

José Hilton de Sousa Filho
Orientador: Francisco Airton Pereira da Silva

Uma Arquitetura de Monitoramento Cardíaco de Baixo Custo Baseada em Computação em Névoa

Picos - PI
Junho de 2018

José Hilton de Sousa Filho
Orientador: Francisco Airton Pereira da Silva

Uma Arquitetura de Monitoramento Cardíaco de Baixo Custo Baseada em Computação em Névoa

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à coordenação de Sistemas de Informação, da Universidade Federal do Piauí, no período de 2018.1 para aquisição do título de Bacharel em Sistemas de Informação, sob orientação do Professor Dr. Francisco Airton Pereira da Silva.

Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Heuvídio Nunes de Barros
Bacharelado em Sistemas de Informação

Picos - PI
Junho de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca José Albano de Macêdo

S725a Sousa Filho, José Hilton de.

Uma Arquitetura de monitoramento cardíaco de baixo custo baseada em computação em Névoa / José Hilton de Sousa Filho.– 2018.

CD-ROM : il.; 4 ¾ pol. (38 f.)

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Piauí, Picos, 2018.

Orientador(A): Dr. Francisco Airton Pereira da Silva.

1. Computação em Névoa e Nuvem. 2. Dispositivos Vestíveis. 3. IoT. I. Título.

CDD 005.2

JOSÉ HILTON DE SOUSA FILHO

UMA ARQUITETURA DE MONITORAMENTO CARDÍACO DE BAIXO CUSTO
BASEADA EM COMPUTAÇÃO EM NEVOA

Monografia 2ª versão da como exigência parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Sistemas de Informação.

Data de Aprovação

Picos – PI, 19 de junho de 2018


Prof. Dr. Francisco Airton Pereira da Silva
Orientador


Prof. Me. Francisco das Chagas Imperes Filho
Membro


Prof. Me. Dennis Sávio Martins Da Silva
Membro

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer a Deus por ter me concedido saúde e força para superar as dificuldades, permitindo-me chegar até aqui. Ao mestre dos mestres, toda a minha gratidão!

Agradeço aos meus pais, (José Policarpo e Evanusa Joana), pelo amor incondicional, incentivo e confiança. Vocês são o meu porto seguro e essa vitória também é de vocês!

À minha irmã Elaine pelo amor, apoio e compreensão de sempre e aos meus sobrinhos Pedro Iago e Paola Sophia que, embora não compreendam a dimensão dos estudos acadêmicos, sempre foram motivos para que eu continuasse firme na caminhada.

À minha namorada Nayara pelo amor, apoio e, principalmente, por me trazer paz nos meus dias mais sombrios, entendendo as minhas ausências e me incentivando cada vez mais a persistir neste sonho.

À minha família, de forma geral, pelo incentivo, força e carinho a mim dedicado.

Aos amigos da graduação pelo compartilhamento de experiências e sonhos e até mesmo pelas dificuldades que enfrentamos durante esses anos de graduação.

Ao meu orientador, professor Dr. Francisco Airton Pereira da Silva, por todo o suporte, paciência, atenção e dedicação. Admiro o seu profissionalismo e foi um grande privilégio ter sido seu orientando.

Aos professores do curso de Sistemas de Informação, peças-chave dessa conquista, que contribuíram com a minha formação tanto profissional quanto pessoal. Admiro-os imensuravelmente.

Enfim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e torceram pela minha vitória.

São Tomás de Aquino

A humildade é o primeiro degrau para a sabedoria.

Resumo

A tecnologia aplicada à saúde tem passado por frequentes avanços. Tais avanços advêm de vários aspectos, como: o incremento da velocidade da Internet, a concepção de novos mecanismos de monitoramento e o aumento da capacidade computacional de datacenters. A capacidade computacional de alta performance vem se aproximando fisicamente a cada dia do usuário final à fim de diminuir limitações de latência. Esta aproximação deu origem ao termo computação em névoa. A computação em névoa estende a capacidade computacional e armazenamento da nuvem para as camadas de acesso da rede. Outra questão é sobre o custo mais acessível de periféricos como smartwatches que capturam sinais vitais como frequência cardíaca. Porém, infelizmente, a maioria dos aplicativos aliados a sensores de batimentos cardíacos monitoram os sinais do paciente, mas não são processados remotamente. Existem cenários onde há a necessidade de monitorar de forma centralizada um conjunto de pessoas como nos esportes em grupo. *Qual a infraestrutura computacional mínima que seja eficiente e de baixo custo voltado ao monitoramento cardíaco de um grande número de pessoas?* Este trabalho apresenta uma arquitetura de monitoramento cardíaco distribuída e de baixo custo com auxílio de computação em névoa. A captura dos sinais vitais é feita através de uma smartband e os dados são retransmitidos por um aplicativo de smartphone a um servidor na névoa ou na nuvem. Uma série de experimentos proveem indicações de qual é a melhor opção computacional para tais contextos.

Palavras-chaves: Computação em Névoa e Nuvem. Dispositivos Vestíveis. IoT.

Abstract

Health technology has gone through frequent improvements. These come from several aspects, such: the increasing speed of the Internet, the designing of new monitoring mechanisms, and the increasing capacity of datacenters' computing. High performance computing capacities approach physically the end user in order to reduce latency limitations. This scenario brought the term fog computing into existence. Fog computing extends Cloud Computing in terms of computing and storage capabilities, bringing them to the access layers of the network. Furthermore, peripherals such as smart watches, that can capture vital signs such as heart beats, are getting more affordable. Unfortunately, most applications, allied to heart rate sensor, monitor the patient's signals, but are not processed remotely. There are scenarios in which a centralized monitoring it is needed for a group of people such as in group sports. *What is the minimum, efficient and low-cost computational infrastructure for large-scale cardiac monitoring ?* This paper presents a distributed, low-cost cardiac monitoring architecture with help of fog computing. The capture of vital signs is done through a smart band, and the data is retransmitted from a smartphone application to a server located in the fog or in the cloud. A series of experiments provide indications of the best computational option for such contexts.

Keywords: Fog and Cloud Computing. Wearable Devices. IoT.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Monitoramento Cardíaco Sem Armazenamento Remoto	13
Figura 2 – Arquitetura de Monitoramento Cardíaco Distribuída	22
Figura 3 – Dispositivos Tradicionais de Monitoramento Cardíaco Portátil	23
Figura 4 – Xiaomi MiBand 2	24
Figura 5 – Preços de Sensores Vestíveis	24
Figura 6 – Precisão de Sensores Vestíveis	25
Figura 7 – Autonomia de Bateria para Sensores Vestíveis	25
Figura 8 – (a) Cadastro do Usuário, (b) Cadastro do Servidor e o (c) Monitora- mento em Tempo Real.	26
Figura 9 – Dashboard do Software Servidor	28
Figura 10 – Teste de Carga com Configuração Mínima	30
Figura 11 – Avaliação de Servidores na Camada de Nêvoa	31
Figura 12 – Avaliação de Servidores na Camada de Nuvem	33

Lista de tabelas

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados a Arquitetura de Baixo Custo	18
Tabela 2 – Trabalhos Relacionados a Redes de Sensores	19
Tabela 3 – Comparação de Aplicativos de Suporte a Smartbands	27
Tabela 4 – Servidores da Camada de Névoa	31
Tabela 5 – Tipos de Instâncias da Amazon EC2	32

Lista de abreviaturas e siglas

IoT	<i>Internet of Things</i>
AF	Atividade Física de Intensidade Moderada
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>
ad-hoc	<i>Point-to-Point Communication Between Two Devices</i>
TWA	<i>T-Wave Alternans</i>
ECG	Eletrocardiograma
SCG	Sismocardiografia
OSA	<i>Obstructive Sleep Apnoea</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
LED	<i>Light Emitter Diode</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
mAh	<i>Miliampère-Hour</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Objetivo Geral	14
1.2	Objetivos Específicos	14
2	Referencial Teórico	15
2.1	Computação de Borda	15
2.2	Internet das Coisas Voltado à Saúde	15
2.3	Computação em Nuvem	16
2.4	Computação em Névoa	17
3	Trabalhos Relacionados	18
4	Uma Arquitetura Distribuída para Monitoramento Cardíaco	22
4.1	Camada de IoT (Dispositivo Smartband)	23
4.2	Camada de Borda (Aplicativo MiBand Cardio)	26
4.3	Camadas de Névoa e Nuvem	28
5	Avaliação	30
6	Conclusão	34
	Referências	35

1 Introdução

Um número crescente de objetos físicos está sendo conectado com a Internet a uma taxa sem precedentes. A Internet das Coisas (IoT) permite que objetos físicos vejam, ouçam, pensem e executem tarefas fazendo-os “conversar” juntos, para compartilhar informações e coordenar decisões. A IoT transforma esses objetos de tradicionais para inteligentes, explorando suas tecnologias subjacentes como computação ubíqua, tecnologias de comunicação, redes de sensores, protocolos etc. Existem vários domínios e ambientes em que a IoT pode desempenhar um papel notável e melhorar a qualidade de nossas vidas. Essas aplicações incluem transporte, automação industrial, resposta a emergências e , principalmente, saúde (AL-FUQAHA et al., 2015).

A Organização Mundial de Saúde¹ recomenda 150 minutos de atividade física de intensidade moderada (AF) a cada semana para adultos e 60 min para crianças e adolescentes (ORGANIZATION, 2018b). No entanto, 25% dos adultos e mais de 80% dos adolescentes não atingem metas de atividade física recomendadas (ORGANIZATION, 2018b). Baixo AF é atualmente o quarto principal fator de risco para a mortalidade em todo o mundo (ORGANIZATION, 2018a). Para auxiliar as pessoas a combaterem este problema, existem monitoradores de sinais vitais – smartwatches – capazes de coletarem vários parâmetros fisiológicos em tempo real. As aplicações podem ser de diversas naturezas, tais como: frequência cardíaca, taxa respiratória, temperatura, saturação de oxigênio, pressão arterial, eletrocardiograma etc.

