

# Ambiente de Vida Assistida na Web das Coisas para Assistência Médica e Monitoramento Remoto de Pacientes

Rafael Hoffmann, Michelle Wangham, Douglas Melo

Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI  
Campus KobraSol – São José – SC – Brasil

raelhoff@edu.univali.br, {wangham, drm}@univali.br

**Abstract.** *The availability of clinical information helps in the treatment and medication of patients. For access to this data, this paper proposes a system based on the concept Assisted Living Environment. The proposed solution enables healthcare services and remote monitoring devices so that professionals monitor patients every day through the Internet. This information will assist physicians in decision making and consequently a more accurate diagnosis. Given the above, it developed a prototype, which has been tested, and found that the solution met the functional and non-functional system requirements.*

**Resumo.** *A disponibilidade de informações clínicas auxilia no tratamento e na medicação dos pacientes. Para obter acesso a esses dados, este trabalho propõe um sistema baseado no conceito Ambiente de Vida Assistida. A solução proposta possibilita serviços de assistência médica e o monitoramento remoto de dispositivos, para que profissionais especializados acompanhem os pacientes diariamente por meio da Internet. Tais informações auxiliarão os médicos na tomada de decisão e consequentemente a um diagnóstico mais preciso. Diante do exposto, foi desenvolvido um protótipo, o qual foi submetido a testes, sendo verificado que a solução atendeu aos requisitos funcionais e não funcionais do sistema.*

## 1. Introdução

O envelhecimento da população está acontecendo em todo mundo, resultando no crescente aumento do número de idosos, estando assim, diretamente relacionado à sobrecarga dos serviços de saúde, causado pela grande demanda populacional, tendo que ser estabelecidas novas soluções que contribuam para a diminuição desta problemática [Figueiredo *et al.*, 2010; Rashidi *et al.*, 2013].

Os avanços tecnológicos desempenham um papel importante nos sistemas de saúde, melhorando a produtividade dos serviços, o acesso e o atendimento, possibilitando a realização de procedimentos mais seguros e eficientes. Para tanto, soluções em Ambiente de Vida Assistida tende a contribuir neste sentido, pois possibilitam a criação de soluções inovadoras e de baixo custo, mantendo as despesas de saúde dentro dos limites econômicos, possibilitando oferecer condições necessárias para que familiares e profissionais da saúde consigam monitorar os sinais vitais e as atividades diárias do paciente remotamente [Kleinberger *et al.*, 2007; Lima, 2010].

Um estudo realizado pelo distrito de Kaiserslautern, na Alemanha, apontou que 44% dos recursos médicos de emergências são dedicados a pacientes idosos, os quais resultam em um custo elevado nos tratamentos ou na redução da qualidade dos serviços prestados. Além disso, alguns hospitais geralmente não oferecem atendimentos adequados aos pacientes devido à falta de recursos financeiros, disponibilidade de profissionais, quantidade de leitos, entre outros fatores. Dessa forma, soluções em Ambiente de Vida Assistida podem minimizar esses impactos, acionando a equipe médica somente quando houver alguma situação de risco a vida, tais como acidentes domésticos, ataque cardíaco, derrames cerebrais, dentre outros [Atzori *et al.*, 2010].

O Ambiente de Vida Assistida tem uma forte relação com o conceito de Ambientes Inteligentes, uma das principais aplicações da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT). A IoT possibilita que qualquer dispositivo do cotidiano esteja conectado à Internet, tornando-se um transmissor e receptor de informações em rede [Dohr *et al.*, 2010].

Um conceito importante da IoT é a Web das Coisas (*Web of Things* - WoT), o qual propõe a adoção de padrões Web a fim de oferecer uma linguagem comum entre os dispositivos e coisas do mundo físico. Essa padronização torna possível a reutilização e adaptação das tecnologias Web, gerando flexibilidade, personalização e interoperabilidade [Atzori *et al.*, 2010; Kleinberger *et al.*, 2007].

Dessa forma, este trabalho propõe prover um Ambiente de Vida Assistida, fornecendo assistência médica e serviços de monitoramento remoto à saúde, para que profissionais dessa área acompanhem os seus pacientes diariamente em qualquer lugar por meio da Internet. Este sistema beneficiará todas as pessoas, principalmente idosos e deficientes, concedendo maior autonomia, qualidade de vida e a redução de custos.

A estrutura deste trabalho está subdividida em (i) Trabalhos Relacionados, que descrevem Ambientes de Vida Assistida que foram analisados e comparados com a da solução proposta; (ii) Sistema Proposto, apresentando a contextualização do tema e da solução proposta; (iii) Desenvolvimento do Protótipo, com as tecnologias utilizadas para a realização deste protótipo; (iv) Avaliação dos Resultados, descrevendo como foram realizados os casos de teste, considerando as funcionalidades funcionais e não funcionais do sistema; e (v) Conclusão, que apresenta as considerações finais e as sugestões de trabalhos futuros que foram identificadas até o momento.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Nesta seção são descritos alguns trabalhos encontrados na literatura, relacionados ao tema de Ambiente de Vida Assistida, que demonstram funcionalidades similares as que foram implementadas neste trabalho.

