



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA APLICADA**

HALLYSON GUSTAVO TAVARES DE SOUZA

**ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS
DE MHEALTH FUNDAMENTADOS NA INTERNET
DAS COISAS**

RECIFE – PE

2017

HALLYSON GUSTAVO TAVARES DE SOUZA

**ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS
DE MHEALTH FUNDAMENTADOS NA INTERNET
DAS COISAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática Aplicada do Departamento de Estatística e Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciência da Computação.

ORIENTADOR: Gabriel Alves de Albuquerque Júnior

RECIFE – PE

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S729a Souza, Hallyson Gustavo Tavares de.
Análise de disponibilidade de Sistemas de mHealth fundamentos na Internet das coisas / Hallyson Gustavo Tavares de Souza. – 2017.
99 f. : il.

Orientador: Gabriel Alves de Albuquerque Júnior.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada, Recife, BR-PE, 2017.
Inclui referências.

1. Internet das coisas 2. Disponibilidade 3. Dispositivos móveis I. Albuquerque Júnior, Gabriel Alves de, orient. II. Título

CDD 004

HALLYSON GUSTAVO TAVARES DE SOUZA

**ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS DE
MHEALTH FUNDAMENTADOS NA INTERNET DAS COISAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática Aplicada do Departamento de Estatística e Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovado em: 30 de Agosto de 2017

BANCA EXAMINADORA

Gabriel Alves de Albuquerque Júnior (Orientador)

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Estatística e Informática Aplicada – DEINFO

Gustavo Rau de Almeida Callou

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Estatística e Informática Aplicada – DEINFO

Paulo Romero Martins Maciel

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Informática – CIn

Ermeson Carneiro de Andrade

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Estatística e Informática Aplicada – DEINFO

Para não correr o risco da injustiça,
agradeço de antemão a todos que de
alguma forma passaram pela minha
vida e contribuíram para a construção
de quem sou hoje.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta longa caminhada.

Aos meus pais, Luiz e Geruza, pela determinação e luta na minha formação.

A minha tia Adjanice que me acolheu como um filho em sua residência durante toda a estadia em Recife.

Aos amigos do mestrado, Amarildo, Ameliara, Arthur, Edgard, Elton, Fernandes, Josival, Junior, Márcio, Mícaias, Paulo Cesar, Pedro e Will, por todos os momentos de apoio e união. Não teria chegado até aqui sem a ajuda de vocês.

Ao Professor Gabriel pela paciência, ensinamentos e incentivo para a conclusão desse trabalho.

A meus amigos e familiares em Campina Grande, onde tantas vezes estive ausente para me dedicar a demanda de estudos do mestrado. Tenho a certeza que todos vocês torceram muito pelo meu sucesso.

Agradeço a todos que, mesmo não estando nominalmente citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão dessa etapa da minha vida.

"O insucesso é apenas uma oportunidade para
recomeçar de novo com mais inteligência."

(Henry Ford)

Resumo

A Internet das Coisas (IoT) é uma realidade que vem sendo inserida no cotidiano das pessoas promovendo interação entre o mundo físico e digital. Paralelo a isso, a evolução dos dispositivos móveis aliado ao desenvolvimento científico e tecnológico em saúde tem trazido avanços para atender diversas necessidades dos usuários. Nesse contexto, o termo saúde móvel (*mHealth*) é utilizado para se referir a utilização destes dispositivos com o intuito de prover melhores serviços na área de saúde, ampliando a assistência médica e reduzindo custos. O uso da computação móvel em nuvem (MCC) permite superar as limitações de recursos dos dispositivos móveis como a capacidade de processamento, armazenamento e consumo de energia. O monitoramento remoto de pacientes por meio de sensores sem fio implantados junto ao seu corpo constitui uma rede de área corporal (WBAN). Estas redes são utilizadas para registrar e disponibilizar dados que podem auxiliar no diagnóstico e prevenção de doenças. Essa integração de tecnologias cria novas alternativas para tratamento e acompanhamento de pacientes, seja dentro ou fora do ambiente hospitalar. Este trabalho apresenta um estudo da disponibilidade em sistemas IoT aplicado à *mHealth*. A arquitetura analisada composta por pacientes monitorados por sensores sem fio, rede de comunicação interna (intra-BAN), dispositivo móvel com sua bateria e interfaces de comunicação, rede de comunicação externa (extra-BAN) com conexão WiFi e 3G, e por fim, o ambiente de nuvem, no qual são armazenados os dados. A partir desses componentes, foram elaborados modelos hierárquicos utilizando diagramas de blocos de confiabilidade (RBD) e cadeia de Markov de tempo contínuo (CTMC). A disponibilidade de cada componente é calculada de maneira independente, utilizando seus valores de tempo médio para falhas (MTTF) e tempo médio para reparo (MTTR), a fim de se avaliar a disponibilidade do sistema, ou partes deles. Foram realizados experimentos a fim de se avaliar fatores relevantes para se obter uma alta disponibilidade nos sistemas de *mHealth*. Os resultados obtidos mostram que o protocolo adotado na intra-BAN, Zigbee ou *Bluetooth*, não apresentam diferenças significativas sobre a disponibilidade do sistema. Também se observou que para ambientes domésticos, é mais eficaz o uso de dois roteadores de pequeno porte na extra-BAN, que utilizar um roteador mais caro e de grande porte. Por fim, a disponibilidades de baterias reservas e *power banks*, contribuem positivamente para a obtenção de uma alta disponibilidade. Os modelos propostos podem

auxiliar desenvolvedores e mantenedores de sistemas de *mHealth* a dimensionarem o sistema dependendo do nível de serviço que se deseja prover.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Dispositivos móveis. Disponibilidade. Saúde móvel. Computação móvel em nuvem.

Abstract

The Internet of Things (IoT) is a reality that has been inserted in the daily lives of people promoting interaction between the physical and digital world. Parallel to this, the evolution of mobile devices combined with the scientific and technological development in health has brought advances to meet diverse needs of users. In this context, the term mobile health (mHealth) is used to refer to the use of these devices in order to provide better services in the health area, expanding medical care and reducing costs. The use of mobile cloud computing (MCC) allows you to overcome the limitations of mobile devices' capabilities such as processing, storage and power consumption. Remote monitoring of patients through wireless sensors implanted near their body constitutes a body area network (WBAN). These networks are used to record and make available data that can aid in the diagnosis and prevention of diseases. This integration of technologies creates new alternatives for treatment and follow-up of patients, either inside or outside the hospital environment. This work presents a study of the availability in IoT systems applied to mHealth. The architecture analyzed consists of patients monitored by wireless sensors, internal communication network (intra-BAN), mobile device with its battery and communication interfaces, external communication network (extra-BAN) with WiFi and 3G connection, and finally, the cloud environment in which the data is stored. From these components, hierarchical models were developed using reliability block diagrams (RBD) and continuous time Markov chain (CTMC). The availability of each component is independently calculated using its Mean Time to Fault (MTTF) and Mean Time to Repair (MTTR) values in order to evaluate the availability of the system, or parts of it. Several experiments were carried out to evaluate relevant factors for high availability in mHealth systems. The results show that the communication protocol adopted in intra-BAN, Zigbee or Bluetooth, do not present significant differences on the availability of the system. It was also noted that for domestic environments, it is more effective to use two small routers in the extra-BAN, than to use a more expensive and large router. Finally, the availability of reserve batteries and powerbanks, contribute positively to the achievement of high availability. The proposed models can help developers and maintainers of mHealth systems to scale the system depending on the level of service they want to provide.

Keywords: Internet of Things. Mobile devices. Availability. Mobile health. Mobile cloud computing

Lista de Figuras

Figura 1 – Redes sem fio de curto e longo alcance (LATRÉ et al., 2011).	28
Figura 2 – Alternância de períodos de funcionamento e reparo (WEBER, 2002). . .	35
Figura 3 – RBD com três componentes em série.	39
Figura 4 – RBD com três componentes em paralelo.	40
Figura 5 – Disponibilidade do sistema com componentes em série x componentes em paralelo.	40
Figura 6 – Disponibilidade do sistema x número de componentes em paralelo. . . .	41
Figura 7 – RBD com um processador, um disco e duas memórias.	42
Figura 8 – Exemplo de diagrama de transição para CTMC.	43
Figura 9 – Tela do Mercury com exemplo simples de RBD.	47
Figura 10 – Tela com opções para análise do RBD.	48
Figura 11 – Tela com resultados da análise do RBD.	48
Figura 12 – Tela do Mercury com informações relativas a importância da disponibilidade do RBD.	49
Figura 13 – Recuperando a função estrutural do RBD.	49
Figura 14 – Tela do Mercury com exemplos simples de CTMC.	49
Figura 15 – Tela com resultados da análise estacionária para a CTMC.	50
Figura 16 – Fórmula fechada e diagrama de estados fornecidos pelo Mathematica. .	51
Figura 17 – Cenário de referência.	53
Figura 18 – Metodologia de avaliação.	55
Figura 19 – Mapeamento da posição de cobertura de roteadores dentro de um complexo hospitalar.	59
Figura 20 – Componentes do sistema analisado (TESTA et al., 2015).	62
Figura 21 – Modelo hierárquico do cenário de referência.	62
Figura 22 – Modelo RBD para o conjunto de sensores.	63
Figura 23 – Modelo RBD para o dispositivo móvel.	64
Figura 24 – Modelo RBD para a Extra-BAN.	65
Figura 25 – Modelo RBD para a infraestrutura de nuvem.	65
Figura 26 – Modelo CTMC para a bateria do dispositivo móvel.	67
Figura 27 – Modelo de disponibilidade da bateria com 10 estados.	69

Figura 28 – Modelo de disponibilidade da bateria com 5 estados.	69
Figura 29 – Modelo de disponibilidade da bateria com 21 estados.	70
Figura 30 – Modelo RBD com uso de dois roteadores e conexão 3G.	72
Figura 31 – Disponibilidade da Extra-BAN.	73
Figura 32 – Modelo de disponibilidade de bateria proposto por Oliveira e Maciel (2014).	74
Figura 33 – Comparativo da disponibilidade da bateria em número de 9's.	76
Figura 34 – Paciente sendo monitorado em centro hospitalar	77
Figura 35 – Disponibilidade do sistema por probabilidade do carregamento e da bateria reserva.	81
Figura 36 – Paciente sendo monitorado em movimento	83
Figura 37 – Comportamento da disponibilidade do sistema em diferentes ambientes.	86

Lista de tabelas

Tabela 1 – Trabalhos relacionados.	23
Tabela 2 – Comparativo de padrões de comunicação de redes sem fio.	30
Tabela 3 – Disponibilidade em número de noves.	36
Tabela 4 – Tempo de descarga para 10% da bateria utilizando WiFi	58
Tabela 5 – Parâmetros de entrada para o modelo RBD Extra-BAN.	72
Tabela 6 – Valores de MTTF, MTTR e número de 9's para os três cenários avaliados.	73
Tabela 7 – Convenção de faixa de valores para probabilidades.	77
Tabela 8 – Parâmetros de entrada pra o componente Sensor.	78
Tabela 9 – Parâmetro de entrada para a extra-BAN.	79
Tabela 10 – Parâmetros de entrada para o dispositivo móvel.	80
Tabela 11 – Parâmetro de entrada para disponibilidade da bateria.	80
Tabela 12 – Parâmetros de entrada para a nuvem.	81
Tabela 13 – Métricas calculadas para os componentes do presente estudo de caso.	81
Tabela 14 – Métricas calculadas para os componentes do presente estudo de caso.	84
Tabela 15 – Parâmetros de entrada para disponibilidade da bateria.	85
Tabela 16 – Medida de importância para o sistema analisado.	86