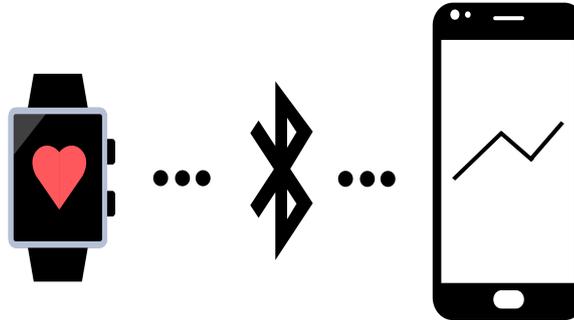
Embora haja evidências limitadas de que usar smartwatches melhorarão a saúde (FIN-KELSTEIN et al., 2016)(JAKICIC et al., 2016), novos dispositivos são lançados no mercado regularmente. Em 2016, os fornecedores venderam 102 milhões de dispositivos em todo o mundo, em comparação com 82 milhões em 2015 (IDC, 2018a). Cinquenta e sete por cento destes dispositivos foram vendidos pelas cinco principais marcas: Fitbit, Xiaomi, Apple, Garmin e Samsung. O primeiro trimestre de 2017 mostra um aumento de 18% nos aparelhos vendidos, em comparação ao mesmo período em 2016 (IDC, 2018b).

O cenário mais comum é onde um usuário monitora os próprios sinais vitais coletados por um smartwatch e transmite-os para um smartphone através de uma conexão Bluetooth (BUMGARNER et al., 2018; AHN et al., 2018; ALFEO et al., 2018). Assim, como ilustrado na Figura 2, o usuário pode acompanhar várias informações de forma resumida ou detalhada.

Tomando como exemplo o monitoramento de batimentos cardíacos, o ideal é que se registre os batimentos a cada segundo. Esta coleta pode gerar uma gigantesca massa de dados. O dispositivo móvel, por sua vez, não é capaz de suportar o armazenamento de

¹ ORGANIZATION: http://www.wpro.who.int/mediacentre/factsheets/physical_activity/en/

Figura 1 – Monitoramento Cardíaco Sem Armazenamento Remoto



tanta informação e, tampouco, seu processamento posterior (KUMAR; LU, 2010; FERNANDO; LOKE; RAHAYU, 2013; HUANG; WU, 2017; ZHOU; BUYYA, 2018).

À fim de mitigar a questão mencionada acima, vários computadores servidores podem ser utilizados como ponto de armazenamento, retirando tal responsabilidade do dispositivo móvel. Dois paradigmas podem auxiliar neste armazenamento remoto: Computação em Nuvem e Computação em Névoa. A computação em nuvem pode ser definida como a agregação da computação, como um utilitário e software, que fornece serviços através de aplicativos pela Internet (ARMBRUST et al., 2010).

A computação em névoa é considerada uma extensão do paradigma de computação em nuvem a partir do núcleo de rede para a borda da rede. A computação em névoa é uma plataforma normalmente virtualizada que fornece serviços de computação, armazenamento e rede entre dispositivos finais e a nuvem tradicional (BONOMI et al., 2012).

Neste contexto, o cuidado com a saúde pública é um assunto muito atual, existindo a necessidade de monitorar grandes populações — como os habitantes de uma cidade, por exemplo. Para este tipo de situação deve ser adotada uma arquitetura de servidores que suporte requisições de um grande número de usuários, mas isso pode sair caro.

Existe uma grande variedade de smartbands de monitoramento, porém a maioria possuem preços elevados. Além disto, a maioria destas smartbands não acompanham a funcionalidade nativa de envio de dados a servidores remotos.

O restante do trabalho está dividido da seguinte forma: A Seção 2 apresenta os conceitos e informações necessárias ao entendimento do trabalho; A Seção 3 mostra um conjunto de trabalhos relacionados e a relação com o presente estudo; A Seção 4 detalha a arquitetura proposta; A Seção 5 apresenta a avaliação da arquitetura proposta; e a Seção 6 traça algumas conclusões sobre o trabalho.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar uma arquitetura de monitoramento cardíaco distribuída e de baixo custo, utilizando o aplicativo MiBand Cardio com a pulseira Mi Band 2 da Xiaomi, com o intuito de demonstrar qual a infraestrutura computacional mínima e eficiente para monitorar um grande número de pessoas.

1.2 Objetivos Específicos

- Apontar qual smartband de monitoramento cardíaco possui o melhor custo benefício com base em pesquisas na literatura e experimentos práticos.
- Apresentar um aplicativo de monitoramento cardíaco simples e eficaz para registro constante.
- Um componente de software servidor capaz de receber grandes massas de dados.
- Uma avaliação de desempenho sobre computadores de baixo custo que compõem uma arquitetura de névoa voltado ao armazenamento de batimentos cardíacos.
- Uma avaliação de desempenho sobre instâncias de máquinas virtuais em uma nuvem pública voltada ao armazenamento de batimentos cardíacos.

2 Referencial Teórico

Neste capítulo são apresentados e desenvolvidos assuntos que servem de base para a elaboração deste trabalho de conclusão de curso, com a finalidade de apresentar uma concepção mais clara dos assuntos abordados. Nas sessões seguintes serão discutidos: Computação de Borda, Internet das Coisas Voltado à Saúde, Computação em Nuvem, Computação em Névoa.

2.1 Computação de Borda

Computação de borda refere-se às tecnologias de ativação que permitem que computação seja realizada na borda da rede. A computação de borda processa tanto de cima para baixo vindo da nuvem, quanto de baixo para cima, advindo dos serviços IoT. Define-se como borda qualquer recursos de computação ou rede ao longo do caminho entre os dados fonte e centro de dados em nuvem. Por exemplo, um smartphone é a borda entre os sensores vitais e a nuvem; um gateway em um casa inteligente é a borda entre as coisas de casa e a nuvem; um micro data center ou uma cloudlet (SATYANARAYANAN et al., 2009) é a borda entre um dispositivo móvel e a nuvem.

A lógica da computação de borda é que a computação deve acontecer na proximidade de fontes de dados. O conceito de computação de borda é intercambiável com computação de névoa (KLAS, 2015), mas a computação de borda foca mais no lado das coisas em IoT, enquanto a computação de névoa se concentra mais no lado da infraestrutura (SHI et al., 2016).

2.2 Internet das Coisas Voltado à Saúde

A Internet das Coisas (IoT) é um paradigma emergente para uma gama de novas capacidades trazidas pela conectividade pervasiva. O conceito envolve situações em que a conectividade de rede e a capacidade de computação se expandem para objetos, sensores e itens do dia a dia que trocam dados com pouco ou nenhum envolvimento humano.

A premissa da IoT é construir, operar, e gerenciar o mundo físico por meio de redes inteligentes, coleta de dados, análise preditiva, otimização profunda e outras soluções (METCALF et al., 2016). Seus benefícios potenciais podem impactar como os indivíduos vivem e trabalham. A IoT irá permitir infinitas oportunidades e conexões. A conexão ocorre em casas, dispositivos portáteis (incluindo vestíveis) carros e até cidades, mas sempre com uma perspectiva voltada ao usuário (KHAN et al., 2017; THIRUMALAI; KAR, 2017; MIRZAMOHAMMADI et al., 2017; KIM et al., 2017).

Essa perspectiva focada no usuário é, particularmente, evidente no domínio da saúde, em que a IoT está mudando a forma como os cuidados são fornecidos e gerenciados por meio de troca de informações entre dispositivos conectados e vestíveis. A IoT está permitindo uma forma mais personalizada de atendimento onde os consumidores são autogerenciados e automonitorados (KHAN et al., 2017).

Dispositivos portáteis modernos (por exemplo, Fitbit¹, Smartwatch Pebble² e Google Glass³) inspiram novas formas de pensar sobre o IoT para o corpo e até mesmo além. Estes possuem um papel importante na facilitação do autogerenciamento e automonitoramento. Saúde humana e fitness são áreas nas quais dispositivos vestíveis podem oferecer insights que os smartphones não podem. Isso é evidente a partir da imensa popularidade de smartbands (por exemplo, o Fitbit Blaze, Jawbone UP e Nike + FuelBand) e smartwatches (por exemplo, o Apple Watch e Samsung Gear). Além disso, os dispositivos vestíveis estão sendo usados para prevenção de várias condições de saúde como hipertensão e stress (NGU et al., 2017; STERBENZ, 2017).

2.3 Computação em Nuvem

A computação em nuvem é um modelo de computação onde recursos computacionais como poder de processamento, rede, armazenamento e software são oferecidos na internet e podem ser acessados remotamente (GUPTA, 2012). A computação em nuvem fornece uma gama de informações em relação às quais os usuários não precisam se preocupar quanto à localização; precisam saber apenas que elas existem e que poderão acessá-las de qualquer lugar do mundo.

Uma definição formal de computação em nuvem pode ser retirada de National Institute of Standards and Technology (NIST), Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos da América, onde se diz que computação em nuvem é um modelo que permite acesso ubíquo, conveniente, sob demanda a um pool compartilhado de recursos computacionais (i.e, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente configurados e liberados com o esforço de gerenciamento mínimo ou interação com o provedor de serviços (MELL; GRANCE, 2010).

Os avanços tecnológicos e a necessidade de utilizar grande poder de computação têm ajudado na utilização de tecnologias em nuvem. A computação em nuvem é importante para a distribuição e acesso de recursos de computação, oferecendo algumas vantagens de recursos computacionais (ARAUJO et al., 2011). A Amazon EC2, por exemplo, tem sido uma das plataformas de nuvem mais adotados nos últimos anos por uma série de pequenas e médias empresas, e para diversos usos (OU et al., 2012). A Amazon EC2 foi introduzida em 2006 e suporta um amplo número de tipos de instância. Quando se

¹ <https://www.fitbit.com/home>

² <https://www.pebble.com/>

³ <https://x.company/glass/>

deseja adotar a Infraestrutura como Serviço (IaaS) da Amazon é necessário identificar quais tipos de instâncias atendem os requisitos do usuário, porém esta não é uma tarefa fácil. Muitas vezes é preciso fazer avaliações de desempenho das instâncias a partir das cargas de trabalho específicas de cada cenário.

2.4 Computação em Névoa

A computação em névoa é um paradigma distribuído que fornece serviços semelhantes a de nuvem, mas para a borda da rede. Esse tipo de computação aproveita a nuvem e recursos de ponta, juntamente com sua própria infra-estrutura. Esta tecnologia lida com Dados da IoT localmente, utilizando dispositivos de borda perto de usuários para realizar um quantidade substancial de armazenamento, comunicação, controle, configuração e gestão. A abordagem se beneficia da proximidade dos pequenos dispositivos, como os sensores, enquanto aproveita a escalabilidade sob demanda dos recursos da nuvem (DASTJERDI; BUYYA, 2016).