O trabalho de Parra *et al.* (2014) trata de alguns desafios que existem nos Ambientes de Vida Assistida, tais como a heterogeneidade das tecnologias e dos dispositivos. Para tanto, esse projeto baseou-se na arquitetura REST, por considerar uma tecnologia mais flexível, facilitando a integração e escalabilidade. Essa proposta utiliza vários sensores de monitoramento à saúde que estão disponíveis no mercado, tendo a capacidade de se comunicar em redes heterogêneas. Sendo assim, foi utilizado um conjunto de sensores que coletam diferentes parâmetros fisiológicos, como a pressão arterial, temperatura, glicemia,

colesterol e eletrocardiograma (ECG), os quais permitem capturar e armazenar os dados clínicos do paciente, exibindo os mesmos por meio de aplicações que funcionam em *SmartTVs* e *tablets*.

Espinoza *et al.* (2014) propõe desenvolver um sistema em tempo real para monitorar a frequência cardíaca e a movimentação de idosos em suas casas, alertando remotamente os profissionais de saúde, cuidadores e familiares por meio de um *smartphone* em caso de quedas, taquicardia ou bradicardia. Esse trabalho auxilia o setor da saúde, tornando os serviços mais confiáveis e seguros, contribuindo no monitoramento da frequência cardíaca e possibilitando que os indivíduos vivam independentes.

O trabalho de Cubo *et al.* (2014) tem por objetivo ajudar os profissionais da saúde a monitorar os dados clínicos de diferentes pacientes. Para tanto, cada indivíduo possui uma pulseira com o seu identificador, a qual deve ser única, e se autenticará utilizando a comunicação NFC. Dessa forma, os profissionais da saúde poderão especificar quais sensores estarão associados a um determinado paciente e assim verificar os sinais vitais do mesmo. Foi adotada a Rede de Sensores Sem Fio para permitir a integração de vários dispositivos, os quais podem ser utilizados para monitorar temperatura, umidade, pressão, oxigênio, dióxido de carbono, frequência cardíaca, respiração, etc.

Liang *et al.* (2014) propuseram uma nova abordagem para monitorar os sinais vitais do paciente com o auxílio de um eletrocardiograma (ECG) em um ambiente ao ar livre, ao contrário das técnicas tradicionais que visam recolher e processar os sinais vitais do paciente deitado no leito dos hospitais. Os pacientes são equipados com dispositivos médicos acoplados ao corpo, os quais ficam monitorando e enviando periodicamente os sinais vitais recolhidos para um dispositivo externo, facilitando a detecção de ataque cardíaco em tempo real.

Diante do exposto, percebeu-se que existem diversos trabalhos e ferramentas com o objetivo de integrar dispositivos que permitem o monitoramento e o compartilhamento das informações clínicas de um paciente. Logo, entre todos os trabalhos pesquisados, não foi encontrado nenhum que estabeleceu a integração, monitoramento e assistência médica remota com os dispositivos e ferramentas escolhidas no âmbito deste projeto.

### **3. Sistema Proposto**

Este artigo descreve uma solução de Ambiente de Vida Assistida por meio de uma solução distribuída que promove a assistência médica e o monitoramento remoto dos pacientes. Sendo assim, foram utilizados dois tipos de dispositivos: fixos e móveis. Os dispositivos fixos estão localizados no ambiente em que o usuário se encontra e podem ser, por exemplo, sensores de qualidade do ar ou de temperatura. Já os dispositivos móveis são vinculados ao usuário, por exemplo, um medidor de batimentos cardíacos ou ainda um sensor que registre as atividades diárias do paciente.

O provisionamento de serviços de monitoramento em Ambientes de Vida Assistida enfrenta desafios devido à heterogeneidade das redes e tecnologia de acesso. Neste contexto, a solução proposta faz uso de *Smart Gateways* como agregadores das informações obtidas pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente, que utilizam interfaces de comunicação sem fio como Bluetooth e Wi-Fi.

Os *Smart Gateways* representam um ou mais dispositivos na Web, por meio de serviços Web RESTful, constituindo uma Web das Coisas. Dessa forma, os dados providos pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente poderão ser acessados remotamente por serviços cliente Web RESTful (por exemplo, um aplicativo em um dispositivo móvel ou até mesmo por um navegador Web). Além disso, o *Smart Gateway* envia periodicamente os dados monitorados para uma aplicação externa ao Ambiente de Vida Assistida, a qual salva os mesmos e permite a visualização do histórico clínico do paciente.

A Figura 2 representa a troca de informações no Ambiente de Vida Assistida, em que cada cômodo da residência pode ter algum dispositivo que possibilite a comunicação com os dispositivos médicos e sensores de ambiente. Assim, os dados monitorados pelos dispositivos podem ser acessados por médicos, familiares e pacientes em tempo integral.