Lista de Abreviaturas

AAL	<i>Ambient Assisted Living</i>
ADC	Conversor Analógico-digital
BAN	<i>Body Area Network</i>
CTMC	<i>Continuous Time Markov Chain</i>
ECG	Eletrocardiograma
EEG	Eletroencefalografia
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MCC	<i>Mobile Cloud Computing</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i>
MTTF	<i>Mean Time of Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistants</i>
RBD	<i>Reliability Block Diagram</i>
RF	Rádio Frequência
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
SPN	<i>Stochastic Petri Nets</i>
WBAN	<i>Wireless Body Area Network</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Motivação e Justificativa	18
1.2	Objetivos	19
1.3	Trabalhos Relacionados	20
1.4	Estrutura da Dissertação	23
2	Referencial Teórico	25
2.1	Internet das Coisas	25
2.1.1	Rede de Sensores sem Fio	27
2.1.2	Dispositivos Móveis e Computação Móvel	30
2.1.3	Mobile Health (mHealth)	31
2.2	Dependabilidade	33
2.3	Técnicas de Modelagem	37
2.3.1	Diagramas de Blocos de Confiabilidade	38
2.3.2	Cadeias de Markov de Tempo Contínuo	42
2.4	Análise de Sensibilidade	45
2.5	Ferramentas	47
2.5.1	Mercury	47
2.5.2	Wolfram Mathematica	50
2.6	Considerações Finais do Capítulo	51
3	Metodologia	52
3.1	Sistema Analisado	52
3.2	Metodologia de avaliação	54
3.3	Métricas	57
3.4	Medições no Dispositivo Móvel	58
3.5	Probabilidade de Eventos	59
3.6	Considerações Finais do Capítulo	60
4	Modelos	61
4.1	Modelo de Disponibilidade	61
4.1.1	Modelo de Disponibilidade da Bateria	65
4.2	Considerações Finais do Capítulo	70

5	Estudo de Caso	71
5.1	Estudo de Caso 1: Disponibilidade das Interfaces de Comunicação na extra-BAN	71
5.2	Estudo de Caso 2: Consumo Energético	74
5.3	Estudo de Caso 3: Ambiente Médico Hospitalar	76
5.4	Estudo de Caso 4: Ambiente Domiciliar ou ao Ar Livre	82
5.5	Considerações Finais do Capítulo	87
6	Considerações Finais e Trabalhos Futuros	88
6.1	Contribuições	89
6.2	Trabalhos Futuros	90
	Referências	91

1 Introdução

Dispositivos ubíquos tem facilitado o acesso à rede tornando a Internet uma plataforma global de comunicação. Aplicações e serviços estão sempre disponíveis abrindo o caminho para novas formas de interação incorporando novos hábitos ao comportamento humano (NETO et al., 2015). Paralelamente aos desenvolvimentos nas tecnologias da Internet, tecnologias em redes de sensores e identificação por rádio frequência (RFID) também evoluíram. A convergência dessas duas tecnologias está levando a novas possibilidades e visões. A possibilidade de uma estrutura que permitiria a comunicação direta de máquina a máquina pela Internet com os benefícios de trazer mais máquinas online e permitir que elas participem na web como uma vasta rede de dispositivos autônomos e organizados. Esta visão produziu um paradigma sendo referido como Internet das Coisas (IoT) (WHITMORE et al., 2015).

A IoT ganha espaço no cenário das modernas comunicações sem fio. A ideia básica deste conceito é a presença generalizada de uma variedade de coisas ou objetos - sensores, atuadores, telefones celulares, etc. - que, através de esquemas de endereçamento únicos, são capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para alcançar metas comuns (ATZORI et al., 2010).

A IoT possibilita que "coisas" sejam conectadas entre si ou com pessoas, independente da hora e lugar ocorrendo através de qualquer caminho, rede e serviço (PERERA et al., 2014). Ao permitir fácil acesso e interação com uma grande variedade de dispositivos, a IoT promoverá o desenvolvimento de uma série de aplicativos que fazem uso da quantidade potencialmente enorme e variedade de dados gerados por esses objetos para fornecer novos serviços aos cidadãos, empresas e administrações públicas (ZANELLA et al., 2014).

Cuidados médicos e cuidados de saúde representam uma das áreas de aplicação mais atraentes para a IoT, podendo dar origem a aplicações médicas para monitoramento remoto de saúde. Nesse cenário, vários dispositivos que atuam como sensores médicos podem ser vistos como dispositivos inteligentes que constituem uma parte central da IoT. Serviços de saúde baseados em IoT devem reduzir custos, aumentar a qualidade de vida e propor uma forma de tratamento mais agradável. Redes de saúde modernas atualizadas por tecnologias sem fio devem apoiar doenças crônicas, diagnóstico precoce, monitoramento

em tempo real e emergências médicas. Para isso, *gateways*, servidores médicos e bases de dados de saúde desempenham papéis vitais na criação de registros de saúde e na prestação de serviços de saúde sob demanda para partes interessadas autorizadas (ISLAM et al., 2015).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define o termo saúde móvel (*mHealth*) como a *prática médica e de saúde pública apoiada por dispositivos móveis, como telefones celulares, dispositivos de monitoramento de pacientes, assistentes digitais pessoais (PDAs) e outros dispositivos sem fio* (ARORA et al., 2014). A rápida proliferação de *smartphones* oferece oportunidades sem precedentes para que pacientes e profissionais de saúde troquem informações eletronicamente. Além disso, novas oportunidades surgem para fornecer informações sobre saúde a populações difíceis de alcançar ou desatendidas (SERRANO et al., 2016).

Em um cenário habitual, sensores sem fio podem monitorar pacientes, desde a sua movimentação até a administração de medicamentos. Usando uma rede de área corporal sem fio (WBAN), o paciente experimenta uma maior mobilidade física e já não é obrigado a permanecer no hospital (LATRÉ et al., 2011). Sensores podem monitorar os sinais vitais, tais como aferir os batimentos cardíacos, temperatura corporal ou gravar um eletrocardiograma. Os profissionais de saúde, em constante movimento dentro do complexos hospitalares, utilizam os dispositivos móveis para a efetiva execução de aplicações *mHealth*, recebendo os dados do paciente (SILVA, 2015). Todos os dados recebidos e enviados podem estar armazenados na infraestrutura de computação móvel em nuvem (MCC) da instituição médica, ou até mesmo fazer uso de uma nuvem pública ou híbrida, dado o grande volume de informações.

Um sistema *mHealth* envolve diferentes tipos de dispositivos, sensores, protocolos e equipamentos para prover a infraestrutura de comunicação. A falha de qualquer um desses componentes compromete o funcionamento do sistema, podendo interromper o fluxo normal de trabalho e por a vida de pacientes em risco. Desta forma, é importante avaliar a disponibilidade desses sistemas, identificar pontos críticos e medidas de redundância. Com a proposta de modelos hierárquicos utilizando diagramas de bloco de confiabilidade e cadeias de Markov, um estudo abordando a disponibilidade de sistemas baseado em Internet das Coisas aplicados a *mHealth* é apresentando nessa dissertação.

1.1 Motivação e Justificativa

Existe um crescimento exponencial do uso de telefones celulares como a tecnologia de comunicação mais utilizada no mundo. A expansão deste aliado tecnológico viabilizou oportunidades para o desenvolvimento e aplicação de sistemas *mHealth*, o que tem proporcionado um grande impacto na saúde pública. Isso ocasiona uma melhora no fluxo das informações facilitando a prestação de serviços e a coordenação dos sistemas em saúde, uma vez que, pode ser aplicada no âmbito de promoção, proteção, redução do risco de patologias e outros agravos e recuperação da saúde. Em razão dessa importância, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu em 2011 diretrizes para que o potencial *mHealth* seja melhor aproveitado. Tais indicações consistem em direcionamentos e informações necessárias para ajudar a alinhar a *mHealth* com prioridades de saúde nos países e integra-la em esforços globais no intuito de fortalecer os sistemas de saúde (KAY et al., 2011).

Além disso, existe a questão de custos envolvidos com saúde, onde governos se esforçam para encontrar soluções econômicas para a provisão de cuidados de saúde e sociais. Cortes no gastos do governo e envelhecimento da população são exemplos de fatores críticos que aumentam a urgência para a necessidade de encontrar novas soluções de saúde. Outrossim, sistemas de saúde nos países em desenvolvimento enfrentam sérias dificuldades em prestar assistência, principalmente devido à escassez de pessoas e recursos (BANOS et al., 2014).

O design e a elaboração de sistemas de monitoramento de saúde têm atraído o interesse de grandes comunidades, tanto da indústria como da academia, em particular devido ao aumento dos custos de saúde e ao envelhecimento da população mundial. O monitoramento dos sinais vitais do paciente é o alvo de um mercado comercial emergente que visa melhorar a qualidade da vida e reduzir os custos dos serviços nacionais de saúde (TESTA et al., 2015).

De acordo com o relatório Mobile Economy 2016 da GSMA, existem mais de 7,6 bilhões de conexões móveis em todo o mundo, representando 4,7 bilhões de assinantes exclusivos. Com o rápido crescimento do acesso à tecnologia móvel, muitos acreditam que a *mHealth* tem o potencial de transformar a prestação de serviços de saúde em todo o mundo, oferecendo novos meios de quando, onde, como e por quem os serviços de saúde

são fornecidos e acessados (HAAS, 2016). Estudo publicado pela empresa de tecnologia Cisco traz dados e projeções que corroboram com esse crescimento (CISCO, 2017):

- O tráfego de dados móveis cresceu 63% em 2016;
- Número de usuários de dispositivos móveis devem alcançar 5,4 bilhões em 2021, 70% da população estimada para esse ano;
- Até 2021, cerca de 74,7% de todos os dispositivos conectados à rede móvel serão dispositivos "inteligentes".

O Brasil também segue a tendência mundial de investimentos na área de IoT. Estudo realizado pela Frost & Sullivan (SULLIVAN, 2017) apresentou resultados do mercado industrial brasileiro de IoT e cenários para 2021. Os dados revelam que o Brasil movimentou em 2016 mais de US\$ 1,35 bilhão e projeta para os próximos cinco anos receitas de US\$ 3,29 bilhões, com uma taxa de crescimento anual composta de 19,6%. A pesquisa considera o potencial de crescimento de *hardware*, *software* e serviços diretamente ligados a soluções IoT, incluindo indústria, transporte, cidades inteligentes e saúde.

Estes relatórios mostram uma tendência de massivos investimentos em IoT, tanto no cenário nacional quanto internacional. O uso dessas novas tecnologia tem permitido aumentar a expectativa e qualidade de vida das pessoas, uma vez que, permite o rápido acesso à informação viabilizando reações imediatas. Sistemas IoT aplicados a saúde podem ser complexos e altamente integrados necessitando de avaliação para garantir os requisitos de dependabilidade (confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade, etc). Informações importantes trafegam nessa redes e falhas podem ocasionar prejuízos financeiros e principalmente danos a vida humana, tornando-se importante o estudo de fatores que possam interferir na disponibilidade desses sistemas.

1.2 Objetivos

O objetivo principal dessa dissertação é avaliar a disponibilidade de um sistema IoT aplicados a saúde envolvendo sensores sem fio e *smartphone*. Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Elaborar modelos utilizando diagramas de blocos de confiabilidade e cadeias de Markov que representem o comportamento de um sistema *mHealth*.
- Comparar modelos propostos com modelos existentes.

- Propor uma metodologia para obtenção de parâmetros para o modelo, como a probabilidade de cobertura em áreas de redes sem fio.
- Avaliar a disponibilidade em cenários com pacientes monitorados dentro e fora do ambiente médico hospitalar por meio de redes de área corporal sem fio.

1.3 Trabalhos Relacionados

Nesta seção abordamos trabalhos relacionados com o objetivo dessa pesquisa, destacando o que já foi realizado de importante e resultados obtidos. Ao final é apresentada uma tabela comparativa dos trabalhos citados com o conteúdo dessa dissertação. Basicamente, os trabalhos abordam *mHealth*, disponibilidade, dispositivos móveis, computação móvel em nuvem, sensores sem fio e consumo energético.

O trabalho de Testa et al. (2015) apresenta uma abordagem, apoiada em um formalismo baseado em eventos, para a avaliação de dependabilidade dos sistemas de monitoramento de *mHealth*. Um sistema de monitoramento de saúde é proposto composto de sensores sem fio monitorando paciente, dispositivo *gateway* e estação médica. O autor analisa os modos de falha e defeito, identificando eventos críticos que podem afetar a confiabilidade em uma rede de área corporal (BAN). O estudo de caso apresentado mostra que a falha de um único nó sensor pode ser responsável pela falha de um pedaço da rede, causando seu isolamento. A perda de pacotes nos canais de comunicação sem fio podem ocasionar erros na passagem de dados, induzindo leituras e interpretações equivocadas por profissionais de saúde.