A camada de névoa não está localizada exclusivamente na borda da rede. Em contraste com a nuvem, que é mais centralizado, esta visa os serviços e aplicativos com implantações amplamente distribuídas. Pode ser capaz de fornecer streaming de alta qualidade para nós móveis, como veículos em movimento, através de proxies e pontos de acesso. As aplicações nessa camada podem ser adaptadas com requisitos de baixa latência, vídeo streaming, jogos, realidade aumentada, etc. Também permite a entrega de dados em tempo real, especialmente para atrasos sensíveis e serviços relacionados à saúde. Ela pode executar as tarefas inteligentes de pré-processamento e notificar a nuvem quando necessário (AAZAM; HUH, 2014; YI et al., 2015; STOJMENOVIC, 2014).

3 Trabalhos Relacionados

A coleta e o monitoramento de dados sobre a saúde das pessoas, via dispositivos vestíveis IoT, apresentam várias questões que ainda precisam ser investigadas pelos cientistas. Nessa seção abordaremos a comunicação entre dispositivos vestíveis (redes de sensores), algoritmos de classificação aplicados aos dados coletados dos dispositivos e, principalmente, arquiteturas para otimizar transferência, armazenamento e processamento desses dados.

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados a Arquitetura de Baixo Custo

Artigo	Contribuição Chave		
	Sensor Vestível App Móvel	Infraestrutura Névoa-Nuvem	Análise de Custo e Benefício
(REZAEI; PASANDIDEH, 2018)	X		
(AZHARI et al., 2017)	X		
(PETER et al., 2016)	X		
(MAHAJAN; NOROOZI; MORSHED, 2017)	X		
(MA et al., 2016)	X		
(HADJEM; NAÏT-ABDESSELAM, 2015)	X		
(MOREIRA et al., 2017)	X		
(SAHOO et al., 2018)	X		
(BEHAR et al., 2015)	X		
(FEKR et al., 2016)	X		
(BAKER; XIANG; ATKINSON, 2017)	X		
(HENRIKSEN et al., 2018)	X		
(PESSEMIER; MARTENS, 2018)	X		
(MADHUSHRI et al., 2015)	X		
(DIEFFENDERFER et al., 2016)	X		
(SONUNE; KALBANDE, 2017)	X	X	
(QUISEL et al., 2017)	X	X	
(NGUYEN et al., 2017)	X	X	
(FARAHANI et al., 2018)	X	X	
Esse trabalho	X	X	X

Alguns autores buscam adaptar algoritmos aplicados aos problemas clássicos de redes de sensores para o monitoramento de sensores (ou dispositivos), vestíveis espalhados no corpo humano (body sensor networks). Rezaee et al. (REZAEI; PASANDIDEH, 2018) propõem um controle de congestionamento, em ambientes hospitalares, com o objetivo de otimizar a vazão dos dados dos sensores para um nó link, que é o destino de todos os dados medidos. Azhari et al. (AZHARI et al., 2017) propõem uma estratégia de roteamento para aumentar o tempo de vida dos sensores, cuja estratégia considera a frequência da coleta de dados. Peter et al. (PETER et al., 2016) propõe um protocolo de autenticação entre sensores de um mesmo corpo baseado em batimentos cardíacos, visando mitigar problemas

Tabela 2 – Trabalhos Relacionados a Redes de Sensores

Artigo	Contribuição Chave				
	Comunicação de sensores	Deteção de anomalias clínicas	Acuracidade de sensores	Novas modalidades de monitoramento	Arquiteturas para monitoramento de saúde
(REZAAE; PASANDI-DEH, 2018)	X				
(AZHARI et al., 2017)	X				
(PETER et al., 2016)	X				
(MAHAJAN; NOROOZI; MORSHED, 2017)	X				
(MA et al., 2016)		X			
(HADJEM; NAÏT-ABDESSELAM, 2015)		X			
(MOREIRA et al., 2017)		X			
(SAHOO et al., 2018)		X			
(BEHAR et al., 2015)		X			
(FEKR et al., 2016)		X			
(BAKER; XIANG; ATKINSON, 2017)			X		
(HENRIKSEN et al., 2018)			X		
(PESSEMIER; MARTENS, 2018)			X		
(MADHUSHRI et al., 2015)				X	
(DIEFFENDERFER et al., 2016)				X	
(SONUNE; KALBANDE, 2017)					X
(QUISEL et al., 2017)					X
(NGUYEN et al., 2017)					X
(FARAHANI et al., 2018)					X
Esse trabalho	X		X		X

de interferência entre sensores em corpos diferentes, segurança de dados pessoais e uso de chaves e informações externas à rede (corpo humano) para autenticação. Por sua vez, Mahajan et al. (MAHAJAN; NOROOZI; MORSHED, 2017) propõem um redesenho das redes de sensores corporais para eletroencefalografia, baseado em sensores inteligentes, que são reconfiguráveis, capturam apenas sinais de interesse, e podem assumir diferentes topologias, ou seja, posicionados em qualquer lugar do couro cabeludo. Esses trabalhos focam apenas na comunicação ponto a ponto (sensor a sensor), que são protocolos de comunicação *ad-hoc*. Logo, eles não tratam da transferência de dados dos sensores para uma infraestrutura externa, por exemplo, a nuvem ou Internet, aspecto importante para armazenar e processar dados do corpo humano.

Muitos autores, por sua vez, vem desenvolvendo algoritmos para analisar dados coletados de dispositivos IoT, principalmente, algoritmos de classificação supervisionados ou não. Congcong et al. (MA et al., 2016) investigaram o uso de sensores de pressão para detectar posturas de usuários de cadeira de roda. Os autores treinaram um classificador para reconhecer seis posturas diferentes de cadeirantes a partir de dados coletados de três sensores, e pretendem integrar esse classificador em um sistema para monitorar cadeirantes remotamente. Sistemas para detectar anomalias cardíacas, baseado em sensores vestíveis, são propostos em (HADJEM; NAÏT-ABDESSELAM, 2015; MOREIRA et al.,

2017; SAHOO et al., 2018). Esses estudos buscam diminuir custos dessa detecção via classificadores do padrão de batimentos cardíacos T-Wave, que são portáteis para dispositivos móveis, assim como, a associação de sinais ECG e SCG, esse último, uma modalidade de acelerômetro que capta vibrações de frequência ultra baixa do ciclo cardíaco. Sistemas para identificar distúrbios de respiração como a apnéia obstrutiva do sono (obstructive sleep apnoea – OSA) com sensores vestíveis são propostos em (BEHAR et al., 2015; FEKR et al., 2016).

Os autores treinaram classificadores SVM com base de dados públicas ou coletadas de pacientes voluntários, que incluem características clínicas de OSA. Foram desenvolvidas, então, aplicações para PC e dispositivos móveis que capturam essas características de pacientes e usam o classificador, portado para a aplicação, para identificar OSA. Os trabalhos mencionados avançam no desenvolvimento de sensores e algoritmos para identificar doenças ou demais aspectos clínicos de pacientes. No entanto, eles não tratam da comunicação entre os sensores e dispositivos que armazenarão e processarão os dados para grupos/comunidade de pacientes, assim como os custos dessa comunicação – questões fundamentais para o uso de sensores vestíveis no monitoramento de saúde.

A análise da acurácia e desempenho de sensores vestíveis é também um esforço de pesquisa importante. Baker et al. (BAKER; XIANG; ATKINSON, 2017) fazem uma pesquisa sistemática de sensores IoT, aplicados à saúde, em termos de comunicação em distâncias curtas e longas (Bluetooth Low Energy e Power Low WAN). Os autores relacionaram sensores de vários fabricantes comparando características padrões de comunicação suportados, alcance, banda de operação e requisitos de segurança. Henriksen et al. (HENRIKSEN et al., 2018) realizaram um levantamento dos principais dispositivos vestíveis de monitoramento cardíaco, focando em aspectos de mercado como vendas, versões do dispositivo, API para desenvolvedores, tradição do fabricante e projetos de pesquisa que já utilizaram os dispositivos.

Por outro lado, Pessemier et al. (PESSEMIER; MARTENS, 2018) conduziram uma avaliação da acuracidade desses dispositivos. Os autores concluíram que relógios de pulso têm medições acuradas em atividades leves, que não movem o dispositivo do corpo, e em atividades intensivas, eles ainda seguem as tendências de crescimento e queda dos batimentos cardíacos. Por outro lado, dispositivos adaptados para tal medição, como o LED da câmera do celular, diferenciam significativamente das medições de referência, principalmente em atividades intensivas. Nesse estudo, nós estendemos os resultados desses trabalhos, analisando os custos e benefícios de pulseiras smartbands de monitoramento cardíaco.

Outros trabalhos buscam desenvolver novas aplicações de sensores vestíveis. Madhushri et al. (MADHUSHRI et al., 2015) desenvolveram um método para detectar movimentos repetitivos dos pés (PLM) durante o sono baseado em redes de sensores. O objetivo dos autores é diminuir o desconforto de pacientes nos sistemas atuais, que usam eletrodos co-

nectados com fios. A proposta usa dois sensores para coletar movimentos da perna, que, posteriormente, são analisados em um microcomputador para detectar PLM via classificadores supervisionados. Dieffenderfer et al. (DIEFFENDERFER et al., 2016) propõem o uso de sensores IoT vestíveis para estudar os efeitos do ambiente na saúde das pessoas. Os autores desenvolveram um protótipo para coletar sinais vitais de pacientes com asma e ao mesmo tempo variáveis ambientais (temperatura e ozônio) via espirômetro, pulseira e adesivo peitoral. O foco dos autores é capturar dados vitais com sensores de baixa potência, ou seja, baixo consumo de energia e longevidade de funcionamento. Para os referidos trabalhos, não há, no entanto, a proposta de arquitetura para otimizar o armazenamento e processamento dos dados para vários pacientes.

Mais relacionado ao nosso trabalho são os esforços que visam desenvolver arquiteturas para coleta otimizada de dados de vários pacientes que usam sensores vestíveis. Somune et al. (SONUNE; KALBANDE, 2017) exploram esses dispositivos no desenvolvimento de uma API que extrai dados de saúde dos dispositivos ou APIs de terceiros, como Mi e Fitbit, e converte esses dados para um formato aberto, que podem ser acessados remotamente por médicos via uma aplicação desenvolvida pelos autores. Quisel et al. (QUISEL et al., 2017) propuseram uma arquitetura de coleta de dados de sensores IoT vestíveis de diferentes fabricantes.

Os autores visam a construção de um banco de dados para estudar propensão/risco à doenças a partir de dados dos pacientes coletados diariamente. Não há, no entanto, computação em névoa para análises e resultados instantâneos nos projetos mencionados. O foco deles é apenas armazenamento e processamento de dados na nuvem.