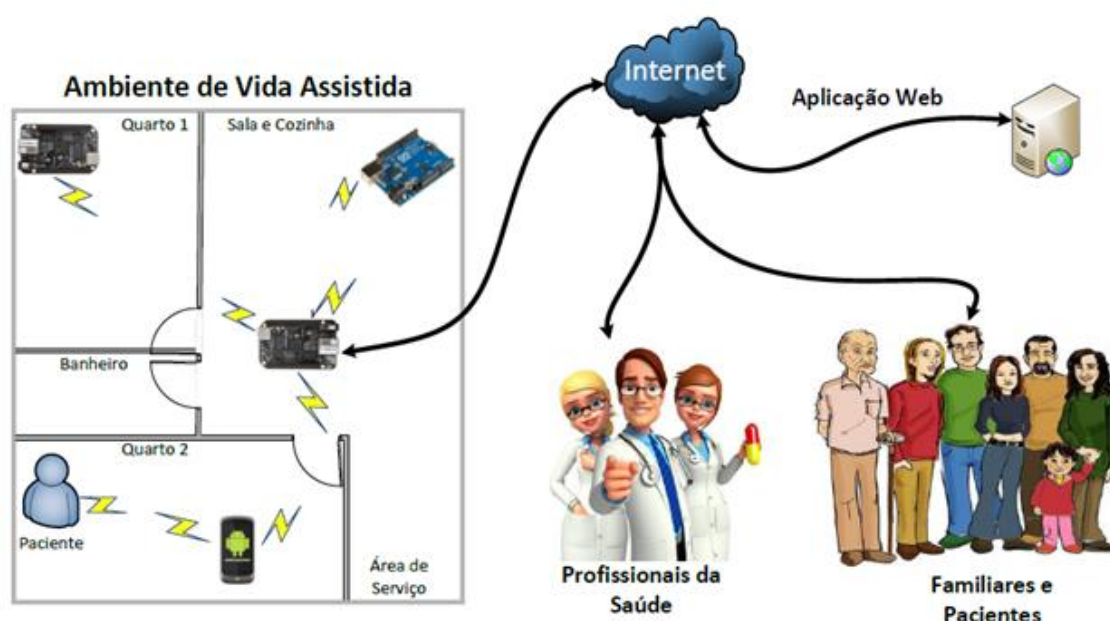


Figura 2. Troca de informações no Ambiente de Vida Assistida

A solução proposta segue uma arquitetura orientada a micro serviços, a qual aborda o desenvolvimento de pequenos serviços, cada um executando seu próprio processo independente. Esses serviços são gerenciados de forma centralizada, podendo ser desenvolvidos em diferentes linguagens de programação e tecnologias. Dessa forma, esta solução é composta pelos serviços descritos a seguir (Figura 3):

- **Aplicações para o acesso aos dispositivos médicos e sensores ambientes (*Device Driver*):** responsável por permitir a comunicação entre o *Smart Gateway* e os dispositivos médicos ou sensores de ambiente por meio da comunicação sem fio (Bluetooth ou Wi-Fi), com o objetivo de obter acesso aos recursos de cada dispositivo.
- **Serviços Web RESTful:** disponibiliza os recursos monitorados para o acesso via dispositivos móveis ou o navegador Web em tempo real.
- **Cliente Web RESTful:** envia para o Serviço Web de Recebimentos de Dados as informações recolhidas pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente.

- **Serviço Web RESTful de Recebimento de dados:** recebe os dados monitorados pelos dispositivos e persiste em um banco de dados não relacional (MongoDB) para manter um histórico clínico dos sinais vitais do paciente.
- **Aplicação Web de monitoramento e assistência médica aos pacientes:** possibilita que os usuários do sistema visualizem o histórico das informações coletadas pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente. Além de permitir que o médico envie uma mensagem para o paciente em caso de algum lembrete ou recomendação médica, esta mensagem pode ser visualizada pelo paciente em um Minidisplay de cristal líquido que está acoplado a um *Smart Gateway*.

Na solução proposta, foi adotado o padrão JSON, por possuir processamento e largura de banda menor do que comparado com XML, além do mesmo auxiliar no armazenamento e na transmissão dos dados [Wu *et al.*, 2012].