Um estudo de disponibilidade e consumo de energia para um ambiente de nuvem móvel é apresentado no trabalho de Oliveira et al. (2013). Utilizando modelos de diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) e redes de Petri (SPN), o impacto da comunicação sem fio no consumo de energia é avaliado. Os resultados mostram que o protocolo 3G causa uma menor disponibilidade e tem responsabilidade maior na descarga da bateria. Entretanto, quando combinado com o protocolo WiFi, a redundância da comunicação ocasiona melhores resultados de disponibilidade. Em outro trabalho do mesmo autor é apresentada uma metodologia de avaliação de disponibilidade em arquiteturas de *Mobile Cloud Computing* (MCC) (OLIVEIRA; MACIEL, 2014). Primeiramente, uma arquitetura base é definida sem a presença de mecanismos de redundância e tolerância à falhas. Em

seguida, o RBD e as CTMCs são usadas para calcular sua disponibilidade, validando o modelo por meio de uma plataforma para testes de injeção de falhas e por simulação. O cenário inicial sofre três adaptações com objetivo de aumentar a disponibilidade estacionária. Por último, é realizada uma investigação dos efeitos do uso de interfaces *wireless* sobre o consumo energético e seu impacto na disponibilidade do dispositivo móvel. Os resultados encontrados mostram que aplicações móveis que se conectam à nuvem por meio de múltiplas interfaces de rede apresentam alta disponibilidade, principalmente quando o sinal WiFi é mais estável, o que implica em um maior tempo de autonomia da bateria.

Silva et al. (2014) investiga o impacto no consumo de energia produzido pelas tecnologias de envio do servidor em dispositivos móveis. Um gerador de carga de trabalho foi implementado para testar quatro protocolos de mensagens instantâneas mais comuns. A disponibilidade de cada cenário foi estimada usando modelos hierárquicos heterogêneos com uso de cadeia de Markov e RBD. A sobrecarga de consumo de energia foi avaliada sob conexões WiFi e móvel 3G. Por ser a bateria um componente crítico, o objetivo é avaliar o impacto das estratégias de troca de mensagem sobre o consumo de energia a fim de determinar o cenário que apresente a melhor autonomia de energia para o dispositivo móvel.

A capacidade de comunicação dos *smartphones* para curto e longo alcance é investigada em Bisio et al. (2015). O estudo descreve uma arquitetura para monitoramento em casa de pacientes centrada no uso do dispositivo móvel, não apenas como ponte de informações de saúde entre sensores e sistema médico em nuvem, mas também com dispositivos de detecção, processamento e transmissão. O foco é a capacidade de processamento de informações com particular ênfase no áudio, interfaces de comunicação (*Bluetooth*, WiFi, GPRS (*General Packet Radio Services*), 3G e 4G) e informações oriundas dos sensores do *smartphone* como o acelerômetro.

Um conjunto de soluções são apresentadas que permitem reconhecer a identidade de pessoas que estão acompanhando o paciente monitorado, identificar o local onde a informação requerida foi obtida com dados do WiFi e GPS, e por último, reconhecer a atividade física baseada em informações fornecidas pelo acelerômetro do dispositivo móvel. Para todos os casos é mostrado uma avaliação de desempenho baseada na porcentagem de acerto das informações requeridas. As soluções apresentadas focam na aplicação, não

dando atenção ao impacto que isso pode produzir no consumo de energia da bateria do *smartphone*.

O trabalho desenvolvido por Banos et al. (2014) contempla dispositivos de saúde portáteis e dispositivos móveis para fornecer monitoramento fisiológico contínuo e personalizado para o paciente. Um aplicativo Android coleta, compartilha e troca dados fisiológicos registrados através de um monitor de saúde sem fio onipresente. O sistema PhysioDroid fornece análises de sinais vitais como eletrocardiograma (ECG), frequência cardíaca, taxa de respiração, temperatura da pele e movimento do corpo, destinados a capacitar os pacientes e melhorar o entendimento clínico. Um único módulo eletrônico portátil é responsável pelo monitoramento. Um sistema de armazenamento remoto e persistente é concebido para guardar e a analisar esse conjunto de informações.

Araujo et al. (2017) propôs modelos analíticos para identificar o tempo médio de um ciclo de vida de bateria e, posteriormente, estimar o tempo médio de vida da bateria, considerando algumas características de utilização do dispositivo. O impacto da conectividade de rede foi avaliado (áreas locais e amplas) e protocolos de comunicação (Polling, Long polling, WebSockets e XMPP) na taxa de descarga e, posteriormente, na vida útil de baterias com diferentes capacidades de energia. A abordagem de modelagem proposta forneceu meios para analisar o impacto dessas variações na vida útil da bateria, ou seja, o tempo total de utilização de uma bateria até todos os ciclos de carga se esgotarem, exigindo sua substituição.

Na pesquisa de Doukas et al. (2010) foi desenvolvido um sistema generalizado de gerenciamento de informações de saúde para dispositivo móveis com e sem utilização de computação móvel em nuvem. A aplicação permite gerenciar registros dos pacientes e imagens médicas. O tempo gasto para comunicação entre o servidor e o dispositivo móvel foi a medida utilizada para aferir o desempenho. O estudo de Amendola Sara e Lodato (2014) destaca a perspectiva da IoT para os cuidados pessoais em saúde, abordando dispositivos capazes de fornecer serviços a intervalos de leituras suficientes para implementar uma rede de sensores para monitoramento utilizando tecnologia RFID (*Radio-Frequency IDentification*). A discussão envolve problemas físicos e processamento do sinal até o nível de aplicações para essa finalidade.

A Tabela 1 resume os pontos abordados em cada trabalho relacionado comparando características do que foi proposto em relação ao conteúdo desta dissertação.

Tabela 1 – Trabalhos relacionados.

	A	B	C	D	E	F
(TESTA et al., 2015)	✓	✓	-	✓	✓	-
(OLIVEIRA et al., 2013)	-	✓	SPN e RBD	✓	-	✓
(OLIVEIRA; MACIEL, 2014)	-	✓	RBD e CTMC	✓	-	✓
(SILVA et al., 2014)	-	✓	RBD, SPN e CTMC	✓	-	✓
(BISIO et al., 2015)	✓	-	-	✓	✓	-
(BANOS et al., 2014)	✓	-	-	✓	✓	-
(ARAUJO et al., 2017)	✓	✓	RBD e CTMC	✓	-	✓
(DOUKAS et al., 2010)	✓	-	-	✓	✓	-
(AMENDOLA SARA E LODATO, 2014)	✓	✓	-	✓	✓	-
Esta dissertação	✓	✓	RBD e CTMC	✓	✓	✓

A: mHealth; **B:** Disponibilidade; **C:** Modelagem; **D:** Dispositivo móveis;

E: Sensores sem fio; **F:** Avaliação energética.

Todos os trabalhos apresentados tem alguma relação com o objetivo desta pesquisa. A metodologia e especificações propostas no trabalho de Testa et al. (2015) são focadas no sensor. Estendemos o estudo avaliando dispositivos móveis e interfaces de comunicação que são citados e não avaliados pelo autor. O monitoramento de pacientes por meio de *smartphone* é retratado nos trabalhos de Bisio et al. (2015), Banos et al. (2014) e Doukas et al. (2010), abrindo caminho para uma análise de cenários *mHealth* mais abrangentes envolvendo WBAN, sensores, dispositivos móveis e nuvem computacional. O estudo de Oliveira e Maciel (2014) contribuiu com o modelo para descarga da bateria que foi estendido nesta pesquisa, juntamente com a colaboração dos trabalhos de Silva et al. (2014) e Araujo et al. (2017) explorando consumo de energia das baterias utilizando redes WiFi e 3G. Desse modo, esta pesquisa concentra esforços na avaliação de modelos de disponibilidade em cenários *mHealth* fundamentados em IoT contemplando sensores, dispositivos móveis e avaliação energética.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está organizado na seguinte ordem: o Capítulo 2 apresenta conceitos fundamentais para compreensão da pesquisa realizada. São abordados conceitos referentes a Internet das coisas, redes de sensores sem fio (WSN), dispositivos móveis, computação móvel, *mHealth* e disponibilidade. Por último, discutimos as técnicas de

modelagem aplicadas com uma breve descrição das ferramentas utilizadas. O Capítulo 3 aborda a metodologia aplicada para desenvolvimento desse trabalho baseada no modelo proposto por Obaidat e Boudriga (2010). No Capítulo 4, o cenário de referência é apresentado juntamente com as métricas para avaliação da disponibilidade. Em seguida, os modelos e suas fórmulas são detalhados. O Capítulo 5 apresenta quatro estudos de caso avaliando pontos específicos na proposta e variações na arquitetura base. Por último, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais, contribuições e trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

Este capítulo aborda fundamentos importantes para o entendimento desse trabalho de dissertação. Iniciamos com o conceito de Internet das Coisas (IoT), seu funcionamento e principais aplicações. Em seguida, são analisados os fundamentos de *mHealth* incluindo computação móvel em nuvem e a evolução dos dispositivos móveis. Logo após, definimos dependabilidade abordando as técnicas de modelagem utilizadas. Por último, são apresentadas ferramentas utilizadas para modelagem e análise dos modelos utilizados.

2.1 Internet das Coisas

Redes de sensores sem fio (WSN) abrangem muitas áreas da vida moderna oferecendo capacidade de medir, inferir e compreender indicadores ambientais, desde recursos naturais até ambientes urbanos. A proliferação destes dispositivos numa rede de atuação e comunicação cria a Internet das Coisas (IoT), onde sensores e atuadores se fundem perfeitamente com o ambiente que nos rodeia e a informação é compartilhada entre plataformas (GUBBI JAYAVARDHANA E BUYYA, 2013). Outra definição fornecida pelo Conselho Nacional de Inteligência dos Estados Unidos afirma que a IoT é a ideia geral de coisa, especialmente objetos cotidianos, que são legíveis, reconhecíveis, localizáveis, endereçáveis e controláveis através da Internet, seja por meio de identificação por radiofrequência (RFID), rede local sem fio, rede de longa distância e outros meios (SWAN, 2012).

As primeiras noções de IoT focavam em dispositivos de computação centrados no usuário, habilitados para Internet, como *smartphones*, *tablets* e *laptops*. No entanto, a IoT tem crescido para abraçar um rico ecossistema de dispositivos, incluindo sensores, roupas inteligentes, eletrônicos de consumo, carros, luzes de rua, sinais de publicidade, edifícios entre outros, todos conectados à Internet (MCGRATH; SCANAILL, 2013).

Devido ao avanço em comunicações sem fio ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento de redes de baixo custo e baixa potência, com sensores multifuncionais, tem recebido crescente atenção. Esses sensores são de tamanho reduzido e capazes de detectar, processar dados e se comunicar um com os outros, geralmente por meio de um canal de RF (rádio frequência) (MAHGOUB; ILYAS, 2016). Uma rede de sensores sem fio consiste em sensores autônomos distribuídos espacialmente para monitorar as condições físicas ou

ambientais, tais como temperatura, pressão, som, movimento ou poluentes, compartilhando seus dados através da rede para um local principal (ZHOU, 2012). Dispositivos podem conter vários sensores. Por exemplo, um dispositivo de monitoramento de atividade pessoal pode combinar um sensor para medir a aceleração (acelerômetro), um sensor para obter a temperatura ambiente e um GPS para encontrar a localização. Todos esses fluxos de dados podem ser conectados à Internet por meio de um *smartphone* (MCGRATH; SCANAILL, 2013). O desenvolvimento das redes sem fio contribui para a IoT aprimorar suas aplicações e surgimento de novas ideias.

Segundo (MIORANDI et al., 2012), a IoT baseia-se em três pilares, relacionados à capacidade de objetos inteligentes para: (i) ser inidentificável (qualquer coisa se identifica), (ii) comunicar (qualquer coisa se comunica) e (iii) interagir - quer entre si, construindo redes de objetos interligados, quer com utilizadores finais ou outras entidades da rede. O autor ainda define objetos inteligentes como entidades que:

- Possuem incorporação física e um conjunto de características físicas associadas (por exemplo: tamanho, forma, etc);
- Ter um conjunto mínimo de funcionalidades de comunicação, como a capacidade de ser descoberto, aceitar mensagens de entrada e respondê-la;
- Possuir um identificador exclusivo;
- Estar associados a pelo menos um nome e um endereço. O nome é uma descrição legível do objeto e pode ser usado para fins de raciocínio. O endereço é uma *string* legível por máquina que pode ser usada para se comunicar com o objeto.
- Possuir capacidades básicas de computação;
- Possuir meios de detectar fenômenos físicos (temperatura, luz, nível de radiação, etc) ou desencadear ações que tenham um efeito sobre a realidade física (atuadores).