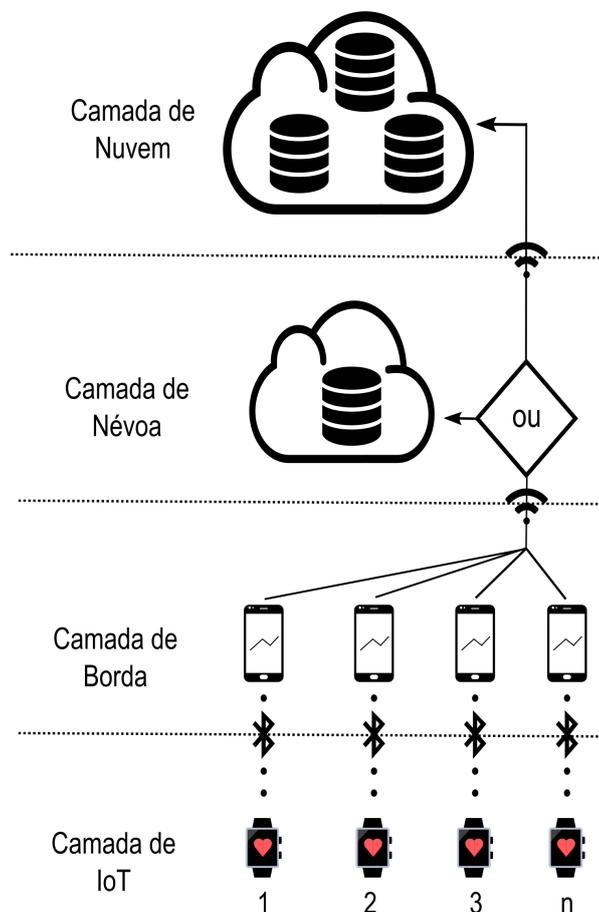
Ainda se tratando de arquiteturas para monitoramento de pacientes, Nguyen et al. (NGUYEN et al., 2017) propõem uma arquitetura distribuída para monitoramento em tempo real de pacientes a partir das residências. A arquitetura é organizada em quatro camadas: envio, processamento, armazenamento e mineração de dados. Farahani et al. (FARAHANI et al., 2018) propõe um arquitetura organizada em três camadas: sensoriamento corporal via dispositivos IoT, computação na borda e computação na nuvem, com o objetivo de transferência e processamento de dados de pacientes na nuvem, e os computadores na borda viabilizam essa tarefa, dado os recursos limitados dos sensores. Os autores desses estudos, no entanto, não analisam o desempenho e o custo das arquiteturas propostas em termos de velocidade de transferência de dados entre as camadas das arquiteturas e o custo da infraestrutura computacional. Questões que são fundamentais para implantação e aceitação de arquiteturas emergentes para serviços de saúde.

4 Uma Arquitetura Distribuída para Monitoramento Cardíaco

O problema a ser mitigado neste trabalho é a resposta para a seguinte pergunta: *Qual a infraestrutura computacional mínima que seja eficiente e de baixo custo voltado ao monitoramento cardíaco de um grande número de pessoas?* Duas premissas gerais são necessárias se fazer. (i) deve-se adotar um mecanismo de coleta de batimentos cardíacos que seja de uso prático e de baixo custo; (ii) os dados devem ser passíveis de envio remoto para um servidor centralizado que ofereça alta disponibilidade, alta performance, alta capacidade de armazenamento e ainda a um baixo custo;

A Figura 2 apresenta uma visão geral da arquitetura proposta neste trabalho. A arquitetura é dividida em quatro camadas: Camada de IoT, Camada de Borda, Camada de Névoa, e Camada de Nuvem.

Figura 2 – Arquitetura de Monitoramento Cardíaco Distribuída



4.1 Camada de IoT (Dispositivo Smartband)

Neste trabalho, a Camada de IoT refere-se à parte responsável pelo mecanismo de coleta de batimentos cardíacos. Sabe-se que existem vários dispositivos voltados a este intuito no mercado, tais como *Holter*¹ ou *Oxímetros*² (ilustrados na Figura 3), mas que não possuem portabilidade significativa. Não é possível, por exemplo, usar um oxímetro durante muitas horas sem qualquer incomodo.

O *Holter* é um dispositivo portátil que monitora continuamente a atividade elétrica cardíaca de pacientes por 24 horas ou mais. Normalmente os eletrodos são colocados em locais específicos apontados por um profissional da saúde. O *Oxímetro* é utilizado para medir os sinais vitais de pacientes internados ou em observação. Normalmente o procedimento consiste em colocar o aparelho sobre o pulso, geralmente no dedo ou na orelha. Em recém nascidos é colocado no pé, na panturrilha ou na palma das mãos.



Figura 3 – Dispositivos Tradicionais de Monitoramento Cardíaco Portátil

Por outro lado, pulseiras de monitoramento chamadas de smartbands, são bastante práticas por possuírem uma preocupação com o uso confortável e constante. A smartband Xiaomi MiBand 2 (Figura 4) foi adotada neste trabalho como o mecanismo de monitoramento dada à sua praticidade e durabilidade. A MiBand 2 monitora dados como frequência cardíaca, passos, sono, distância percorrida, etc (EL-AMRAWY; NOUNOU, 2015a). Tal pulseira é revestida por um material de silicone que se adequa confortavelmente à pele e é à prova d'água.

Além da praticidade de portabilidade existe a questão do custo. Realizamos um levantamento focado em preços de smartbands. Como ilustrado na Figura 5, a smartband

¹ Imagem do Holter: <https://www.indiamart.com/proddetail/holter-monitor-machine-14121703130.html>

² Imagem do Oxímetro: <http://portaldocoracao.com.br/oximetria-de-pulso/>



Figura 4 – Xiaomi MiBand 2

Xiaomi MiBand 2³ possui um preço mediano (\$20), comparado às outras alternativas mais populares. Portanto, a princípio passamos a adotar a pulseira Xiaomi MiBand 2 como a melhor opção mas também seria necessário ainda verificar o seu nível de precisão.

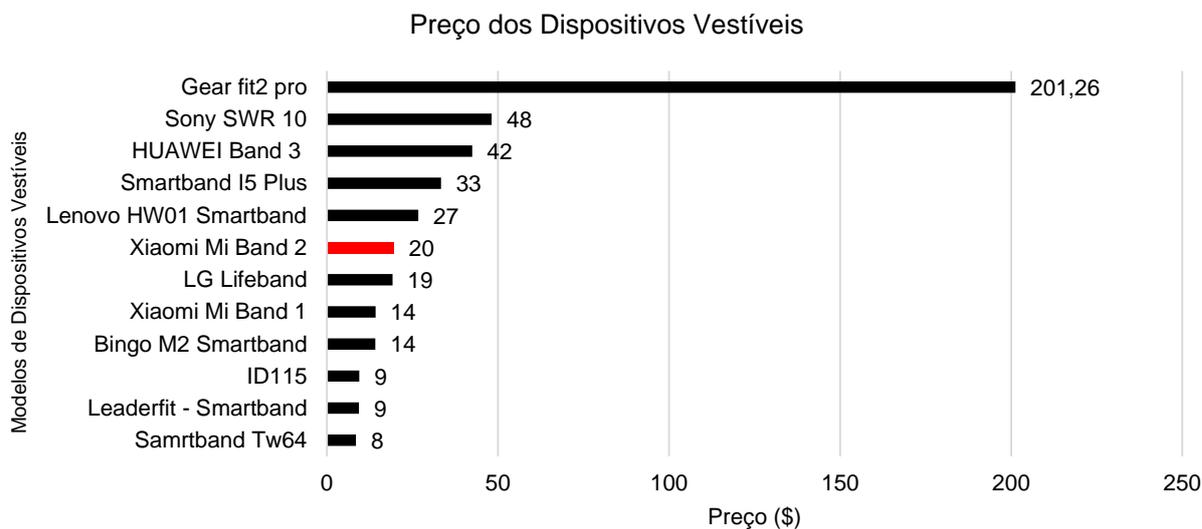


Figura 5 – Preços de Sensores Vestíveis

Não foi possível encontrar na literatura um estudo de precisão de sensores vestíveis que abrangessem a nova Xiaomi Miband 2. No entanto, Amrawy et. al (EL-AMRAWY; NOUNOU, 2015b) em 2015 realizou experimentos de precisão que englobaram a versão anterior da Xiaomi Miband. No estudo, as medidas dos sensores vestíveis foram comparadas a um oxímetro de alta precisão. A Figura 6 apresenta o resultado do estudo. Surpreendentemente, apesar da pulseira Xiaomi Miband possuir um custo baixo ela apresenta uma precisão acima das pulseiras 50% mais precisas. É importante mencionar que as versões 1 e 2 da Miband possuem preços bem próximos.

Como este trabalho visa o monitoramento constante dos batimentos cardíacos, alta autonomia de bateria é imprescindível. A Figura 7 apresenta uma comparação das smart-

³ Imagem da MiBand 2: https://www.powerplanetonline.com/xiaomi_mi_band_2

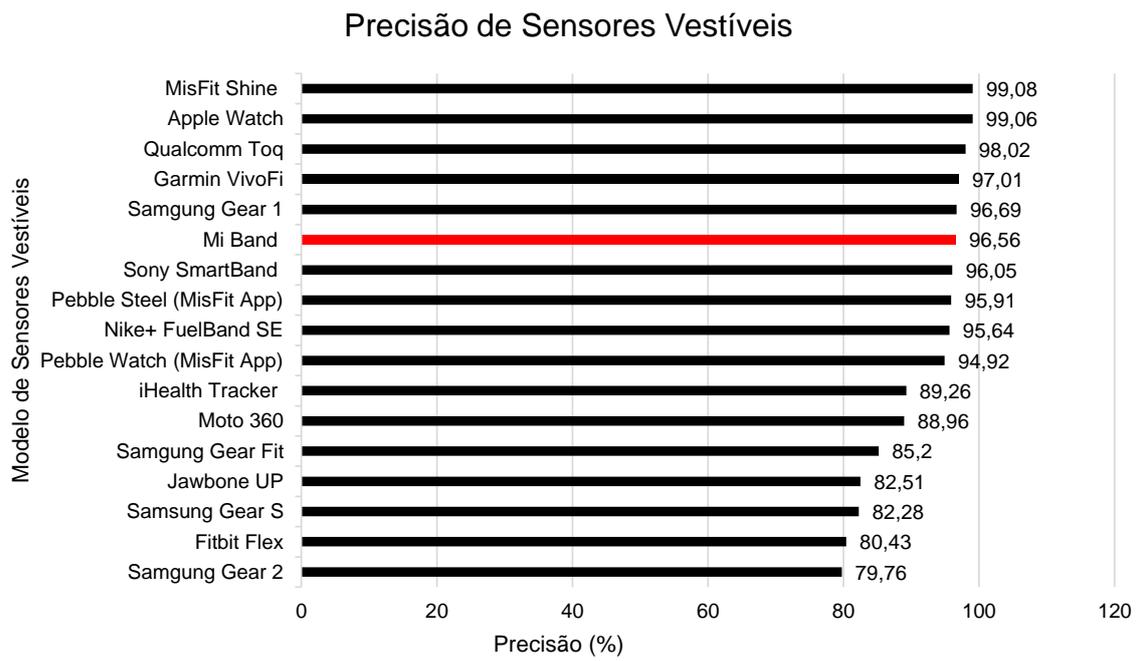


Figura 6 – Precisão de Sensores Vestíveis

bands em termos de autonomia de bateria. A Xiaomi Mi Band 2 é superior às suas concorrentes, possuindo uma capacidade de 70 mAh.