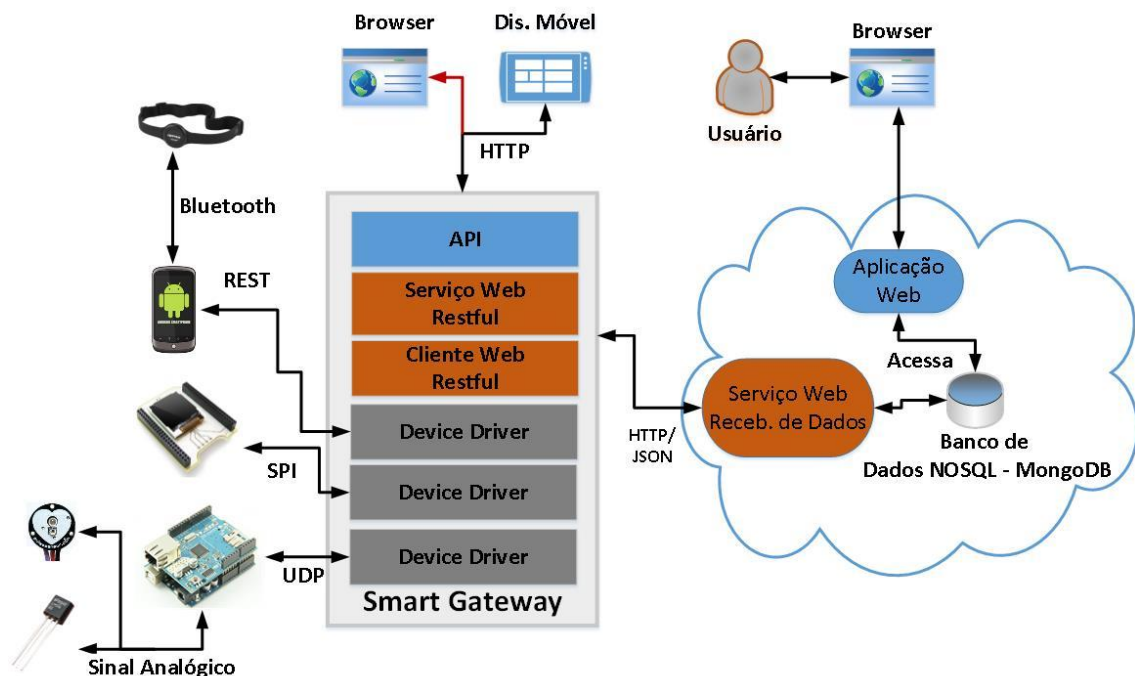


Figura 3. Arquitetura da solução proposta.

## 4. Desenvolvimento do Protótipo

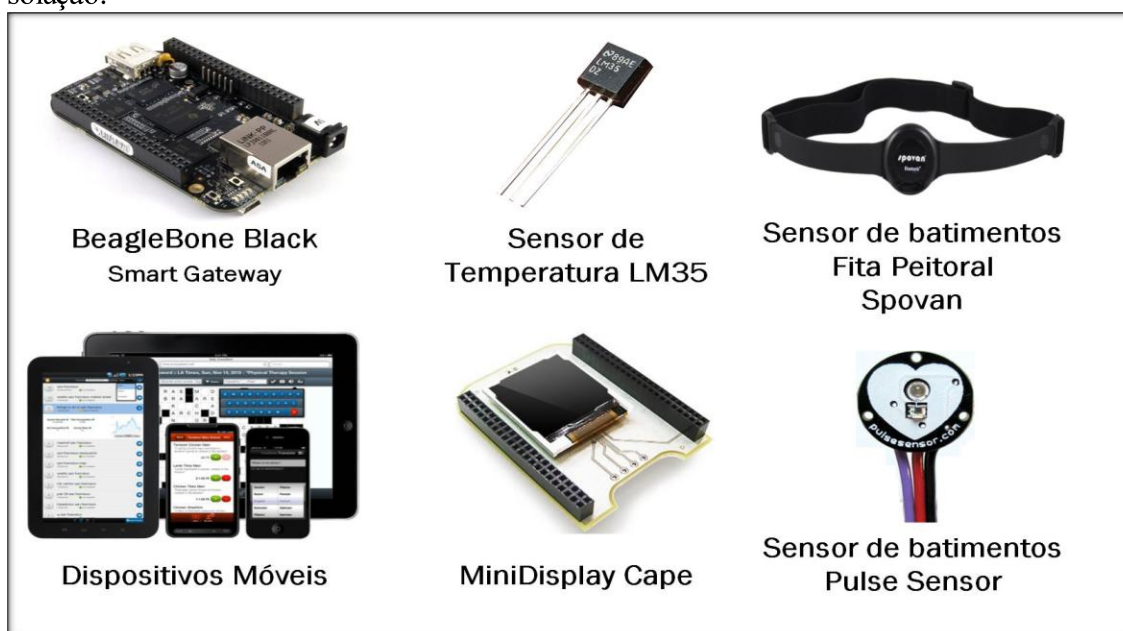
A implantação da solução proposta se dá a partir das tecnologias identificadas para a realização deste projeto, sendo assim, o trabalho proposto foi subdividido em Hardware e Software.