Soluções IoT normalmente combinam objetos físicos com tecnologia da informação em forma de *hardware* e *software*. Como resultado, as funções físicas de determinado objeto podem ser aprimoradas com serviços digitais. Por exemplo, a função primária de uma lâmpada é fornecer luz para determinado espaço. No entanto, essa mesma lâmpada, atrelada a tecnologia IoT, também pode detectar presença humana e servir como sistema de segurança de baixo custo, que no caso de uma intrusão ativa um modo de luz piscando e envia um alerta para o *smartphone* do proprietário (WORTMANN et al., 2015). Os

campos de aplicação para as tecnologias IoT são numerosos e diversificados, entre as quais se destacam (UPADHYAY et al., 2016; ATZORI et al., 2010; SWAN, 2012):

- **Indústria inteligente:** sistemas de produção inteligentes que podem auxiliar a mensurar a produtividade de máquinas e indicar quais setores necessitam de mais equipamentos, uso de etiquetas RFID para monitorizar e gerir a circulação de produtos através de uma cadeia de abastecimento;
- **Casas e edifícios inteligentes:** soluções para diminuir o consumo de recursos associados a eletricidade e água, iluminação automática, segurança contra incêndios, controle de ambiente com comandos de voz, nível de lixo em lixeiras entre outros;
- **Transporte:** soluções para rastreio de frotas de veículos e a emissão de bilhetes móveis, sistemas de prevenção de colisões, sistemas de chamadas de emergência em caso de colisão, etc.
- **Cidades inteligentes:** soluções para o monitoramento em tempo real da disponibilidade de espaço e estacionamento, roteamento de tráfego para evitar congestionamentos de veículos, recuperar informações sobre o nível de poluição do ar e detectar violações e transmitindo dados relevantes para as agências de aplicação de leis;
- **Agropecuária:** identificação da melhor qualidade do solo, monitoramento de condições climáticas e galpões de gado que mantém o controle de animais e monitoram suas atividades, controle de água disponível em rio, mar e tanques;
- **Cuidados médicos:** pacientes sendo monitorados com sensores tanto no ambiente hospitalar como em casa. Dentro do hospital, leitos podem detectar a posição do paciente e notificar a equipe responsável se um paciente de alto risco sai da cama sem nenhum acompanhamento.

2.1.1 Rede de Sensores sem Fio

Quando um sensor faz parte de uma rede de sensores, é conhecido como um "nó" de sensor. Embora seja fácil implantar sensores únicos, garantir a conectividade entre vários nós é uma tarefa mais desafiadora. Os nós podem ser conectados uns aos outros de duas maneiras: fio e sem fio. No entanto, colocar cabos e realocá-los em uma data posterior pode ser oneroso. Levando esses fatores em consideração, juntamente com os avanços na

miniaturização e alternativas de baixo custo, as ligações sem fio estão sendo cada vez mais exploradas para o desenvolvimento de redes de sensores (STRATEGY; UNIT, 2005).

Redes sem fio podem ser classificadas de acordo com sua área de abrangência: rede de área corporal (WBAN), rede de área pessoal (WPAN), redes locais (WLAN), redes metropolitanas (WMAN) e redes geograficamente distribuídas ou de longa distância (WWAN) (LATRÉ et al., 2011). A Figura 1 ilustra essa organização.

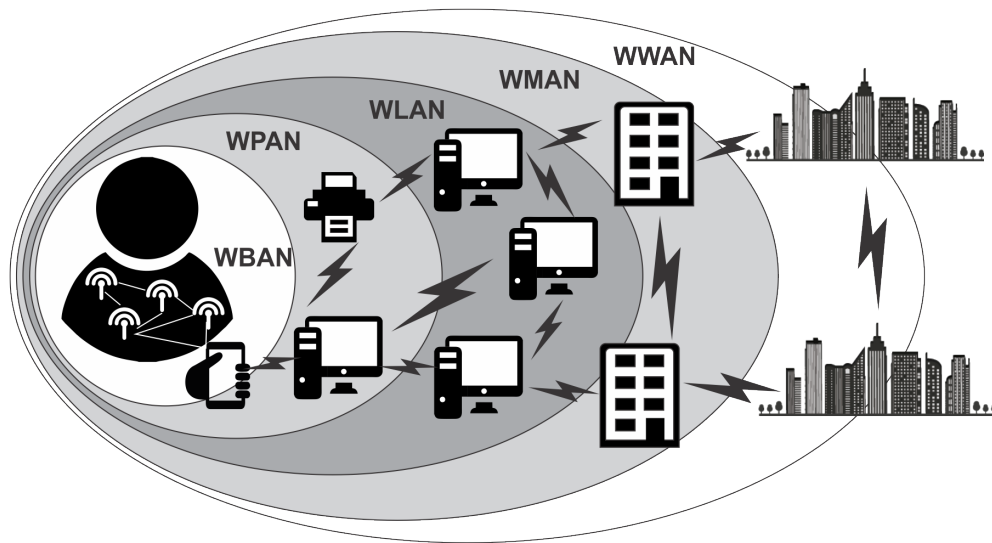


Figura 1 – Redes sem fio de curto e longo alcance (LATRÉ et al., 2011).

Uma WBAN compreende uma rede de área corporal que visa monitorar e controlar os sinais vitais do corpo humano. Sinais vitais avaliam funções básicas do ser humano e os mais típicos são: eletrocardiograma (ECG) que grava eletricamente o sinal do coração para detectar anomalias, eletroencefalografia (EEG) que grava a atividade elétrica do cérebro, medição da frequência cardíaca, taxa respiratória, pressão sanguínea, temperatura corporal e saturação de oxigênio no sangue (GONZALEZ et al., 2015). A WPAN é normalmente utilizada na conexão de dispositivos fisicamente próximos, seja dentro de um ambiente de trabalho, estudo ou dentro de uma residência. A WLAN é uma rede local que faz uso de ondas de rádio para transmissão de dados e conexão à Internet, onde a diminuição do custos de seus equipamentos vem contribuindo para seu crescimento. A WMAN corresponde a redes de uso corporativo que atravessam cidades e estados. Por último, a WWAN também conhecida como rede celular móvel, utilizada pelas operadoras de celular para criar sua rede de transmissão.

Uma rede de sensores sem fio (WSN) consiste em sensores autônomos distribuídos espacialmente para monitorar condições físicas ou ambientais, tais como temperatura, som, vibração, pressão, movimentos ou poluentes, e disponibilizar cooperativamente seus dados através da rede para um local principal. As redes mais modernas são bidirecionais, tornando-se redes de sensores e atuadores sem fio que permitem o controle de atividades de sensores (ZHOU, 2012).

Redes de sensores sem fio são geralmente menos onerosas, menos visíveis e mais flexíveis. Um nó de sensor em uma rede de sensores sem fio é um pequeno dispositivo de baixa potência, que normalmente inclui o próprio sensor, juntamente com fonte de alimentação, armazenamento de dados, microprocessadores, rádio de baixa potência, conversores analógico-digitais (ADCs), transceptores de dados e controladores que unem todos os componentes (STRATEGY; UNIT, 2005).

Padrões de comunicação sem fio de curto alcance e de baixa potência predominam no domínio de aplicações de sensores. Entre as mais utilizadas estão WiFi (IEEE 802.11), *Bluetooth* (IEEE 802.15.1) e ZigBee (IEEE 802.15.4). A seguir detalhamos cada uma delas. A Tabela 2 reúne um resumo comparativo desses padrões.

- **WiFi:** inclui os padrões IEEE 802.11a/b/g/n para redes locais sem fio (WLAN). Permite aos usuários navegar na Internet em velocidades de banda larga quando conectado a um ponto de acesso (AP) ou em modo *ad hoc*. A arquitetura IEEE 802.11 consiste em vários componentes que interagem para fornecer uma LAN (*Local area network*) sem fio que suporte a mobilidade da estação de forma transparente para as camadas superiores (LEE et al., 2007). Apresenta como principais vantagens a boa cobertura em ambientes de alto bloqueio, taxas de transferências elevadas, compatibilidade com *smartphones* e *tablets*, ser escalável e adaptável (MCGRATH; SCANAILL, 2013).
- **Bluetooth:** baseado em sistema de radio sem fio projetado para dispositivos de curto alcance, baixo custo e baixo consumo de energia. Dispositivos com tecnologias *Bluetooth* podem se comunicar, ainda que não estejam no mesmo ambiente, desde que seja respeitada a distância máxima de até 100 metros. Os dispositivos que usam essa tecnologia são classificados em três classes: classe 1 com alcance de no máximo 100 metros, classe 2 com alcance de no máximo 10 metros e classe 3 com alcance de no máximo 1 metro. A taxa de transmissão pode alcançar 1Mbps.

Seu grande uso é justificado por: (i) por ser uma especificação aberta que está disponível ao público e livre de *royalties*; (ii) sua capacidade sem fio de curto alcance permite que os dispositivos periféricos se comuniquem através de uma única interface substituindo os cabos que usam conectores com uma infinidade de formas, tamanhos e números de pinos; (iii) *Bluetooth* suporta voz e dados, tornando-se uma tecnologia ideal para permitir que diferentes tipos de dispositivos possam se comunicar utilizando banda de frequência não regulada disponível em qualquer lugar do mundo (MCDERMOTT-WELLS, 2004; KURAWAR et al., 2014).

- **Zigbee**: tecnologia mais simples que o *Bluetooth* apresentando como pontos fortes a facilidade de instalação, transferência de dados confiável, operação de curto alcance, custo baixo e duração razoável de bateria. A taxa de transmissão é de 250Kbps cobrindo um raio de até 20 metros (SHARMA; DHIR, 2014). Seu uso é indicado para aplicações embarcadas que exigem baixas taxas de dados e baixo consumo de energia.

Tabela 2 – Comparativo de padrões de comunicação de redes sem fio.

	WiFi	Bluetooth	Zigbee
Padrão	IEEE 802.11(a/b/g/n)	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Frequência	2,4-5,0 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz
Alcance	100 metros	1-100 metros	10-20 metros
Taxa de transmissão	1-54 Mbps	1 Mbps	250 Kbps

2.1.2 Dispositivos Móveis e Computação Móvel

Ao longo das últimas décadas, as tecnologias de computação e comunicação mudaram significativamente, computadores lentos e fisicamente grandes foram substituídos por dispositivos portáteis que podem completar tarefas cada vez mais complexas em curto espaço de tempo. Da mesma forma, telefones fixos foram substituídos por aparelhos celulares e outras tecnologias de comunicações móveis que podem conectar pessoas a qualquer hora e em qualquer lugar, podendo transmitir mensagens, imagens e dados (FREE et al., 2013).

Embora os telefones móveis terem sido utilizados por várias décadas, os *smartphones* são um avanço mais recente. São aparelhos que oferecem não apenas as facilidades padrão, como comunicação por voz e texto, mas também avançadas capacidade de computação e comunicação. Em comparação com telefones celulares anteriores, *smartphones* geralmente possuem telas de maior tamanho e resolução. A maior parte da nova geração desses aparelhos também incorpora câmeras de alta qualidade, dispositivos de gravação, acesso a redes sem fio 2G/3G/4G, *Bluetooth*, NFC (*Near Field Communication*), WiFi e infravermelho (BOULOS et al., 2011).

Mobile Cloud Computing (MCC) pode ser definido como a combinação da computação em nuvem, computação móvel e redes sem fio para trazer recursos computacionais para usuários móveis, operadores de rede, assim como provedores de computação em nuvem (ABOLFAZLI et al., 2014). Aepona (2010) descreve o MCC como um novo paradigma para aplicações móveis em que o processamento e armazenamento de dados são movidos do dispositivo móvel para poderosas plataformas de computação localizada em nuvens. Estas aplicações centralizadas são então acessadas por meio de conexão sem fio com base em um navegador web ou cliente específico para dispositivos móveis.

A duração da bateria é uma das principais preocupações para dispositivos móveis. Algumas soluções tem sido propostas para melhorar o desempenho (KAKEROW, 2002; PAULSON, 2003), mas exigem mudanças na estrutura dos dispositivos o que pode resultar num custo elevado não sendo viável para todos os dispositivos móveis. Ao utilizar o MCC, o gasto computacional com grandes cálculos e processamentos complexos são transferidos para servidores em nuvens, resultando em economia na quantidade de energia consumida. Além disso, questões como limite de espaço no dispositivo móvel para armazenamento de informações e a segurança desses dados são suprimidos (DINH et al., 2013).