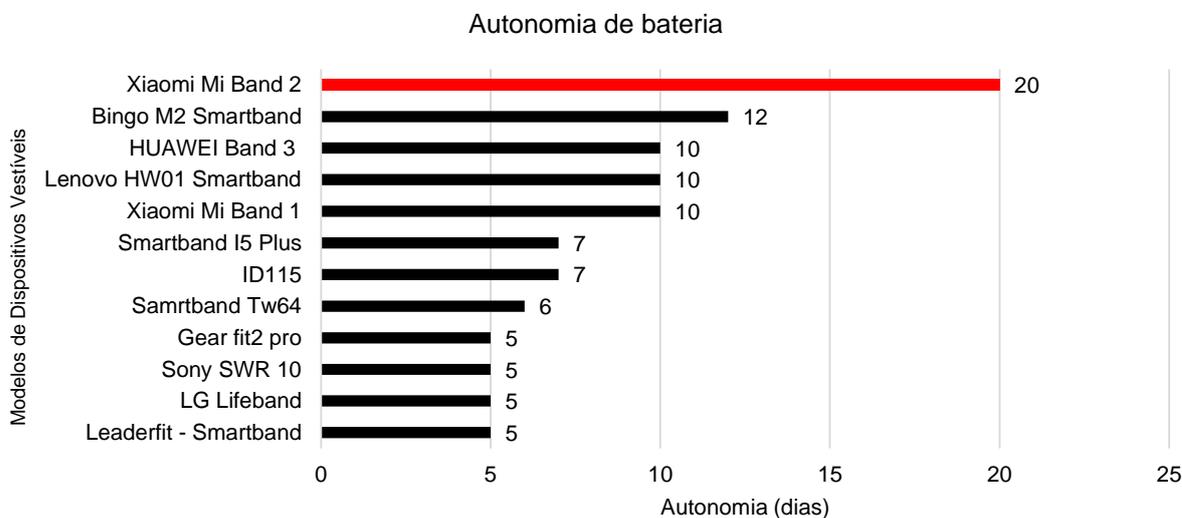


Figura 7 – Autonomia de Bateria para Sensores Vestíveis

Como smartbands não oferecem conexão com a Internet, se faz necessário o uso de um smartphone para captar os dados da smartband. Poderíamos utilizar um smartwatch que pode conectar-se à Internet, porém tais aparelhos possuem alto custo atualmente. Além disso, a maior parte da população faz uso de smartphones e, portanto, não é um problema a adoção de uma smartband. Na arquitetura proposta, os smartphones situam-se na camada de borda. Como explicado na seção de Background, a camada de borda nada mais é do que um recurso próximo à fonte de dados. Assim, o smartphone funciona

como um gateway entre os sensores e as camadas superiores de processamento intensivo.

4.2 Camada de Borda (Aplicativo MiBand Cardio)

Nenhuma smartband do mercado, atualmente, possui um aplicativo que conecta-se a um servidor remoto para armazenamento constante. Por conta disso, nós desenvolvemos o MiBand Cardio. A MiBand Cardio⁴ é um aplicativo que monitora os batimentos cardíacos com a smartband Mi Band 2 da Xiaomi. Tem como característica principal ser simples e intuitivo. Adicionalmente os dados coletados são enviados a um servidor centralizado, com intuito de utilizar esses dados para estudos futuros. O monitoramento é em tempo real para que se possa prontamente tirar conclusões e tomar ações necessárias.

A Figura 8 mostra as três telas principais do aplicativo: (i) Cadastro de Usuário (Figura 8a); (ii) Cadastro de Servidor (Figura 8b); e (iii) Monitoramento (Figura 8c).

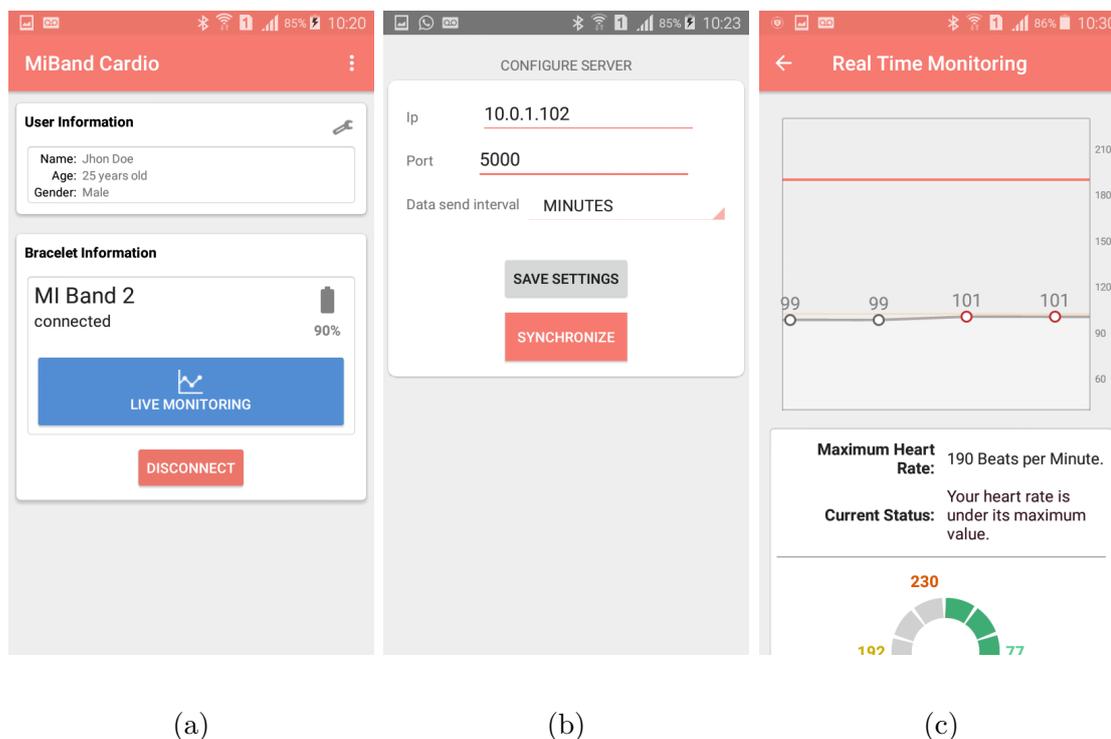


Figura 8 – (a) Cadastro do Usuário, (b) Cadastro do Servidor e o (c) Monitoramento em Tempo Real.

A tela de Cadastro de Usuário é dividida em duas seções: Informações do Usuário e Informações da Smartband. Na primeira seção é possível editar as informações do usuário da smartband como: nome, idade e sexo. A idade e o sexo são informações necessárias para calcular o nível de batimento máximo esperado para aquele usuário. Na segunda seção é possível visualizar a carga atual da bateria da smartband. Um botão é exibido

⁴ <https://bit.ly/2rx5w1N>

para conectar a smartband e outro botão para ir para a tela de monitoramento em tempo real.

A tela de Cadastro de Servidor possui dois campos (IP e porta), referentes ao servidor para onde os batimentos devem ser enviados. Logo abaixo, possui uma caixa de seleção onde deve ser escolhido o intervalo de envio dos dados: hora, minuto ou segundo. São dispostos também um botão para salvar as configurações e um botão para sincronizar manualmente.

A tela de Monitoramento possui dois gráficos que mostram informações referentes ao estado atual dos batimentos cardíacos do usuário. O gráfico de linha mostra a curva dos batimentos ao longo do tempo. Quando os pontos do gráfico de linha ficam vermelhos, significa que os batimentos estão acima do normal. Ao passar do tempo os pontos vão ficando mais próximos dado a quantidade de coletas. Para visualizar mais em detalhes basta aproximar ampliando a imagem com dois dedos. O gráfico circular traz uma ideia mais intuitiva para saber se os batimentos estão em um nível saudável, ou seja, se está a uma distância considerável do limite máximo configurado. À medida em que os batimentos vão aumentando a coloração do círculo muda, onde verde é normal, e vermelho é alarmante.

A Tabela 3 apresenta uma comparação dos aplicativos que dão suporte à pulseira MiBand 2. Foram usados os seguintes critérios: (i) Processa Dados Cardíacos; (ii) Possui Conexão Com um Servidor; (iii) Envia Dados de Batimentos Cardíaco Para o Servidor; (iv) Possui Gráfico de Batimentos Cardíacos. Apenas nosso aplicativo proposto atende a todos estes requisitos.

