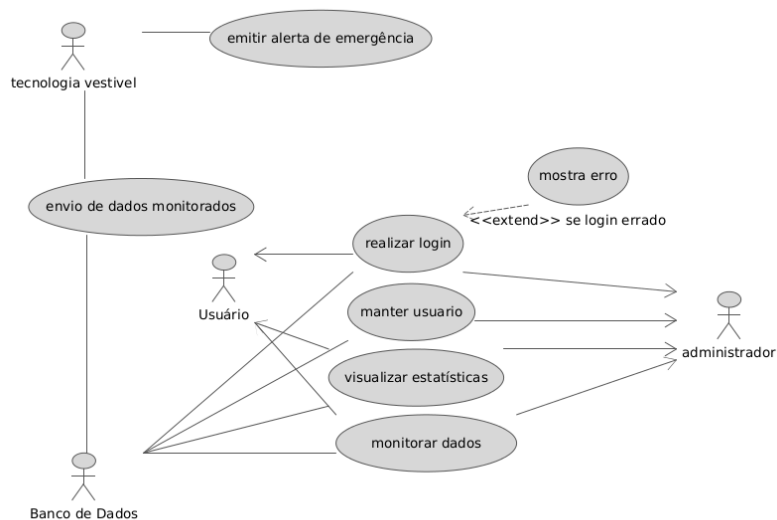


Figura 5. Diagrama de caso de uso [Autor 2016]

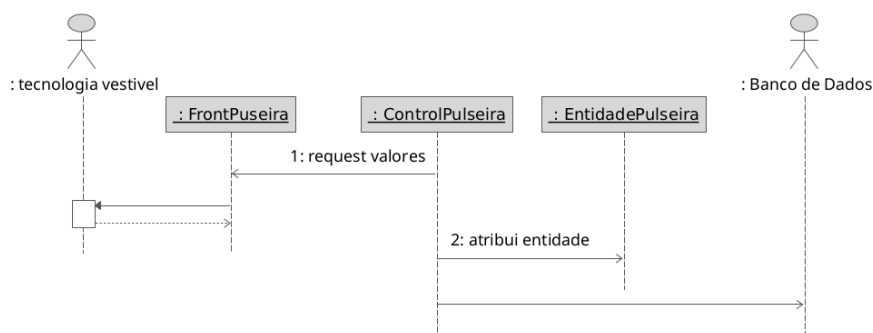


Figura 6. Diagrama de sequência [Autor 2016]

O armazenamento de dados foi feito conforme a modelagem entidade relacionamento (Figura 7).

Também foi desenvolvido um aplicativo android para que o cuidador tenha acesso as informações do usuário em tempo real (Figura 8).

O hardware foi projetado para ser armazenado dentro de um case que possui encaixe para pulseira, representado pela modelagem na Figura 9.

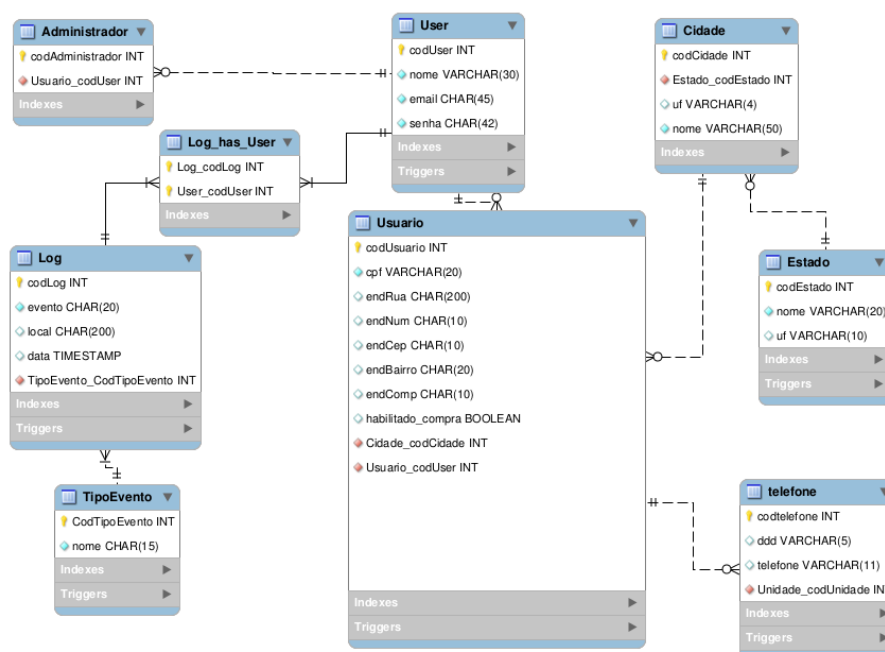


Figura 7. Modelagem Entidade relacionamento [Autor 2016]



Figura 8. Tela do Aplicativo [Autor 2016]