2.1.3 Mobile Health (mHealth)

O uso de tecnologias da informação no cuidado com a saúde dos indivíduos e da população é denominada *eHealth* (*eletronic health*), ou e-saúde, ou ainda, Telemedicina. O uso desses recursos não só ampliam a assistência facilitando o acesso dos pacientes aos médicos e provedores de saúde, como diminuem os custos operacionais e evitam desperdício

de recursos (SALVI, 2015). Dentro do conceito da Telemedicina, o termo *mHealth* (saúde móvel), representa o uso de aparelhos móveis (*smartphones, tablets*, dispositivos com sensores e seus sistemas) em prol da saúde. Utilizando o conceito de IoT, aplicativos móveis podem se conectar a dispositivos diversos captando dados sobre o corpo de um paciente em busca de informações médicas. Levando em conta recursos de tempo limitados, a colaboração entre pacientes e médicos por meio de um serviço de monitoramento de saúde remoto e a distância pode proporcionar uma solução de ponta a ponta (BECKER et al., 2014), promovendo novas formas de interação.

A Telemedicina pode transformar a prestação de cuidados com a saúde em várias disciplinas médicas, desde cardiologia e cirurgia até oftalmologia e psiquiatria. Os cenários potenciais de aplicação de *mHealth* são numerosos, incluindo o gerenciamento ativo de doenças como diabetes (medindo o nível de açúcar no sangue e controlando a dosagem de insulina), apoio para o envelhecimento (rastreamento a ingestão da medicação e seu nível de atividade) e o monitoramento de atividades físicas para melhorar saúde e bem-estar (KARTSAKLI et al., 2014).

De acordo com Steinhubl et al. (2013), o desenvolvimento de *mHealth* é impulsionado pela convergência de três poderosas forças. A primeira é a insustentabilidade dos gastos com cuidados de saúde correntes e o reconhecimento da necessidade de soluções imediatas. O segundo é o crescimento rápido e contínuo da conectividade sem fio e a notável capacidade que isso traz para a transferência instantânea bidirecional de informações. Terceiro é a necessidade de uma medicina mais precisa e individualizada.

Entretanto, existem obstáculos a serem superados. Os principais dizem respeito à complexidade do sistema de saúde e à preocupação dos profissionais médicos com o possível enfraquecimento da relação paciente-médico e o possível aumento na carga de trabalho (STEINHUBL et al., 2013). Em Dinh et al. (2013), os autores alertam para a sensibilidade das informações referente a saúde das pessoas, exigindo atenção especial para a segurança desses dados.

Essa realidade tecnológica também tem se manifestado nos cursos de medicina. A nova geração de estudantes já está muito mais habituada ao convívio com os dispositivos móveis, o que faz com que a sua adaptação a eles seja um processo praticamente natural (MARQUES, 2016). Segundo Ventola (2014), uma das principais motivações para a adoção generalizada de dispositivos móveis pelos profissionais de saúde foi a necessidade de

melhores recursos de comunicação e informação nos postos de atendimento, necessitando recursos em um ambiente clínico, incluindo:

- Capacidade de comunicação com chamadas de voz, video-conferência, texto e email;
- Sistema de informação hospitalar com registros eletrônicos de saúde, registros médicos eletrônicos, sistemas de apoio a decisão clínica, sistemas de arquivo e comunicação de imagens e e sistema de informações laboratoriais;
- Aplicações de *software* clínico com auxílio ao diagnóstico de doenças e calculadoras médicas.

Ainda de acordo com Marques (2016), o desafio maior da *mHealth* é aliar o lado humanístico com o uso dessas plataformas pra tratar cada paciente, respeitando sua individualidade. De acordo com Rehalia e Prasad (2016), no futuro os benefícios da medicina moderna podem estar disponíveis para toda a sociedade, independente de classe social e localização geográfica, ajudando no tratamento de doenças em áreas remotas, montanhosas, rurais em todo o mundo.

2.2 Dependabilidade

O conceito de dependabilidade em sistemas computacionais é definido em (AVIŽIENIS et al., 2004) como a propriedade do sistema que integra atributos como confiabilidade, disponibilidade, segurança, confidencialidade, integridade e manutenibilidade. Em outras palavras, a dependabilidade diz respeito a capacidade de entregar um serviço confiável, evitando defeitos inaceitáveis para os seus usuários. Esses atributos representam o nível de confiança atribuído a determinado sistema em relação a seu correto funcionamento.

- **Confiabilidade:** atender a especificação dentro das condições definidas e continuidade do serviço correto;
- **Disponibilidade:** prontidão para o serviço correto;
- **Segurança:** ausência de consequências catastróficas para o(s) utilizador(es) e para o ambiente;
- **Confidencialidade:** ausência de divulgação não autorizada de informações;
- **Integridade:** ausência de alterações impróprias no estado do sistema;
- **Manutenibilidade:** capacidade de submeter-se a reparações e modificações.

Estamos interessados no sucesso de determinado sistema de computação no atendimento da sua especificação. Um defeito é definido como um desvio da especificação. Defeitos podem ser tolerados, mas deve ser evitado que o sistema apresente defeito. Define-se que um sistema está em estado errôneo, ou em erro, se o processamento posterior a partir desse estado pode levar a um defeito. Finalmente, define-se falha como a causa física ou algorítmica do erro. Falhas são inevitáveis, tendo em vista que componentes físicos envelhecem e sofrem com interferências externas. Defeitos são evitáveis usando técnicas de tolerância a falhas (WEBER, 2002).

A confiabilidade no tempo t é definida como a probabilidade de que um sistema desempenhará satisfatoriamente seu propósito específico por um dado período até a ocorrência da primeira falha (MACIEL et al., 2011). É expressa pela Equação 2.1, onde a confiabilidade $R(t)$ é igual a probabilidade que ocorram defeitos até um instante t e T uma variável aleatória representando o tempo para ocorrência de defeitos no sistema e $F_T(t)$ a função distribuição acumulada do tempo de ocorrência de falhas (KUO; ZUO, 2003).

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F_T(t) \quad (2.1)$$

Os meios de confiabilidade são os métodos e técnicas que permitem o desenvolvimento de um sistema confiável. A tolerância a falhas é um desses métodos, onde normalmente é usado em uma combinação com outros métodos para obter confiabilidade, como prevenção de falhas, remoção de falhas e previsão de falhas (DUBROVA, 2009; LAPRIE, 1992).

- **Prevenção de falhas:** como evitar a ocorrência ou introdução de falhas. Envolve a seleção de metodologias de projeto e tecnologias adequadas para os seus componentes (WEBER, 2002);
- **Tolerância a falhas:** como prestar um serviço que cumpra a especificação na presença de falhas;
- **Remoção de falhas:** como reduzir o número ou gravidade de falhas;
- **Previsão de falhas:** como estimar o número atual, a incidência futura e as prováveis consequências de falhas.

A disponibilidade é a probabilidade de um sistema ou equipamento estar operacional e acessível quando solicitado (AVIŽIENIS et al., 2004). Um sistema pode ter alta disponibilidade mesmo apresentando períodos de inoperabilidade, quando está sendo reparado, desde que esses períodos de tempo não comprometam a qualidade do serviço (WEBER, 2002). A Figura 2 ilustra a alternância de período de funcionamento e reparo do sistema. A disponibilidade e indisponibilidade podem ser definidas por meio das Equações 2.2 e 2.3, onde *Uptime* e *Downtime* representam, respectivamente, período operacional e não operacional do sistema (KUU; ZUU, 2003).

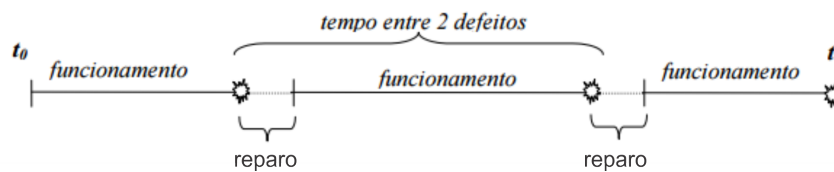


Figura 2 – Alternância de períodos de funcionamento e reparo (WEBER, 2002).

$$Disponibilidade = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime} \quad (2.2)$$

$$Indisponibilidade = 1 - Disponibilidade \quad (2.3)$$

Alguns dispositivos podem passar por várias falhas antes de serem descartados. Estes dispositivos são ditos reparáveis e o MTTF (*mean time to failure*) representa o tempo médio até a primeira falha (TORELL; AVELAR, 2004). Depois de reparado e colocado novamente em operação, o tempo médio até a próxima falha é indicado pelo tempo médio entre falhas, MTBF (*mean time between failure*). O MTBF representa o tempo de operação médio a partir do ponto em que um dispositivo com falha é restaurado para operação até o ponto em que ele se torna falho novamente. Ele não inclui o tempo necessário para reparar o dispositivo com falha. Se cada reparo restaura o dispositivo para a condição "como novo", nós dizemos que o reparo é perfeito. Sob reparos perfeitos, MTBF é igual a MTTF (TORELL; AVELAR, 2004). O tempo médio necessário para reparar um dispositivo com falha é chamado de tempo médio de reparo - MTTR (*mean*

time to repair). Dessa forma, a disponibilidade pode ser representada tanto pela Equação 2.2 bem como pela Equação 2.4.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.4)$$

Os fabricantes de equipamentos são responsáveis pelo fornecimento dos valores de MTTF e MTTR, desde sistemas de computação complexos até componentes eletrônicos individuais. Todas as medidas são determinadas estatisticamente (WEBER, 2002), sendo dois importantes indicadores de performance que devem ser utilizados para ampliar o conhecimento sobre processos e reduzir perdas de produtividade ou qualidade nos produtos oferecidos (OPSERVICES, 2017).

A disponibilidade pode também ser referida pelo número de noves do sistema ou aplicação. Por exemplo, "3 noves" equivalem a 99,9% de disponibilidade ou 8,76 horas de inatividade por ano, ou ainda, 1,44 minutos de inatividade por dia. Aumentar o número de noves implica uma maior disponibilidade dos serviços, conforme Tabela 3. A Equação 2.5 calcula a disponibilidade em número de noves (9's) (MARWAH et al., 2010).

$$9's = -\log(1 - A) \quad (2.5)$$

Tabela 3 – Disponibilidade em número de noves.

Nível de Disponibilidade	Uptime %	Downtime/ano	Downtime/dia
1 nove	90%	36,5 dias	2,4 horas
2 noves	99%	3,65 dias	14,4 minutos
3 noves	99,9%	8,76 horas	1,44 minutos
4 noves	99,99%	52,6 minutos	8,66 segundos
5 noves	99,999%	5,25 minutos	864,3 milissegundos
6 noves	99,9999%	31,5 segundos	86,4 milissegundos
7 noves	99,99999%	3,15 segundos	8,64 milissegundos

De acordo com Kusnetzky (2015), empresas fornecedoras de sistemas de processamento contínuo ou *mainframes* indicam que 99,99% de atividade não chega a ser bom o suficiente para aplicações consideradas críticas. Empresas como IBM indicam 6 noves de tempo e atividade em sistemas baseados em *hardware* e 5 noves para soluções

baseadas em *software*. A estratégia mais utilizada para aumentar a disponibilidade é a redundância, ou seja, dispor de recursos duplicados que entram em funcionamento imediatamente após a falha de um dos componentes. Sistemas de saúde são considerados críticos, e portanto, necessitam de elevado número de 9's.

2.3 Técnicas de Modelagem

Um conjunto de técnicas pode ser empregado para avaliação analítica da confiabilidade de um sistema. Um modelo é uma descrição esquemática de um sistema, teoria ou fenômeno que explica suas propriedades conhecidas, inferidas e que pode ser utilizada para um estudo mais aprofundado das suas características (MODEL, 2017). A modelagem é a representação simplificada de um sistema complexo com o objetivo de aferir métricas de desempenho desejadas (ALTIOK; MELAMED, 2010).

De acordo com (HERZOG, 2001), os modelos desenvolvidos devem representar de forma fiel o comportamento do sistema avaliado e devem ser matematicamente tratáveis. Além disso, os procedimentos de avaliação devem permitir o processamento do modelo, que podem ainda ser combinados para avaliar a confiabilidade de sistemas complexos (SAHNER; TRIVEDI, 1987) sendo dispostos de forma hierárquica. Nesse caso, os resultados dos submodelos são parâmetro de entrada para os modelos de nível hierárquico superior.