Tabela 3 – Comparação de Aplicativos de Suporte a Smartbands

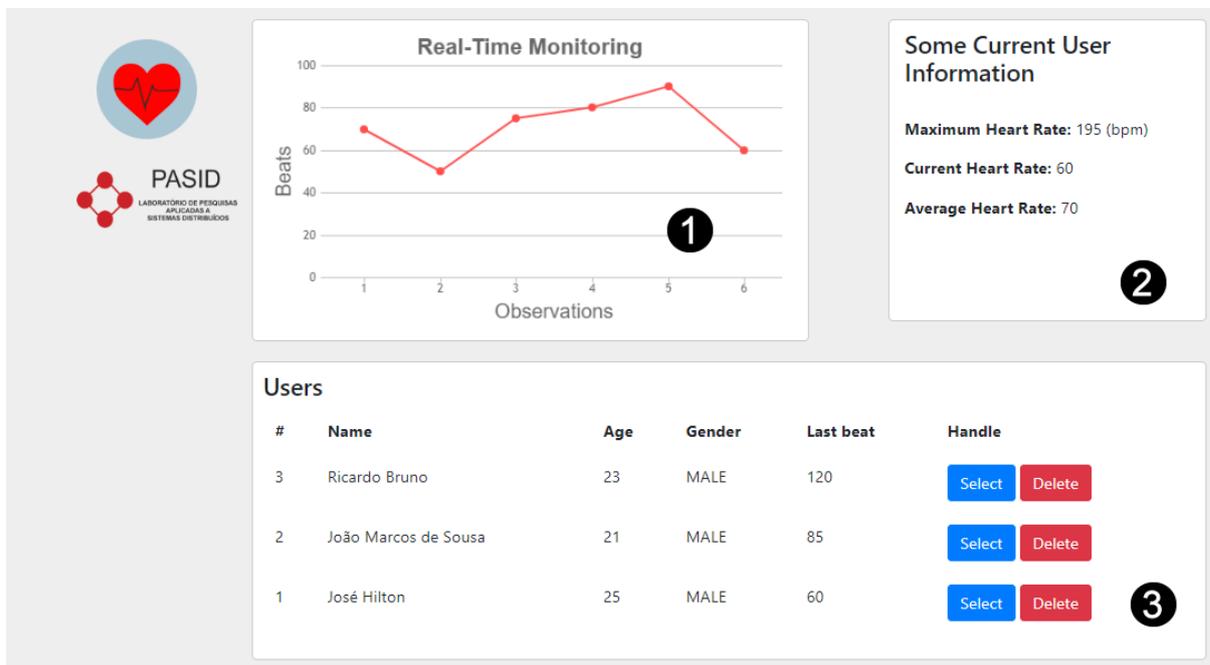
Nome Do Aplicativo	Processa Dados Cardíacos?	Possui Conexão Com Um Servidor	Envia Dados De Batimento Cardíaco Para o Servidor?	Gráfico De Batimentos Em Tempo Real
Mi Fit	Sim	Não	Não	Não
Notify & Fitness for Mi Band	Sim	Não	Não	Sim
Tools & Mi Band	Sim	Não	Não	Sim
Mi Band 2 Func Button	Não	Não	Não	Não
Google Fit	Não	Sim	Não	Não
Mi Band Master	Sim	Não	Não	Sim
Mi HR with Smart Alarm - be fit Band	Sim	Não	Não	Não
DroiHealth	Sim	Não	Não	Não
H Band 2.0	Sim	Não	Não	Sim
Mi Band 2 Music & Camera Control	Não	Não	Não	Não
Fix-it for Mi Band 2	Não	Não	Não	Não
MiBand Cardio	Sim	Sim	Sim	Sim

4.3 Camadas de Névoa e Nuvem

Como mencionado anteriormente, o principal foco deste trabalho é prover uma arquitetura distribuída que possa monitorar e armazenar dados cardíacos de muitas pessoas. Um dos requisitos mais importantes neste contexto é ter alto nível de disponibilidade e tolerância a falhas no lado do servidor de armazenamento havendo uma preocupação com custos. Trabalhou-se com duas possibilidades. Enquanto haja recursos disponíveis na camada de névoa faz-se uso, e quando não houver, os dados são enviados para o servidor na nuvem.

Foi desenvolvido um software servidor para ser executado em ambas as camadas (nuvem e névoa). O software servidor foi desenvolvido utilizando Java, framework Spring, com banco de dados MySQL. O servidor preza pela fácil instalação e uso, pois tem o objetivo de ser acessível para todas as pessoas que queiram utilizá-lo, e tenham pouca experiência técnica. Possibilita o gerenciamento dos dados coletados e também o acompanhamento do estado atual dos usuários em tempo real. A Figura 9 é um screenshot do dashboard do servidor que apresenta informações de cada usuário monitorado.

Figura 9 – Dashboard do Software Servidor



A página é subdividida em três partes. O componente um mostra o gráfico dos batimentos do usuário selecionado em tempo real. São apresentados no gráfico das últimas dez medições cardíacas do usuário. No componente dois são exibidos o valor máximo dos batimentos, o valor atual e a média geral dos últimos dez batimentos. Todas essas informações são atualizadas de forma constante. O componente três lista todos os usuários que estão sendo monitorados, contendo nome, idade, último batimento registrado e algumas

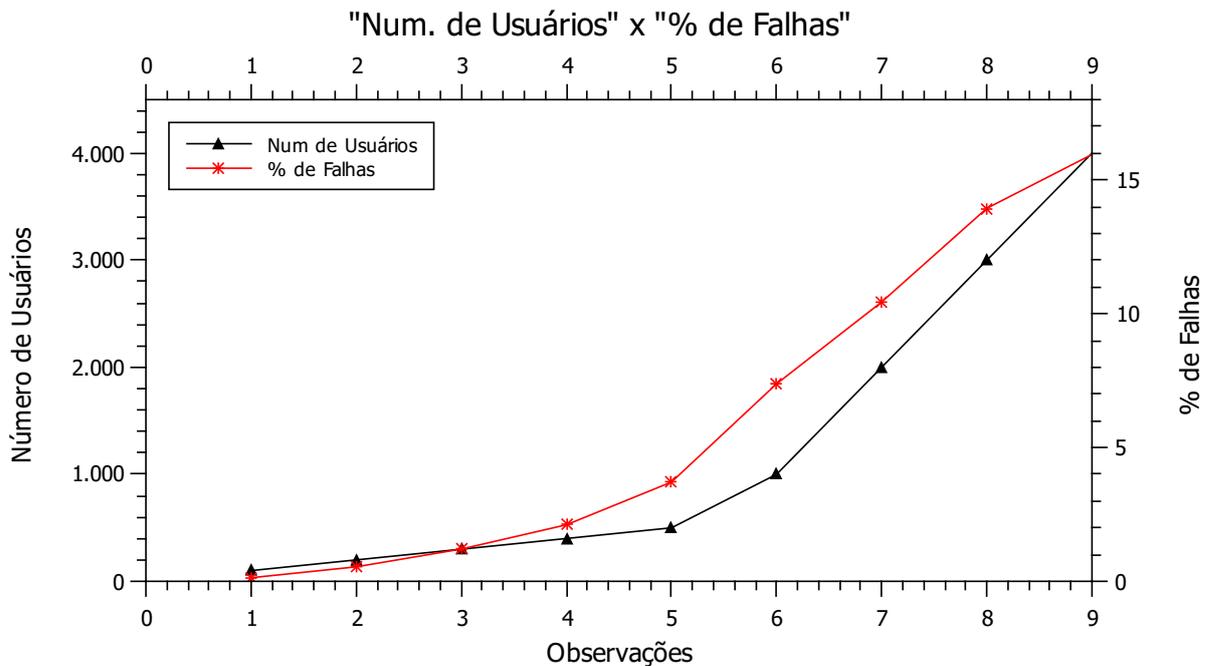
opções de ação. A ação de clicar no botão selecionar (Select) direciona o monitoramento para o usuário específico, e a ação excluir (Delete) apaga todos os seus dados.

5 Avaliação

Esta seção apresenta a avaliação de desempenho das camadas de névoa e nuvem. Na camada de névoa foi adotada a ideia de utilizar computadores físicos. Na camada de nuvem foi adotados as máquinas virtuais da Amazon AWS para os experimentos iniciais.

O framework Jmeter foi adotado para simular os usuários em todos os experimentos. Ela é uma ferramenta utilizada para testes de carga em serviços oferecidos por sistemas computacionais. Um computador de baixa capacidade foi utilizado como recurso primário de testes para a camada de névoa. A Figura 10 mostra uma variação de 0 a 4000 usuários em paralelo. O número de falhas cresce proporcionalmente ao número de usuários. Quando atinge-se 4000 usuários concomitantes, a porcentagem de falhas é de 16%.

Figura 10 – Teste de Carga com Configuração Mínima

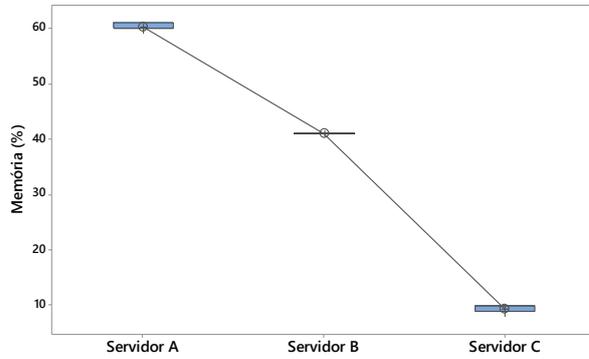


A Figura 11 apresenta avaliações de desempenho referentes à camada de névoa. Foram avaliados o consumo de memória e CPU variando quantidades de usuários em 1000, 2000 e 3000. Para o servidor local na camada de névoa, três computadores foram utilizados como mostrado na Tabela 4, nomeados de A, B e C. O computador de configuração mais baixa é o A. O computador C possui configuração mais elevada. Houve diferença estatística significativa entre as três máquinas nos três cenários, com 95% de confiança.

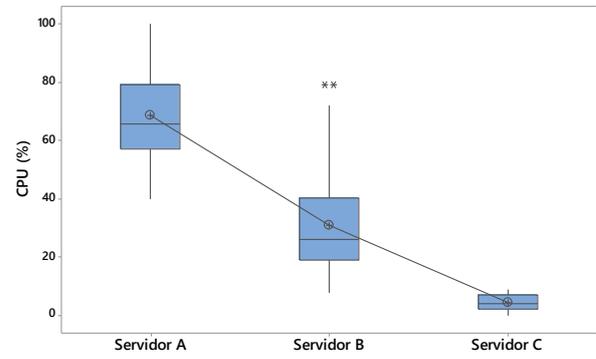
No caso da avaliação para a camada de nuvem, quatro tipos de máquinas virtuais foram adotadas. A Tabela 5 mostra as diferentes configurações de tais máquinas. As seguintes instâncias foram verificadas: t2.micro, t2.small, m4.xlarge, e m4.2xlarge. A Figura

Tabela 4 – Servidores da Camada de Névoa

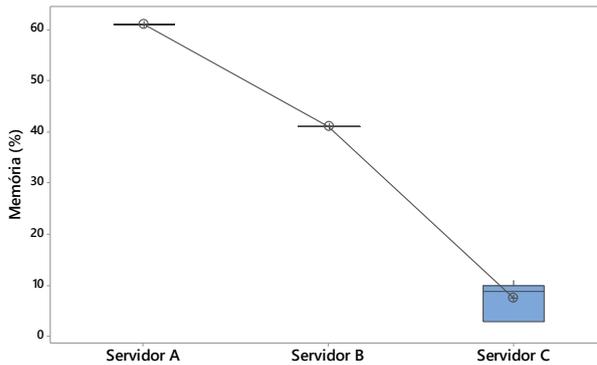
Servidor	CPU	Memória (GB)
A	3	4
B	7	4
C	7	8