### 4.1 Hardware

Com a finalidade de desenvolver um protótipo da solução proposta, foram utilizados alguns dispositivos para monitorar a temperatura ambiente e os sinais vitais dos pacientes. Para tanto, foi utilizado como *Smart Gateway* o hardware BeagleBone Black (BBB), projetado pela Texas Instruments. Essa plataforma possui um processamento de 1GHz, memória RAM de 512MB, entrada para um cartão SD, uma porta USB, uma saída HDMI, interface Ethernet, além da GPIO (General-Purpose Input/Output), que viabiliza o acesso as portas de entrada e saída do circuito, sendo 7 analógicas, 4 seriais, 2 SPI, 2 I2C, 8 PWMs e 4 temporizadores.

No protótipo, utilizou-se o Minidisplay LCD com a interface de comunicação SPI, para exibir as mensagens que os profissionais da saúde podem enviar para notificar o paciente em caso de alguma recomendação médica ou algum lembrete. O mesmo foi acoplado à BeagleBone Black permitindo a visualização das notificações enviadas.

Foram também utilizados dispositivos fixos e móveis no sistema proposto. Os dispositivos fixos estão localizados no ambiente em que o usuário se encontra, e são: (i) sensor de temperatura (LM35), fabricado pela National Semiconductor e que opera entre -55 e 150°, tendo uma interface simples; e (ii) sensor de ritmo cardíaco (Pulse Sensor), utilizado para coletar os dados de frequência cardíaca em tempo real. Já como dispositivos móveis, foram empregados: (i) fita peitoral (Spovan), sendo utilizada em torno do peito do usuário durante atividades diárias, transmitindo os batimentos cardíacos por meio da comunicação Bluetooth; e (ii) *smartphone* ou *tablet*, com o sistema operacional Android, executando uma aplicação que utiliza a câmera do dispositivo para capturar a frequência cardíaca do paciente. A Figura 5 apresenta todos os dispositivos que foram empregados na prototipação desta solução.



**Figura 5. Dispositivos utilizados na prototipação.**

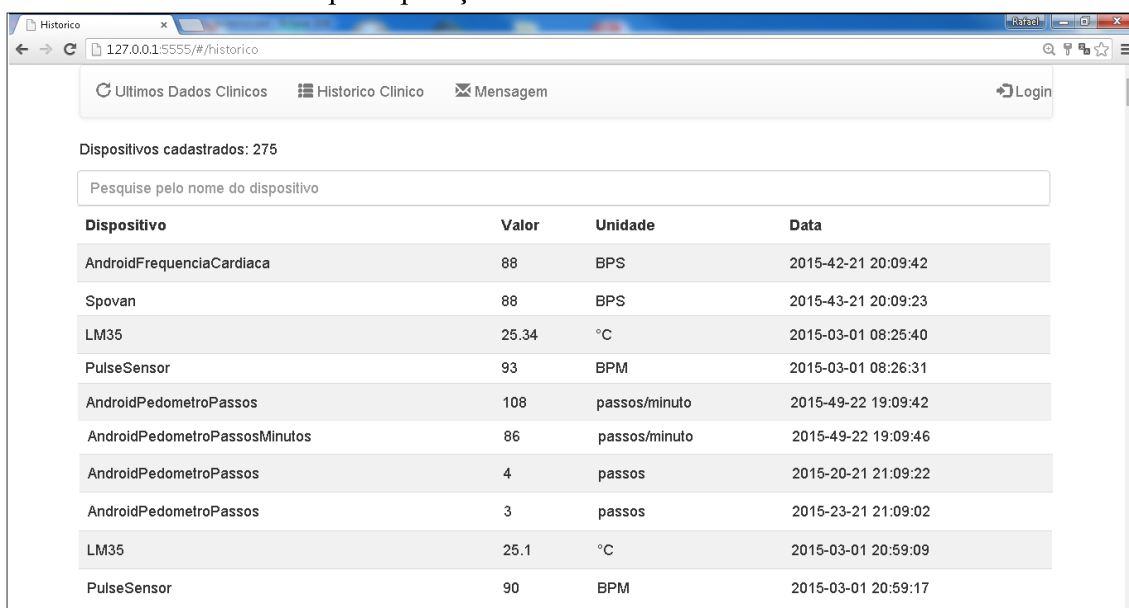
## 4.2 Software

Para a viabilidade do protótipo, utilizaram-se diversas ferramentas e linguagens de programação, tais como as ferramentas Eclipse (ambiente de execução do Android), Node.JS (ambiente de execução JavaScript), os *frameworks* AngularJS (Modelo, Visão e Controle para JavaScript) e Express (desenvolvimento Web para Node) e o banco de dados não relacional MongoDB. Além das linguagens C++ e Shell Script que possibilitaram a criação dos drivers de acesso ao Minidisplay LCD, ao sensor de Temperatura e ao sensor frequência cardíaca (Pulse Sensor).

Vale ressaltar que as aplicações Cliente Web Restful, Serviço Web de Recebimentos de Dados e Web foram desenvolvidas com auxílio do framework AngularJS e o Node.JS. O Node.JS segue o modelo totalmente não bloqueante, apresentando um baixo consumo de memória, além de ser altamente escalável e implementar diferentes protocolos de

comunicação em rede. Ainda foi empregado o banco de dados MongoDB que utiliza o modelo não relacional chamado NoSQL (Not Only SQL), o qual oferece maior escalabilidade horizontal, ou seja, permitindo integrar facilmente mais servidores. Vale destacar que foi utilizado o sistema operacional Debian Linux no *Smart Gateway*.