Segundo (MACIEL et al., 2010), modelos podem ser classificados em combinatórios ou modelos de espaço de estados. Modelos combinatórios capturam as condições que causam a falha do sistema em termos de relações estruturais de componentes do sistema. Esses relacionamentos observam o conjunto de componentes e submodelos do sistema que devem funcionar corretamente para que o sistema como um todo funcione, ou inversamente, verificando que componentes falhos podem ocasionar a falha total do sistema (DANTAS et al., 2012). Modelos combinatórios são de simples elaboração e permitem uma representação mais concisa do sistema em relação à modelos não-combinatórios. Diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) e árvore de falhas são exemplos de modelos combinatórios (MACIEL et al., 2012). Modelos de espaço de estados representam o comportamento do sistema por meio de um conjunto de estados e eventos que produzem transições entre esses estados. A essas transições estão associados valores representando probabilidades, taxas ou funções de distribuição (DANTAS et al., 2012). Esses modelos são utilizados para representar relações

mais complexas, como dependências envolvendo sub-sistemas e restrições de recursos (MACIEL et al., 2011). Cadeias de Markov e redes de Petri estocásticas são dois exemplos de modelos baseados em estados (MACIEL et al., 2012).

Nas Seções 2.3.1 e 2.3.2 serão apresentados conceitos básicos sobre os dois modelos utilizados nesse trabalho de dissertação: diagrama de blocos de confiabilidade e cadeia de Markov.

2.3.1 Diagramas de Blocos de Confiabilidade

O RBD (*Reliability Block Diagram*) é uma representação da estrutura lógica de um sistema por meio de blocos ligados de acordo com suas funções ou uma relação de confiabilidade. Este é considerado um modelo do tipo combinatorial não baseado em estados. A confiabilidade de um sistema depende dos desempenhos de seus componentes, e a importância dos componentes pode diferir. Na análise de confiabilidade do sistema, estamos interessados em encontrar a relação entre confiabilidade de componentes e confiabilidade do sistema (KUROKI; ZUO, 2003). Essa configuração pode ser simples como unidades dispostas em uma série pura ou configuração paralela. Podem também existir sistemas de configurações combinadas série/paralelo ou sistemas complexos que não podem ser decompostos em grupos de configurações em série e em paralelo (RELIABILITY, 2017). Um sistema com n componentes que está disponível se, e somente se, pelo menos k dos n componentes estiverem funcionando corretamente é chamado de sistema k -out-of- n . Em outras palavras, um sistema com n componentes só falha se pelo menos k dos n componentes falharem (KUROKI; ZUO, 2003).

Os seguintes componentes formam um RBD: vértice de origem, vértice de destino, componentes do sistema (blocos) e arcos conectando os blocos aos vértices. Um sistema modelado em RBD está disponível caso exista algum caminho do vértice de origem até o vértice de destino, no qual componentes indisponíveis representam uma interrupção em um segmento do caminho (OLIVEIRA; MACIEL, 2014). Um RBD não representa necessariamente como os componentes estão fisicamente conectados no sistema. Indica apenas como o funcionamento dos componentes irá assegurar o funcionamento do sistema. É por isso que um diagrama de blocos de confiabilidade representa a relação lógica entre o funcionamento do sistema e o funcionamento de seus componentes (KUROKI; ZUO, 2003).

Um diagrama que possui componentes conectados com uma estrutura em série requer que cada componente esteja funcionando para que o sistema torne-se operacional, ou seja, a falha de qualquer componente faz com o que o sistema falhe. Quando o diagrama possui componentes ligados em paralelo, é necessário que ao menos um dos componentes funcione, portanto, somente a falha de todos os componentes faz com que o sistema falhe.

Uma forma de calcular a disponibilidade do sistema é subdividi-lo em subsistemas e calcular a disponibilidade individualmente. A disponibilidade A_s de um sistema com n blocos em série é representado pela Fórmula 2.6, onde A_i é a disponibilidade de um componente i . Em um sistema com blocos paralelos simples, pelo menos uma unidade deve ter sucesso para que o sistema tenha êxito (RELIAWIKI, 2017) e sua disponibilidade A_p é dada pela Equação 2.7,

$$A_s = \prod_{i=1}^n A_i \quad (2.6)$$

$$A_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i) \quad (2.7)$$

A Figura 3 ilustra um RBD com três componentes conectados em série e a Equação 2.8 calcula sua disponibilidade. A Figura 4 mostra um RBD com três componentes em paralelo e sua disponibilidade A_p é obtida por meio da Equação 2.9.

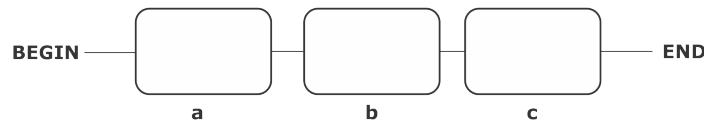


Figura 3 – RBD com três componentes em série.

$$A_s = A_a \times A_b \times A_c \quad (2.8)$$

$$A_p = 1 - (1 - A_a) \times (1 - A_b) \times (1 - A_c) \quad (2.9)$$

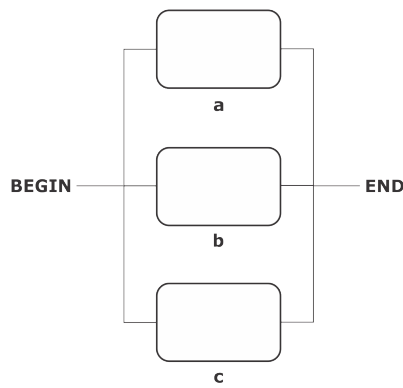


Figura 4 – RBD com três componentes em paralelo.

Supondo que os componentes a , b e c das Figuras 3 e 4 possuem a mesma disponibilidade individual no valor de 80%, as disponibilidades para os sistemas em série A_s e paralelo A_p calculadas a partir das Equações 2.8 e 2.9 serão, respectivamente, 51,2% e 99,2%. A Figura 5 representa graficamente o comportamento da disponibilidade diante do aumento do número de componentes de um sistema RBD em série e paralelo. Nota-se que o aumento do número de componentes em série diminui a disponibilidade do sistema, entretanto, o aumento do número de componentes em paralelo eleva a disponibilidade total.

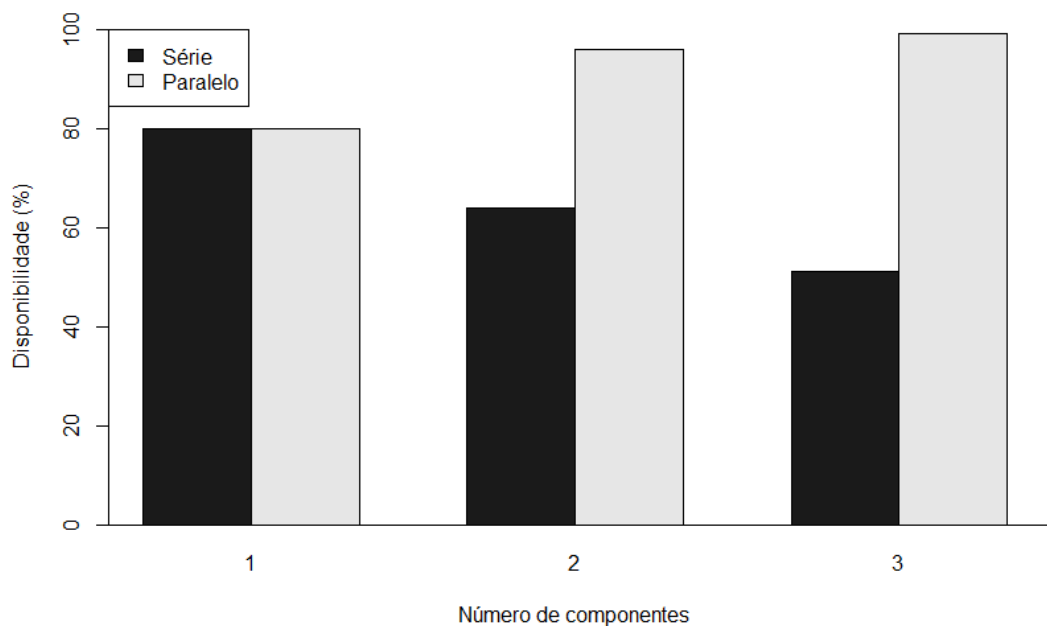


Figura 5 – Disponibilidade do sistema com componentes em série x componentes em paralelo.

A disponibilidade de um sistema aumenta com o aumento do número de componentes em paralelo. Os componentes redundantes aumentam a disponibilidade do sistema. Da mesma forma, o aumento da confiabilidade de cada componente do sistema também implica no aumento da confiabilidade do geral do sistema (ČEPIN, 2011). O gráfico da Figura 6 mostra o comportamento do aumento da disponibilidade com o aumento da disponibilidade de cada componente do sistema e com a inclusão de redundâncias.

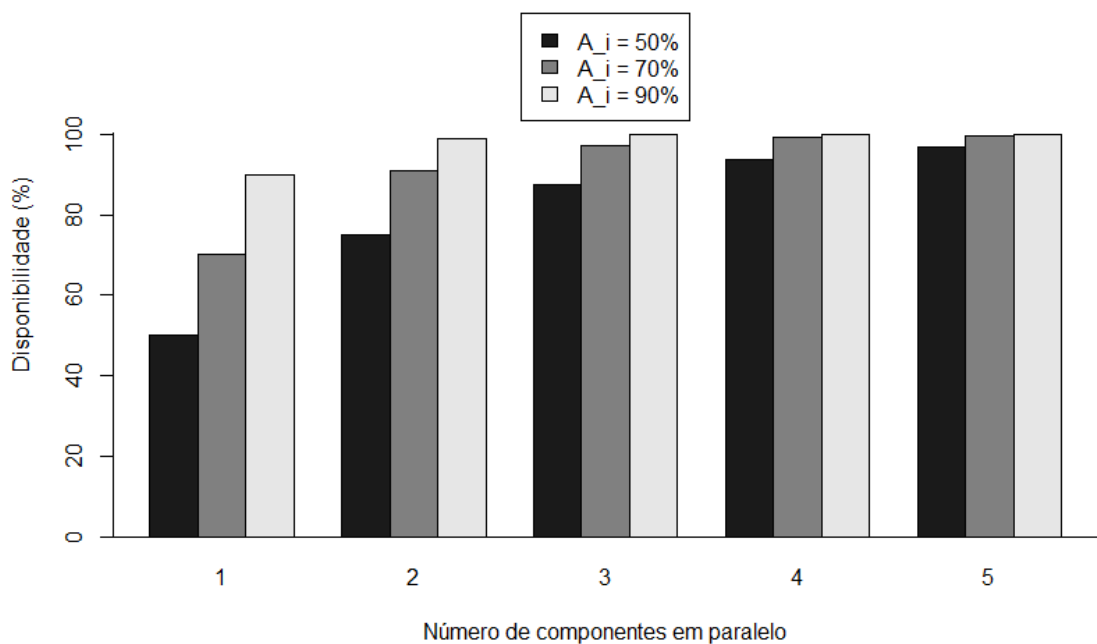


Figura 6 – Disponibilidade do sistema x número de componentes em paralelo.

Um modelo simples de RBD é ilustrado na Figura 7 trazendo componentes em série e paralelo. O sistema em questão funciona com quatro componentes: um processador (p), um disco (d) e dois pentes de memória (m1 e m2). O valor da disponibilidade é calculado a partir da Equação 2.10. Nessa expressão, A representa a disponibilidade total do sistema, A_p representa a disponibilidade do processador, A_d a disponibilidade do disco e A_{m1} e A_{m2} correspondem às disponibilidades das memórias 1 e 2, respectivamente.

$$A = A_p \times A_d \times (1 - (1 - A_{m1}) \times (1 - A_{m2})) \quad (2.10)$$

Nesse exemplo, mesmo que uma das memórias falhe, o sistema não deixa de operar por existir uma segunda memória trabalhando em paralelo. No entanto, em caso de falha

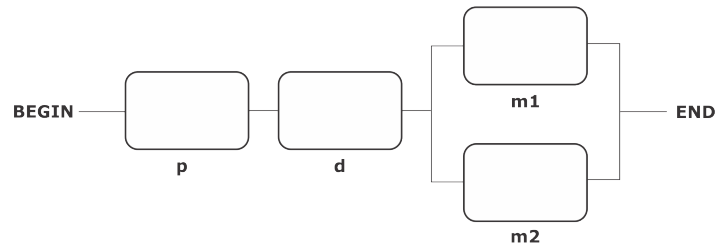


Figura 7 – RBD com um processador, um disco e duas memórias.

do processador ou disco, todo o sistema é comprometido. Considerando a disponibilidade do processador igual a 99%, disponibilidade do disco igual a 95% e a disponibilidade de cada memória 95%, a disponibilidade total do sistema A calculada a partir da Fórmula 2.10 será 93,81%.