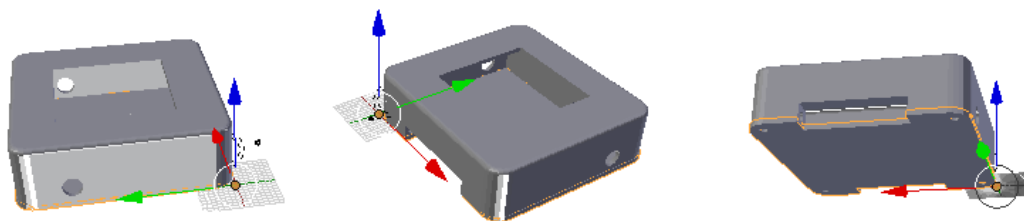


Figura 9. Modelagem case para o hardware [Autor 2016]

5. Considerações finais

Atualmente, recursos computacionais possuem alto potencial de benefício para a sociedade, assim também na computação ubíqua, de forma que o computador esteja cada vez mais permeado no nosso dia a dia.

A solução apresentada, possui um mecanismo de envio de alertas eficientes, todavia não totalmente estável, pois apresenta-se dependente de bateria, disponibilidade de rede, como também um critério de segurança das informações obtidas pelos sensores.

Através do monitoramento intensivo, torna-se possível prestar serviços de intervenção no cotidiano do usuário, auxiliando médicos e profissionais da área de saúde a gerenciar tempo de atendimento, já que se reduz a necessidade de atendimentos presenciais.

6. Referências

ARAÚJO, Bruno Gomes de et al. **Modelo arquitetural para geração de alertas aplicado ao monitoramento de pacientes em ambiente hospitalar.** Research On Biomedical Engineering, [s.l.], v. 28, n. 2, p.169-178, jan. 2012. Editora Cubo Multimedia. <http://dx.doi.org/10.4322/rbeb.2012.022>.

Brasileiro nasce com expectativa de vida de 74,6 anos, aponta IBGE. <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2013/12/brasileiro-nasce-com-expectativa-de-vida-de-746-anos-aponta-ibge.html>

KAKRIA, Priyanka; TRIPATHI, N. K.; KITIPAWANG, Peerapong. A Real-Time Health Monitoring System for Remote Cardiac Patients Using Smartphone and Wearable Sensors. **International Journal Of Telemedicine And Applications**, [s.l.], v. 2015, p.1-11, 2015. Hindawi Publishing Corporation. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/373474>.

SOIREFMANN, Mariana; BLOM, Melissa Brauner; LEOPOLDO, Larrisa; CESTARI, Tania F. Telemedicina uma revisão da literatura. **Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

SOUZA, Gustavo Rodrigues de. Termistores – NTC e PTC. **Universidade Federal do Paraná.**

PERL, S. et al. Socio-economic effects and cost saving potential of remote patient monitoring (SAVE-HM trial). **International Journal Of Cardiology**, [s.l.], v. 169, n. 6,

p.402-407, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.10.019>.

PWC The Wearable Future.

<http://www.pwc.com/us/en/technology/publications/assets/pwc-wearable-tech-design-oct-8th.pdf>

RIOS, Thiago de Souza; BEZERRA, Romildo Martins da Silva. **WHMS4 – Um Sistema de Monitoramento Remoto de Pacientes de Forma Integrada, Flexível, Escalável e com Baixo Custo.** 13 f. Tese - Curso de Grupo de Sistemas Distribuídos, Otimização, Redes e Tempo-real, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, 2014.

SILVA, Kátia Cilene Neles da. **Monitoramento da saúde humana através de sensores:** Análise de incertezas contextuais através da teoria da evidência de Dempster-Shafer. 2013. 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Computação e Sistemas Digitais, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TIC Saúde.

<http://cetic.br/pesquisa/saude/>

Pulse Sensor.

<http://pulsesensor.com>

VÁRADY, Péter; BENYÓ, Zoltán; BENYÓ, Balázs. An Open Architecture Patient Monitoring System Using Standard Technologies. **Ieee Transactions On Information Technology In Biomedicine**, v. 6, n. 1, p.95-98, mar. 2002.

Year Vision to Achieve an Interoperable Health IT Infrastructure.

<https://www.healthit.gov/sites/default/files/ONC10yearInteroperabilityConceptPaper.pdf>

KEMPE, V. Inertial MEMS, **Principles and Practice.** Cambridge University Press, 2011.

LEE, K. B. **Principles of Microelectromechanical Systems.** Wiley – IEEE Press. 1ª ed, 2011.

MARTINS, Rui Miguel Silva. **Desenvolvimento de um Sensor de Fotopletismografia para Monitorização Cardíaca para aplicação no Pulso.** 2010. 114 f. Tese (Mestrado) - Engenharia Biomédica, Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2010.

FIELDING, R.; GETTYS, J.; MOGUL, J.; FRYSTYK, H.; MASINTER, L.; LEACH, P.; BERNERS-LEE, T. **Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1.** 1999. Network Working Group