Conforme apresentado na Figura 2, os usuários dos sistemas podem visualizar os dados clínicos do paciente por meio da Aplicação Web como foi descrito, além de possibilitar que médicos enviem uma mensagem de assistência em caso de algum lembrete ou recomendação médica. A Figura 6 ilustra a interface que disponibiliza acesso às funcionalidades do sistema pela aplicação Web.



The screenshot shows a web browser window with the URL 127.0.0.1:5555/#/historico. The interface includes navigation links for 'Últimos Dados Clínicos', 'Historico Clinico', 'Mensagem', and 'Login'. Below these is a search bar for devices and a table with the following data:

Dispositivo	Valor	Unidade	Data
AndroidFrequenciaCardiaca	88	BPS	2015-42-21 20:09:42
Spovan	88	BPS	2015-43-21 20:09:23
LM35	25.34	°C	2015-03-01 08:25:40
PulseSensor	93	BPM	2015-03-01 08:26:31
AndroidPedometroPassos	108	passos/minuto	2015-49-22 19:09:42
AndroidPedometroPassosMinutos	86	passos/minuto	2015-49-22 19:09:46
AndroidPedometroPassos	4	passos	2015-20-21 21:09:22
AndroidPedometroPassos	3	passos	2015-23-21 21:09:02
LM35	25.1	°C	2015-03-01 20:59:09
PulseSensor	90	BPM	2015-03-01 20:59:17

Figura 6. Interface que permite acesso aos recursos do sistema.

A Figura 7 apresenta o display que está acoplado à BeagleBone Black, exibindo, por exemplo, a mensagem de assistência enviada pelo médico “Tome seu Remédio”.

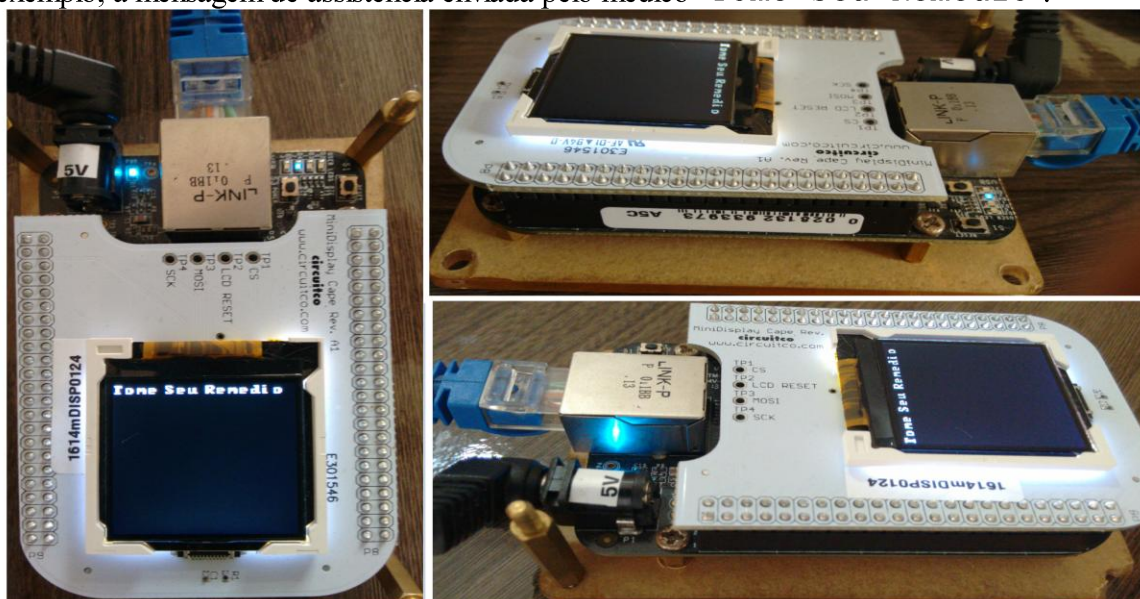


Figura 7. Minidisplay acoplado à BeagleBone Black.

Os dados monitorados também podem ser acessados por uma aplicação externa, por exemplo, por um navegador Web ou até mesmo um aplicativo em um dispositivo móvel, possibilitando assim a visualização das informações clínicas dos pacientes e dos sensores de ambiente em tempo real. A Figura 8 apresenta duas telas desenvolvidas em um aplicativo Android, que indicam o monitoramento da frequência cardíaca por meio da fita peitoral e o histórico em tempo real dos dados coletados pelos dispositivos médicos e sensores de ambiente.