2.3.2 Cadeias de Markov de Tempo Contínuo

Uma cadeia de Markov, nomeada por Andrey Markov em 1906, é um modelo matemático que sofre transições de um estado para outro, entre um número finito ou contável de estados possíveis (BOLCH et al., 2006). As mudanças de estado do sistema são chamadas transições, e as probabilidades associadas a várias mudanças de estado são chamadas de probabilidades de transição. As transições entre estados são modeladas por um processo estocástico de tempo discreto ou de tempo contínuo, definido por uma distribuição geométrica ou exponencial, respectivamente (BRAGHETTO, 2011). O conjunto de todos os estados e probabilidades de transição caracteriza completamente uma cadeia de Markov (CHING, 2013).

Segundo (ČEPIN, 2011), os processos de Markov podem ser usados para analisar a disponibilidade, confiabilidade e manutenção dos sistemas. Um sistema é constituído por um número de componentes n , cada um dos quais em qualquer momento pode estar a funcionar com êxito ou não. A operação bem-sucedida de todo o sistema depende da operação ou falha de seus componentes. Portanto, o sistema pode existir em um de dois estados:

- Um estado operacional, onde o sistema está operacional, mesmo que alguns de seus componentes tenham falhado. Um sistema totalmente operacional é aquele em que nenhum componente falhou;

- Um estado falho, onde o sistema não está operacional devido à falha de um ou mais de seus componentes.

Um conjunto de variáveis aleatórias indexadas por um parâmetro t relacionado ao tempo é um processo estocástico. A cadeia de Markov é um processo estocástico caracterizado por seu estado futuro depender apenas do seu estado atual, sendo irrelevante estados visitados em qualquer momento no passado. Em outras palavras, a chance de se estar no instante $n + 1$ no estado X_j depende somente do estado no instante n , não importando os estados anteriores X_1, X_2, \dots, X_{n-1} . Esta é chamada a propriedade Markoviana, expressada pela Equação 2.11. Para $n = 1, 2, \dots$ e qualquer sequência de estados possíveis s_1, s_2, \dots, s_n , com X_n, X_{n-1}, \dots, X_1 conhecidos temos:

$$P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_1 = s_1, X_2 = s_2, \dots, X_n = s_n) = P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_n = s_n) \quad (2.11)$$

Em cadeias de Markov em tempo contínuo (CMTCs), os tempos entre sucessivas transições de estados são exponencialmente distribuídos. As CTMCs são uma importante classe de processos estocásticos que tem sido amplamente utilizadas para determinar desempenho de sistemas e características da sua confiabilidade (BAIER et al., 2003). Segundo Durrett (DURRETT, 2012), a importância das cadeias de Markov vem de dois fatos: (i) há um grande número de fenômenos físicos, biológicos, econômicos e sociais que podem ser modelados usando tal formalismo, e (ii) existe uma teoria bem desenvolvida que permite fazer cálculos.

O diagrama de transição é uma representação gráfica de cadeia de Markov. Os estados são representados por círculos e as transições representadas por arcos. Cada arco possui uma probabilidade de transição. A Figura 8 ilustra um exemplo de diagrama de transição de uma CTMC com três estados.

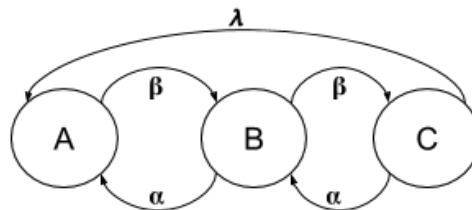


Figura 8 – Exemplo de diagrama de transição para CTMC.

Definição 1: Considere uma cadeia de Markov com estados $1, 2, \dots, n$. Seja P_{ij} a probabilidade de transição do estado i para o estado j . Então, a matriz $P_{n \times n}$ com entradas $a_{ij} = p_{ij}$ denomina-se matriz de transição da cadeia de Markov.

A matriz de transição é criada a partir do diagrama. Para um sistema com n componentes, a matriz terá dimensão $n \times n$ e é criada observando as mudanças entre os estados inserindo a taxa de falha ou reparo. A soma das probabilidades de transição de cada ciclo deve ser igual a 1. A matriz de transição para o exemplo da Figura 8 é representado em 2.12.

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\beta - \gamma & \beta & \gamma \\ \gamma & -\beta & \alpha \\ \beta & 0 & -\alpha - \gamma \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Podemos descrever o estado possível do sistema por meio de um vetor linha onde x_1 é a probabilidade do sistema estar no primeiro estado, x_2 no segundo estado e x_n a probabilidade do sistema estar no n -ésimo estado. O vetor π , representado em 2.13, indica as probabilidades estacionárias de cada estado π_i calculadas a partir do sistema de equações apresentados na Equação 2.14, onde Q é a matriz de estados.

$$\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) \quad (2.13)$$

$$\begin{cases} \pi Q = 0 \\ \sum_{i=1}^{|\pi|} \pi_i = 1 \end{cases} \quad (2.14)$$

Um dos exemplos mais clássicos de aplicabilidade das cadeias de Markov é na teoria dos jogos, onde pode-se provar o problema da ruína do jogador. Essa situação considera um jogo entre dois jogadores A e B dividido em partidas. O jogador A ganha cada partida com probabilidade p , recebendo U\$ 1 do jogador B, e perde com probabilidade $1 - p$, entregando U\$ 1 ao jogador B. Supondo que o capital do jogador A seja U\$ K e o capital

do seu oponente seja U\$ $N - K$, onde N representa o total de recursos. Se o capital do jogador A ou B cair pra 0, um dos jogadores estará arruinado e o jogo cessará. O jogo permite calcular a probabilidade de um jogador cair em ruína, dado que comece com um capital inicial K , sendo um problema clássico de processos estocásticos (PEDRO et al., 2014). Uma cadeia de Markov representa as quantias que cada jogador pode obter, a partir daí é determinado o número médio de apostas até o jogo terminar, por último é possível determinar a probabilidade do jogador chegar ao final do jogo com U\$ K ou perder tudo. Outro ramo bastante aplicado é a teoria de filas, a qual busca modelar matematicamente o comportamento de uma fila a fim de satisfazer da melhor forma possível o cliente, usuário da fila, e de modo que seja economicamente viável ao prestador de serviços. Na mesma linha de importância, podemos citar também a aplicabilidade dessa teoria em processos migratórios, epidemiológicos, difusão de informação entre outros (JÚNIOR; JÚNIOR, 2015).

2.4 Análise de Sensibilidade

Modelos são utilizados para aproximar vários fenômenos em diversas áreas. O desenvolvimento de um modelo consiste em várias etapas lógicas, uma das quais é a determinação de parâmetros que são mais influentes nos resultados do modelo. Dentre essas técnicas está a análise de sensibilidade (HAMBY, 1994). Ao avaliar um sistema, seu desempenho depende da atividade de seus componentes. Alguns componentes tem maior influência na confiabilidade e disponibilidade do sistema do que outros (BARABADY; KUMAR, 2007).

Entre os métodos existentes para análise de sensibilidade podem se destacar: análise diferencial, análise de correlação, análise de regressão, análise de perturbação e análise de sensibilidade paramétrica (HAMBY, 1994). Essa última consiste em variar um parâmetro de cada vez mantendo os demais constantes. O resultado dessa abordagem é um *ranking* de sensibilidade obtido por meio da observação das alterações da saída do modelo.

A importância de confiabilidade (*availability importance*) de um componente pode ser determinada com base nas características de falha do componente e seu posicionamento correspondente no sistema. A importância de confiabilidade do componente i , I_R^i , em um

sistema de n componentes é dada pela Equação 2.15, onde $R_s(t)$ é a confiabilidade do sistema e $R_i(t)$ é a confiabilidade do componente.

$$I_R^i = \frac{\partial R_s(t)}{\partial R_i(t)} \quad (2.15)$$

Ao usar o mesmo conceito no caso do desempenho da disponibilidade do sistema, algumas medidas de importância de disponibilidade são definidas por Barabady (2005) e podem ser usadas como orientação no desenvolvimento de uma estratégia de melhoria. A medida de importância da disponibilidade permite identificar áreas mais fracas de um sistema e indicar modificações que irão melhorar a disponibilidade do sistema. Os esforços para melhorar a disponibilidade podem ser concentrados nos componentes cujas contribuições indicam que, ao atualizá-las, pode-se alcançar o máximo de melhoria na disponibilidade do sistema. A medida da importância da disponibilidade é função do tempo, das características de falha e reparo ou dos parâmetros MTBF e MTTR e da estrutura do sistema. A medida de importância de disponibilidade I_A^i atribui um valor numérico entre 0 e 1 para cada subsistema ou componente, com o valor 1 significando o mais alto nível de importância. A importância de disponibilidade do componente i em um sistema de n componentes é dada pela Equação 2.16, onde A_s é a disponibilidade do sistema e A_i é a disponibilidade do componente (BARABADY; KUMAR, 2007).

$$I_A^i = \frac{\partial A_s}{\partial A_i} \quad (2.16)$$

A medida da importância da disponibilidade mostra o efeito da disponibilidade do subsistema ou do componente i na disponibilidade de todo sistema. É importante obter o valor da medida de importância de disponibilidade de cada componente no sistema antes de implementar medidas para melhorar componentes específicos. A intenção é determinar qual componente precisa ser melhorado para alcançar o máximo efeito do esforço de melhoria. Se a disponibilidade de um sistema precisa melhorar, os esforços devem primeiro ser concentrados na melhoria do subsistema que tem maior efeito sobre a disponibilidade do sistema (BARABADY; KUMAR, 2007). A análise de sensibilidade como instrumento para a avaliação dos parâmetros de entrada em relação ao seu impacto na saída do modelo é útil não só para o desenvolvimento do modelo, mas também para a validação do modelo e redução da incerteza (HAMBY, 1994).

2.5 Ferramentas

A modelagem implica na criação de modelos que expliquem as características do funcionamento e comportamento de um sistema. A construção de modelos gráficos pode facilitar a visualização e representação de todos os processos envolvidos. Para evitar erros e acelerar o processo de modelagem, existem disponíveis várias ferramentas que auxiliam esse processo. Nessa seção, iremos abordar duas ferramentas utilizadas durante a realização desse trabalho: Mercury e Wolfram Mathematica.

2.5.1 Mercury

Mercury é uma ferramenta de modelagem desenvolvida para avaliar modelos de desempenho, confiabilidade e fluxo de energia. O software fornece interface gráfica para modelagem e avaliação de redes de Petri estocásticas (SPN), diagramas de bloco de confiabilidade (RBD), modelos de fluxo de energia, cadeias de Markov de tempo contínuo e discreto. O grupo de pesquisa MoDCS - *Modeling of Distributed and Concurrent Systems* é o responsável pelo desenvolvimento e manutenção da ferramenta (MODCS, 2016). A Figura 9 mostra a tela inicial do programa com um sistema simples de RBD.

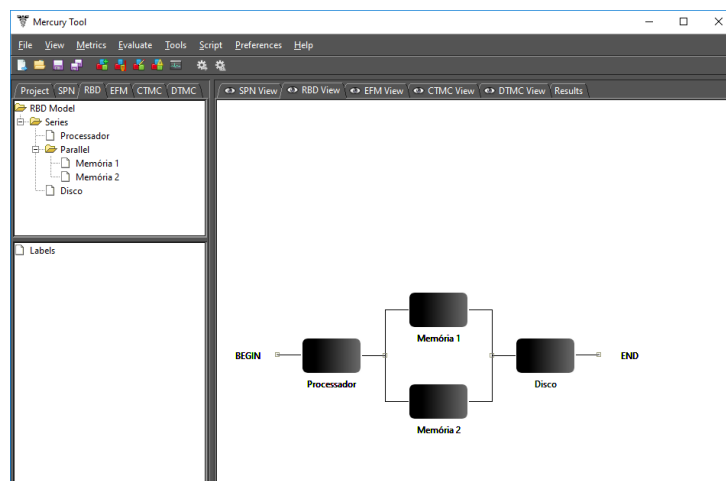


Figura 9 – Tela do Mercury com exemplo simples de RBD.