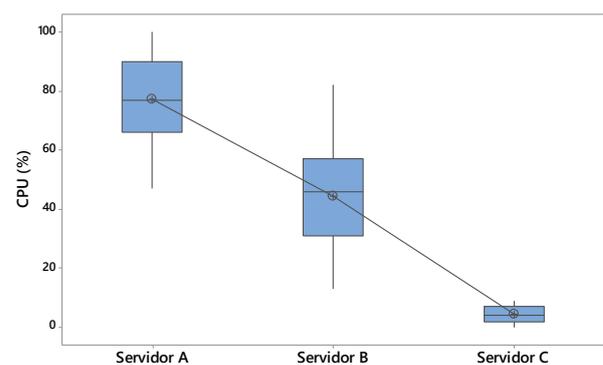
(a) ANOVA para Memória com 1000 usuários



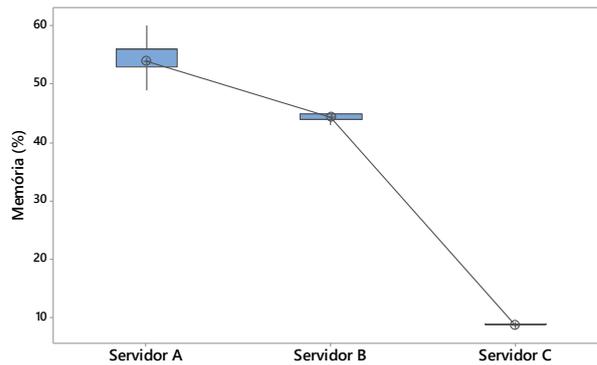
(b) ANOVA para CPU com 1000 usuários



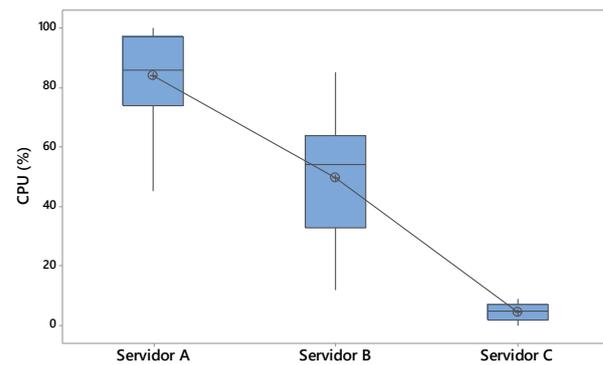
(c) ANOVA para Memória com 2000 usuários



(d) ANOVA para CPU com 2000 usuários



(e) ANOVA para Memória com 3000 usuários



(f) ANOVA para CPU com 3000 usuários

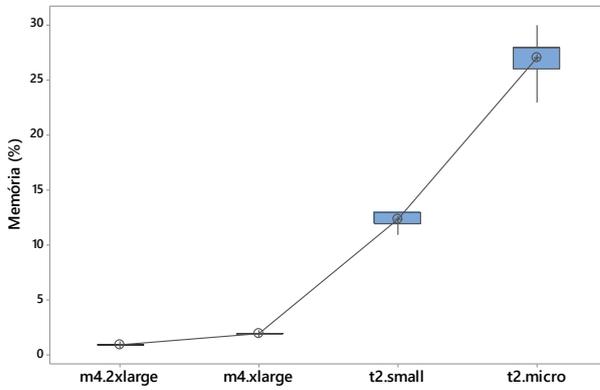
Figura 11 – Avaliação de Servidores na Camada de Névoa

12 apresenta avaliações de desempenho referentes à camada de nuvem. Também foram avaliados o consumo de memória e CPU variando quantidades de usuários em 1000, 2000 e 3000. No entanto, diferente da avaliação das máquinas físicas, as instâncias da nuvem se mostraram com variações apenas em termos de memória. A métrica de CPU se manteve muito semelhante nos quatro tipos de instâncias, não havendo diferença estatística signi-

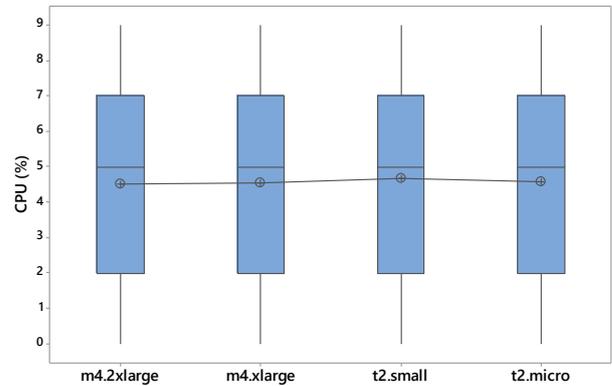
ficativa. Não sabemos justificar por que não houve diferença, uma vez que a quantidade de cores de processamento são distintos. No entanto, podemos observar que mesmo assim o consumo de CPU foi bastante baixo, entre 2 e 7%.

Tabela 5 – Tipos de Instâncias da Amazon EC2

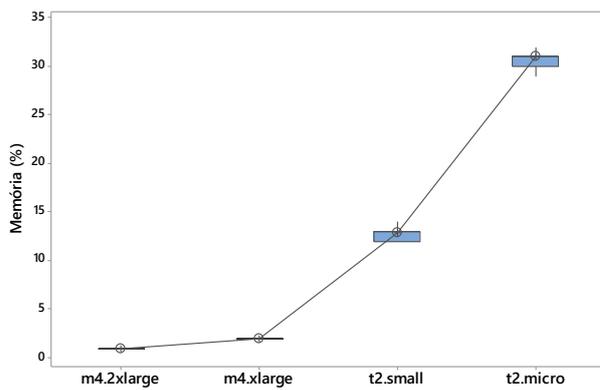
Modelo	vCPU	Memória (GB)
m4.2xlarge	8	32
m4.xlarge	4	16
t2.small	1	2
t2.micro	1	1



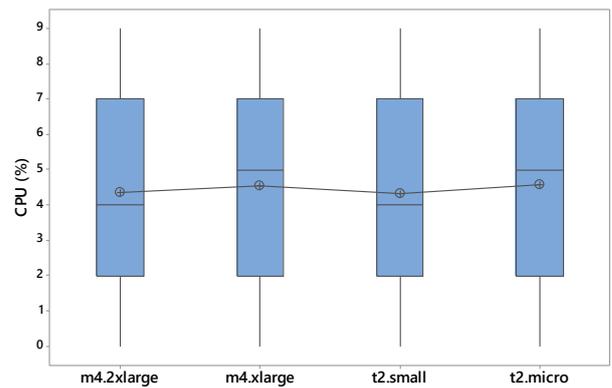
(a) ANOVA para Memória com 1000 usuários



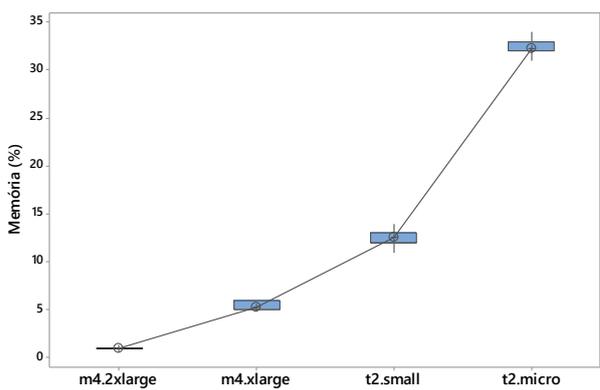
(b) ANOVA para CPU com 1000 usuários



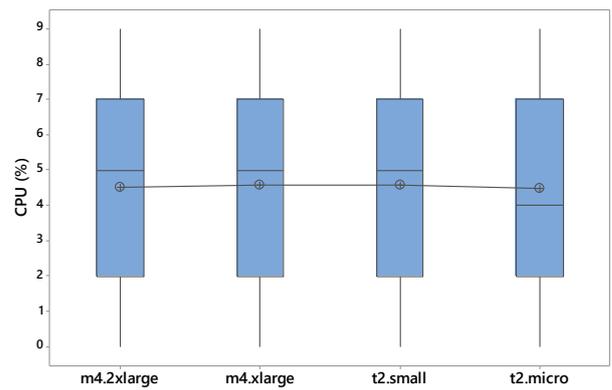
(c) ANOVA para Memória com 2000 usuários



(d) ANOVA para CPU com 2000 usuários



(e) ANOVA para Memória com 3000 usuários



(f) ANOVA para CPU com 3000 usuários

Figura 12 – Avaliação de Servidores na Camada de Nuvem

6 Conclusão

Problemas cardíacos é a maior causa de mortes no planeta. A tecnologia pode mitigar este problema através de monitoramento constante de pacientes. Quanto mais cedo se identificar anomalias cardíacas mais chances de tratamento e cura. Com o advento da Internet, Dispositivos Vestíveis (como a Mi Band 2) e a Internet das Coisas, a coleta de dados em massa se torna uma opção viável e cômoda.

Este trabalho apresentou um aplicativo capaz de monitorar batimentos cardíacos de modo constante e com armazenamento remoto. Também foi apresentada toda uma arquitetura de monitoramento de baixo custo. A arquitetura é composta de modernos conceitos de nuvem e névoa à fim de prover alta disponibilidade. Resultados de experimentos mostraram que é possível montar uma estrutura com máquinas recursos limitados para monitorar milhares de usuários com o mínimo de perda.

Como trabalhos futuros, pretende-se evoluir o aplicativo MiBand Cardio para monitorar os batimentos cardíacos de um número maior de pessoas. É pretendido aplicar técnicas de inteligência artificial para processar e analisar os dados armazenados, com o intuito de detectar possíveis anomalias cardíacas.