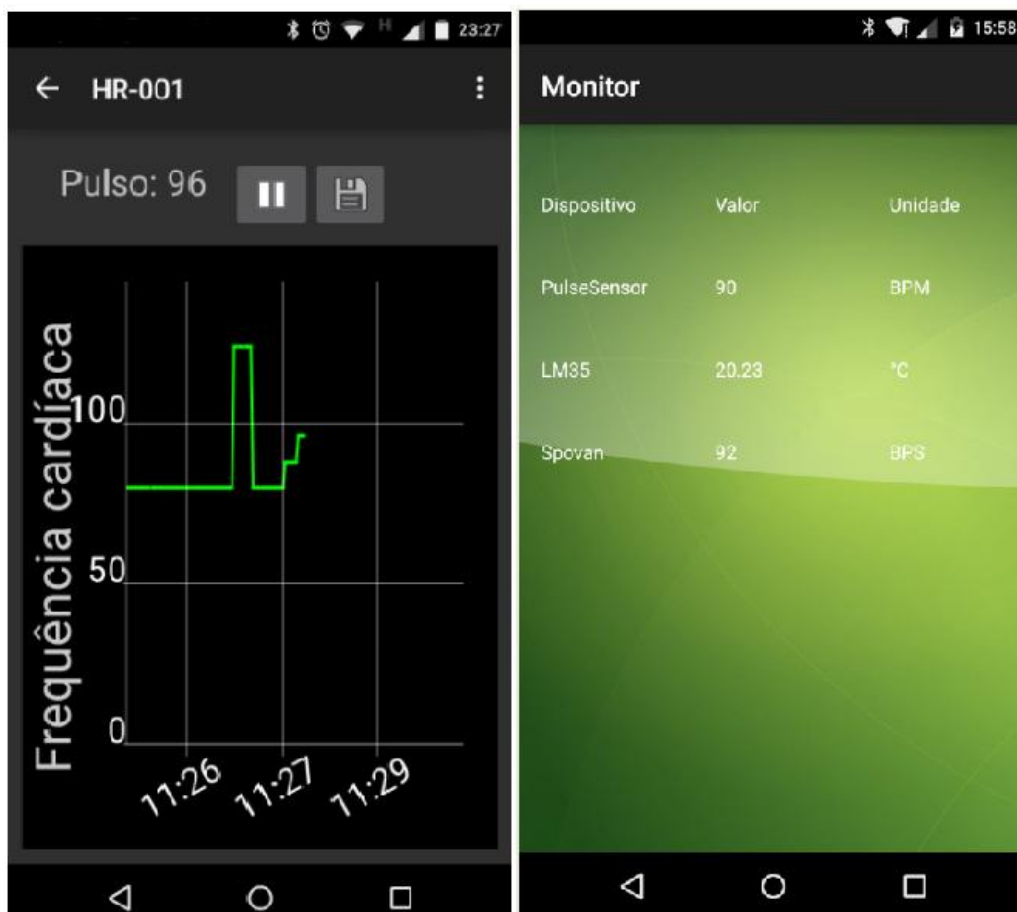


Figura 8. Interfaces do dispositivo móvel.

## 5. Avaliação dos Resultados

Para avaliar o protótipo desenvolvido, foram executados dois tipos de testes: (i) testes funcionais de software e (ii) testes de desempenho. O cenário dos testes foi composto pela aplicação Cliente Web Restfull que está instalada no *Smart Gateway* e as aplicações Serviço Web de Recebimentos de Dados e Web, ambas instaladas em um computador pessoal.

O primeiro conjunto de testes verificou o atendimento aos requisitos funcionais, sendo composto por um total de cinco casos de testes, os quais foram executados corretamente. Por meio desses testes, foi possível garantir que os processos de operação entre os dispositivos médicos e sensores de ambiente então sendo reproduzidos corretamente pelo *Smart Gateway*. Em seguida, foram executados testes visando mensurar o custo computacional de embarcar o *Smart Gateway* em uma BeagleBone Black, baseando-se nas seguintes métricas: (i) consumo de CPU, (ii) consumo de memória, (iii) espaço de armazenamento utilizado e (iv) tempo de resposta do histórico clínico no *Smart Gateway*.



Para tanto, foi executado o comando *top* no sistema operacional (Debian) do BeagleBone Black com a aplicação embarcada inicializada e feita a coleta da saída correspondente ao uso da CPU e memória durante 9 minutos, também foi executado o comando *du* para obter o espaço em disco utilizado. Ao término da coleta de dados foi realizada uma análise sobre as 110 leituras realizadas e calculada a média e desvio padrão dos resultados. O resumo desta análise é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1. Consumo de processamento, memória e espaço em disco do *Smart Gateway***

	Uso da CPU	Memória RAM (MB)	Uso de espaço em disco (MB)
Sistema Operacional (Debian e Node.JS)	2,55%	246	1600
Aplicação Cliente Web Restful (aplicação embarcada) e frameworks	1%	49	42,9

Ainda no escopo dos testes de desempenho do *Smart Gateway*, foi avaliado o tempo de resposta (GET) do histórico clínico, utilizando a ferramenta Postman. Logo, o teste foi executado 110 vezes com uma taxa de respostas de 1 mensagem/s, sendo extraídos a média e o desvio padrão dessa execução. A Tabela 2 apresenta os resultados.