Referências

- AAZAM, M.; HUH, E.-N. Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things. In: IEEE. *Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2014 International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 464–470. Citado na página 17.
- AHN, S. et al. Evaluation of edge-based interaction on a square smartwatch. *International Journal of Human-Computer Studies*, Elsevier, v. 109, p. 68–78, 2018. Citado na página 12.
- AL-FUQAHA, A. et al. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015. Citado na página 12.
- ALFEO, A. L. et al. Sleep behavior assessment via smartwatch and stigmergic receptive fields. *Personal and Ubiquitous Computing*, Springer, v. 22, n. 2, p. 227–243, 2018. Citado na página 12.
- ARAUJO, J. et al. Software rejuvenation in eucalyptus cloud computing infrastructure: A method based on time series forecasting and multiple thresholds. In: IEEE. *Software Aging and Rejuvenation (WoSAR), 2011 IEEE Third International Workshop on*. [S.l.], 2011. p. 38–43. Citado na página 16.
- ARMBRUST, M. et al. A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, ACM, v. 53, n. 4, p. 50–58, 2010. Citado na página 13.
- AZHARI, M. E. et al. Equalized energy consumption in wireless body area networks for a prolonged network lifetime. *Wireless Communications and Mobile Computing*, Hindawi, v. 2017, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- BAKER, S. B.; XIANG, W.; ATKINSON, I. Internet of things for smart healthcare: Technologies, challenges, and opportunities. *IEEE Access*, v. 5, p. 26521–26544, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- BEHAR, J. et al. Sleepap: An automated obstructive sleep apnoea screening application for smartphones. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 19, n. 1, p. 325–331, Jan 2015. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- BONOMI, F. et al. Fog computing and its role in the internet of things. In: ACM. *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*. [S.l.], 2012. p. 13–16. Citado na página 13.
- BUMGARNER, J. M. et al. Automated atrial fibrillation detection algorithm using smartwatch technology. *Journal of the American College of Cardiology*, Journal of the American College of Cardiology, p. 24734, 2018. Citado na página 12.
- DASTJERDI, A. V.; BUYYA, R. Fog computing: Helping the internet of things realize its potential. *Computer*, IEEE, v. 49, n. 8, p. 112–116, 2016. Citado na página 17.

- DIEFFENDERFER, J. et al. Low-power wearable systems for continuous monitoring of environment and health for chronic respiratory disease. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 20, n. 5, p. 1251–1264, 2016. ISSN 2168-2194. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 21.
- EL-AMRAWY, F.; NOUNOU, M. I. Are currently available wearable devices for activity tracking and heart rate monitoring accurate, precise, and medically beneficial? *Healthcare informatics research*, v. 21, n. 4, p. 315–320, 2015. Disponível em: <<https://synapse.koreamed.org/Synapse/Data/PDFData/1088HIR/hir-21-315.pdf>>. Citado na página 23.
- EL-AMRAWY, F.; NOUNOU, M. I. Are currently available wearable devices for activity tracking and heart rate monitoring accurate, precise, and medically beneficial? *Healthcare informatics research*, v. 21, n. 4, p. 315–320, 2015. Citado na página 24.
- FARAHANI, B. et al. Towards fog-driven iot ehealth: Promises and challenges of iot in medicine and healthcare. *Future Generation Computer Systems*, v. 78, p. 659 – 676, 2018. ISSN 0167-739X. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 21.
- FEKR, A. R. et al. Respiration disorders classification with informative features for m-health applications. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 20, n. 3, p. 733–747, May 2016. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- FERNANDO, N.; LOKE, S. W.; RAHAYU, W. Mobile cloud computing: A survey. *Future generation computer systems*, Elsevier, v. 29, n. 1, p. 84–106, 2013. Citado na página 13.
- FINKELSTEIN, E. A. et al. Effectiveness of activity trackers with and without incentives to increase physical activity (trippa): a randomised controlled trial. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, Elsevier, v. 4, n. 12, p. 983–995, 2016. Citado na página 12.
- GUPTA, R. Above the clouds: A view of cloud computing. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, Asian Research Consortium, v. 2, n. 6, p. 84–110, 2012. Citado na página 16.
- HADJEM, M.; NAÏT-ABDESSELAM, F. An ecg t-wave anomalies detection using a lightweight classification model for wireless body sensors. In: *ICC*. [S.l.: s.n.], 2015. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- HENRIKSEN, A. et al. Using fitness trackers and smartwatches to measure physical activity in research: Analysis of consumer wrist-worn wearables. *Journal of medical Internet research*, JMIR Publications Inc., v. 20, n. 3, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- HUANG, D.; WU, H. *Mobile Cloud Computing: Foundations and Service Models*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2017. Citado na página 13.
- IDC. *Wearables Aren't Dead, They're Just Shifting Focus as the Market Grows 16.9% in the Fourth Quarter*. 2018. Disponível em: <<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS42342317>>. Citado na página 12.
- IDC. *Xiaomi and Apple Tie for the Top Position as the Wearables Market Swells 17.9% During the First Quarter*. 2018. Disponível em: <<https://goo.gl/RVziVk>>. Citado na página 12.

- JAKICIC, J. M. et al. Effect of wearable technology combined with a lifestyle intervention on long-term weight loss: the idea randomized clinical trial. *Jama*, American Medical Association, v. 316, n. 11, p. 1161–1171, 2016. Citado na página 12.
- KHAN, A. et al. A holistic view of the iot process from sensors to the business value. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- KIM, H. et al. Chemical laboratory safety management service using iot sensors and open apis. In: IEEE. *Information and Communications (ICIC), 2017 International Conference on*. [S.l.], 2017. p. 262–263. Citado na página 15.
- KLAS, G. I. Fog computing and mobile edge cloud gain momentum open fog consortium, etsi mec and cloudlets. *Google Scholar*, 2015. Citado na página 15.
- KUMAR, K.; LU, Y.-H. Cloud computing for mobile users: Can offloading computation save energy? *Computer*, IEEE, v. 43, n. 4, p. 51–56, 2010. Citado na página 13.
- MA, C. et al. Activity recognition and monitoring for smart wheelchair users. In: IEEE. *Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2016 IEEE 20th International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 664–669. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- MADHUSHRI, P. et al. Periodic leg movement (plm) monitoring using a distributed body sensor network. In: IEEE. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE*. [S.l.], 2015. p. 1837–1840. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- MAHAJAN, R.; NOROOZI, B.; MORSHED, B. I. Reconfigurable architecture of neuro-physiological sensors for mobile health system. In: *2017 IEEE/ACM International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 402–409. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- MELL, P.; GRANCE, T. The nist definition of cloud computing. *Communications of the ACM*, v. 53, n. 6, p. 50, 2010. Citado na página 16.
- METCALF, D. et al. Wearables and the internet of things for health: Wearable, interconnected devices promise more efficient and comprehensive health care. *IEEE pulse*, IEEE, v. 7, n. 5, p. 35–39, 2016. Citado na página 15.
- MIRZAMOHAMMADI, S. et al. Ditio: Trustworthy auditing of sensor activities in mobile & iot devices. In: ACM. *Proceedings of the 15th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*. [S.l.], 2017. p. 28. Citado na página 15.
- MOREIRA, D. et al. Detecção de pontos fiduciais em eletrocardiogramas para sistemas de saúde. In: *36 Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed*. [S.l.: s.n.], 2017. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- NGU, A. H. et al. Iot middleware: A survey on issues and enabling technologies. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 4, n. 1, p. 1–20, 2017. Citado na página 16.
- NGUYEN, H. H. et al. A review on iot healthcare monitoring applications and a vision for transforming sensor data into real-time clinical feedback. In: IEEE. *Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2017 IEEE 21st International Conference on*. [S.l.], 2017. p. 257–262. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 21.

- ORGANIZATION, W. H. *Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health*. 2018. Disponível em: <<http://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/en>>. Citado na página 12.
- ORGANIZATION, W. H. *Physical activity report*. 2018. Disponível em: <<https://google.com/scUnXL>>. Citado na página 12.
- OU, Z. et al. Exploiting hardware heterogeneity within the same instance type of amazon ec2. In: *HotCloud*. [S.l.: s.n.], 2012. Citado na página 16.
- PESSEMIER, T. D.; MARTENS, L. Heart rate monitoring, activity recognition, and recommendation for e-coaching. *Multimedia Tools and Applications*, Springer, p. 1–18, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- PETER, S. et al. Design of secure ecg-based biometric authentication in body area sensor networks. *Sensors*, v. 16, n. 4, p. 570, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- QUISEL, T. et al. Collecting and analyzing millions of mhealth data streams. In: *ACM. Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. [S.l.], 2017. p. 1971–1980. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 21.
- REZAEI, A. A.; PASANDIDEH, F. A fuzzy congestion control protocol based on active queue management in wireless sensor networks with medical applications. *Wireless Pers Commun*, Springer, v. 98, p. 815–842, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- SAHOO, P. K. et al. On the design of an efficient cardiac health monitoring system through combined analysis of ecg and scg signals. *Sensors*, v. 18, n. 2, p. 379, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- SATYANARAYANAN, M. et al. The case for vm-based cloudlets in mobile computing. *IEEE pervasive Computing*, IEEE, v. 8, n. 4, 2009. Citado na página 15.
- SHI, W. et al. Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 3, n. 5, p. 637–646, 2016. Citado na página 15.
- SONUNE, S.; KALBANDE, D. Iot enabled api for secure transfer of medical data. In: *IEEE. Intelligent Computing and Control (I2C2), 2017 International Conference on*. [S.l.], 2017. p. 1–6. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 21.
- STERBENZ, J. P. Smart city and iot resilience, survivability, and disruption tolerance: Challenges, modelling, and a survey of research opportunities. In: *IEEE. Resilient Networks Design and Modeling (RNDM), 2017 9th International Workshop on*. [S.l.], 2017. p. 1–6. Citado na página 16.
- STOJMENOVIC, I. Fog computing: A cloud to the ground support for smart things and machine-to-machine networks. In: *IEEE. Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC), 2014 Australasian*. [S.l.], 2014. p. 117–122. Citado na página 17.
- THIRUMALAI, C.; KAR, H. Memory efficient multi key (memk) generation scheme for secure transportation of sensitive data over cloud and iot devices. In: *IEEE. Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), 2017 Innovations in*. [S.l.], 2017. p. 1–6. Citado na página 15.

YI, S. et al. Fog computing: Platform and applications. In: IEEE. *Hot Topics in Web Systems and Technologies (HotWeb), 2015 Third IEEE Workshop on.* [S.l.], 2015. p. 73–78. Citado na página 17.

ZHOU, B.; BUYYA, R. Augmentation techniques for mobile cloud computing: A taxonomy, survey, and future directions. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, ACM, v. 51, n. 1, p. 13, 2018. Citado na página 13.



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA
“JOSÉ ALBANO DE MACEDO”**

Identificação do Tipo de Documento

- () Tese
() Dissertação
() Monografia
() Artigo

Eu, Jose Hilton de Sousa Filho,
autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de
02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar,
gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação
Uma Arquitetura de monitoramento cardíaco de baixo
custo Baseado em Computação em Nuvem.
de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título
de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 07 de Agosto de 20 18.

Jose Hilton de Sousa Filho
Assinatura