**Tabela 2. Tempo de resposta do histórico clínico**

	Tempo de resposta (ms)
Média	55,47
Desvio Padrão	11,87

Conforme as Tabelas 1 e 2, é possível perceber que uma plataforma como a BeagleBone Black possui processamento, memória e espaço suficiente para embarcar a solução proposta diante da carga a que foi submetida no sistema, uma vez que possui 4GB de memória flash, 512MB de memória RAM e 1 GHz de processamento.

## 6. Conclusão

O sistema desenvolvido beneficia diversas pessoas, principalmente idosos e deficientes, concedendo maior autonomia, segurança, privacidade, qualidade de vida e a redução de custos. A solução proposta envolveu a utilização de diversas tecnologias, buscando criar uma solução distribuída que promova a assistência médica e o monitoramento remoto dos dispositivos médicos e sensores de ambiente. Logo, oferece condições necessárias para que familiares e profissionais da saúde consigam monitorar os sinais vitais e as atividades diárias do paciente remotamente. O fato de muitos dispositivos médicos e sensores ambientes não possuírem conectividade com a Internet torna o uso de *Smart Gateway* uma opção viável para a integração.

Após o desenvolvimento de um protótipo, foram realizados testes funcionais e não funcionais do sistema, visando verificar a solução desenvolvida. Assim como, também foram realizados experimentos que quantificam os impactos no uso de recursos computacionais no *Smart Gateway*, baseando-se em consumo de CPU, consumo de memória, espaço de armazenamento e o tempo de resposta do histórico clínico no *Smart Gateway*. Dessa forma,

foi possível perceber que o protótipo desenvolvido é viável, pois atende a todos os pré-requisitos do sistema.

Como trabalhos futuros, sugere-se a integração de mais dispositivos médicos e sensores de ambiente, além de melhorar a visualização dos dados coletados por meio da aplicação Web e do dispositivo móvel. Também se sugere a implementação de técnicas de segurança, garantindo o controle dos dados e permitindo que somente pessoas e dispositivos autorizados acessem as informações do sistema.

## Referências

- Atzori, L., Iera, A., e Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787–2805.
- Cubo, Javier; Adrián N.; e Ernesto Pimentel. A Cloud-Based Internet of Things Platform for Ambient Assisted Living. In: *Magazine Sensors*, 2014.
- Dohr, A., Modre-Opsrian, R., Drobics, M., Hayn, D., e Schreier, G. (2010). The internet of things for ambient assisted living. In *Information Technology: New Generations (ITNG)*, 2010 Seventh International Conference on, pages 804–809.
- Espinoza, Pedro M.; Raúl A. Santos; Néstor C. Benítez; José A. Velasco; César B. Segura; Arthur E.; e Aldo M. Cass. WiSPH: A Wireless Sensor Network-Based Home Care Monitoring System. In: *Magazine Sensors*, 2014.
- Figueiredo, Celso P.; Óscar S. Gama; Carlos M.; Pereira; Paulo M. Mendes. Autonomy Suitability of Wireless Modules for Ambient Assisted Living Applications WiFi, Zigbee, and Proprietary Devices. In *Annual 4th International Conference on Sensor Technologies and Applications. Proceedings of...* [s.l.]:[s.n.], 2010.
- Kleinberger, T., Becker, M., Ras, E., Holzinger, A. e Müller, P. (2007). Ambient Intelligence in Assisted Living: enable elderly people to handle future interfaces. In Stephanidis, C., editor, *Universal Access in Human-Computer Interaction*, pages 103-112. Springer Berlin Heidelberg.
- Liang, Wei; Yinlong Zhang; Jindong Tan; e Yang Li. A Novel Approach to ECG Classification Based upon Two-Layered HMMs in Body Sensor Networks. In: *Magazine Sensors*, 2015.
- Lima, M. N. (2010). *Saúde Móvel: Conceitos, Iniciativas e Aplicações*. Curitiba: Editora do autor.
- Parra, Jorge; M. Anwar Hossain; Aitor Urizarren; e Eduardo Jacob. RESTful Discovery and Eventing for Service Provisioning in Assisted Living Environments. In: *Magazine Sensors*, 2014.
- Rashidi, Parisa e Alex Mihailidis. A Survey on Ambient-Assisted Living Tools for Older Adults. *Journal of Biomedical and Health Informatics*, Vol 17. 2013.
- Wu, Zhenvu; Itala, T; Tingan Tang; Chunhong Zhang; Yang Ji; Hamalainen, M; Yunjue Liu. Gateway as a Service: A Cloud Computing Framework for Web of Things. In: *19th International Conference on Telecommunications. Proceedings of...* [s.l.]:[s.n.], 2012.