O programa permite fazer a análise do RBD e fornece informações importantes dessa representação. A Figura 10 mostra a tela do menu para análise onde o usuário pode escolher as métricas a serem computadas: tempo médio de falha, tempo médio de reparo,

uptime, *downtime*, disponibilidade do estado estacionário, disponibilidade instantânea, confiabilidade e falta de confiabilidade. Os resultados são exibidos no quadro da Figura 11.

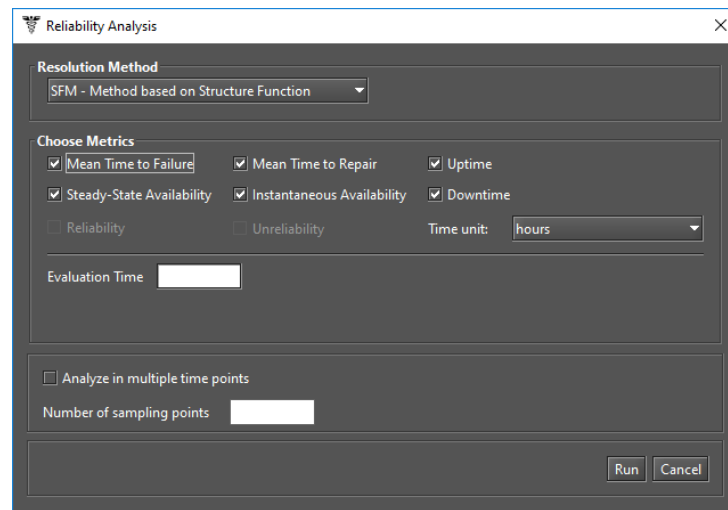


Figura 10 – Tela com opções para análise do RBD.

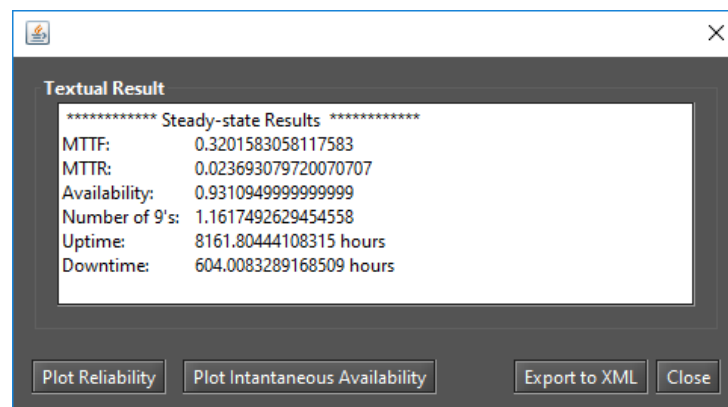


Figura 11 – Tela com resultados da análise do RBD.

Dentro do menu de avaliação, encontramos opções que retornam a importância dos componentes para a disponibilidade (Figura 12) e fórmula da função estrutural (Figura 13). A importância dos componentes para a disponibilidade é uma métrica que indica o impacto de cada componente no sistema. De posse desses valores, é possível analisar quais componentes impactam mais na disponibilidade do sistema e propor melhorias ou medidas de redundância para aumentar a confiabilidade. A função estrutural é uma representação comportamental da estrutura do sistema na forma de função para modelos RBD (MODCS, 2016).

A Figura 14 mostra a tela do Mercury com um exemplo simples de CTMC com três estados. A aplicação disponibiliza três opções para análise do modelo: estacionária,

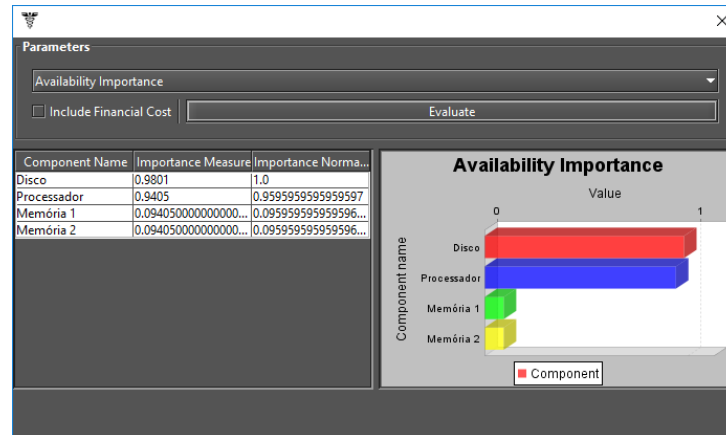


Figura 12 – Tela do Mercury com informações relativas a importância da disponibilidade do RBD.

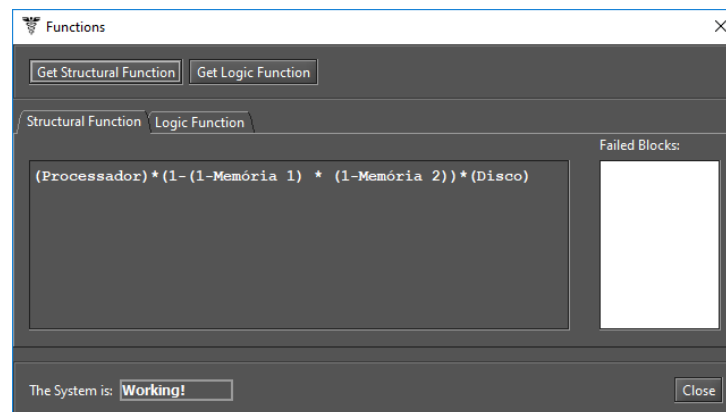


Figura 13 – Recuperando a função estrutural do RBD.

transiente e de sensibilidade. A análise estacionária, mostrada na Figura 15, calcula as probabilidades do estado estacionário, sendo interessante para estudar o comportamento do sistema a médio e longo prazo.

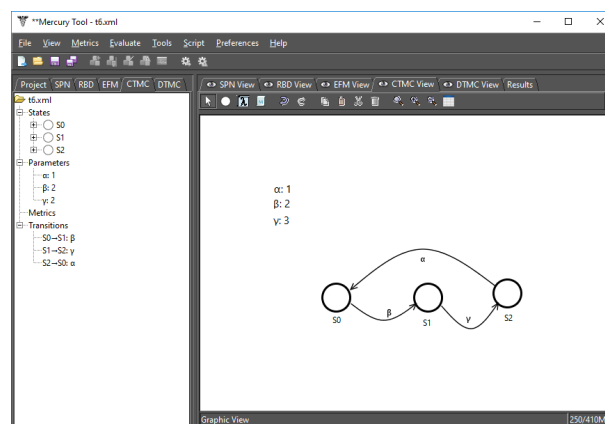


Figura 14 – Tela do Mercury com exemplos simples de CTMC.

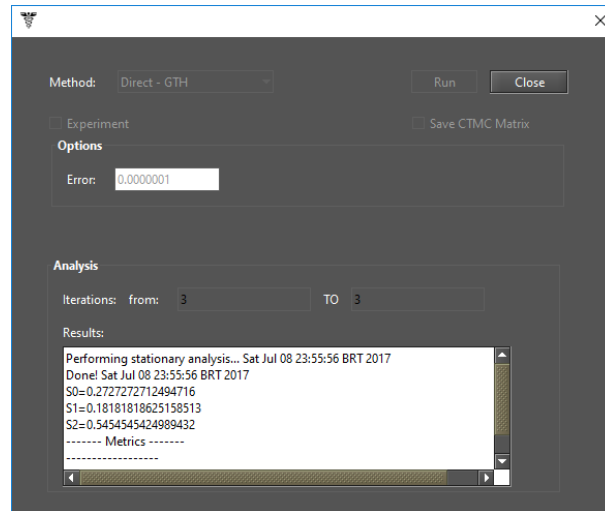


Figura 15 – Tela com resultados da análise estacionária para a CTMC.

2.5.2 Wolfram Mathematica

Wolfram Mathematica (conhecido popularmente como Mathematica) é um software matemático mantido pela Wolfram Research, empresa que trabalha com aplicações na área de computação, nuvem e *web*. Lançado em 1998, o Mathematica é o principal produto da companhia, sendo utilizado nas mais diversas áreas de conhecimento: engenharia, química, processamento de imagens, biologia, estatística, finanças entre outros. Funciona em Windows, Linux, Solaris e MAC OS X (MATHEMATICA, 2016).

Neste trabalho, o Mathematica foi utilizado para conceber a fórmula fechada de modelos de cadeia de Markov. É possível calcular a disponibilidade de um componente através da expressão obtida. A cadeia de Markov elaborada no Mercury é exportada para o formato de matriz de estados alcançáveis. O arquivo gerado é importado para o Mathematica e utilizado o pacote *StateDiagram.m* disponibilizado pela própria ferramenta. Esse pacote avalia modelos de confiabilidade com base em cadeias de Markov de tempo discreto e contínuo em relação a disponibilidade, confiabilidade, MTBF, MTTF, MTTR do sistema modelado. Além disso, uma função que traça diagramas de estados também faz parte do pacote (MATHEMATICA, 2016). A Figura 16 mostra um exemplo da tela de saída com a fórmula fechada e diagrama de estados de uma cadeia de Markov simples.

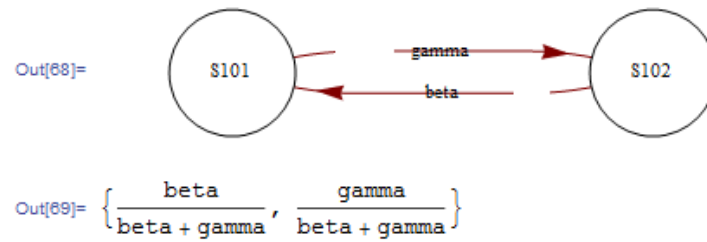


Figura 16 – Fórmula fechada e diagrama de estados fornecidos pelo Mathematica.

2.6 Considerações Finais do Capítulo

Nesse capítulo apresentamos conceitos fundamentais que são importantes para o entendimento do restante desta dissertação. Para cada tópico explanado, pequenos exemplos ilustram o funcionamento com a intenção de facilitar a compreensão dos modelos mais complexos que serão apresentados no decorrer deste estudo. As ferramentas mais utilizadas para elaboração e análise dos nossos modelos foram sucintamente descritas com imagens de algumas telas e menus. O próximo capítulo aborda a metodologia utilizada para a modelagem.

3 Metodologia

Este capítulo apresenta a metodologia proposta para avaliar a disponibilidade em sistemas IoT aplicados a saúde. A metodologia tem como objetivo definir a sequência de etapas desde o entendimento do sistema até a análise dos resultados finais obtidos. No decorrer do capítulo também serão abordadas informações importantes referentes ao processo de medição e estimativas de probabilidades utilizadas.

3.1 Sistema Analisado

O monitoramento remoto da saúde humana envolve basicamente o emprego de tecnologia de redes de sensores com meio de captura de dados do paciente em observação e todo o ambiente em que se encontra (SILVA, 2013). Pacientes com diferentes tipos de doenças podem ser monitorados, seja dentro do ambiente hospitalar ou na sua própria residência.

A Figura 17 representa um modelo genérico de funcionamento de um sistema *mHealth* que promove o monitoramento remoto de um paciente por meio de uma rede de área corporal (WBAN). O sistema foi criado a partir do modelo proposto em Testa et al. (2015), que considera um cenário composto por um paciente que precisa de atenção médica e tem sensores sem fio junto ao seu corpo coletando informações. Essa comunicação é comumente estabelecida por meio de *Bluetooth* 802.15.1, *Zigbee* 802.15.4 ou 802.15.6. Por sua vez, o dispositivo móvel recebe os dados e por meio de suas interfaces de rede WiFi local e móvel (comunicação extra-BAN) envia as informações para a computação móvel em nuvem (MCC). A infraestrutura de nuvem é responsável por armazenar e processar os dados recebidos.

O paciente em tratamento interage com o sistema através de dispositivos dotados de sensores que coletam seus dados e informações do ambiente. Por sua vez, o sistema computacional aplica técnicas para o tratamento e análise dos dados obtidos pelos sensores. Através do conhecimento dessas informações, os profissionais de saúde podem realizar intervenções médicas e fechar diagnósticos do paciente em emergência ou com quadro clínico estável (SILVA, 2013). O paciente não necessariamente precisa estar em um clínica

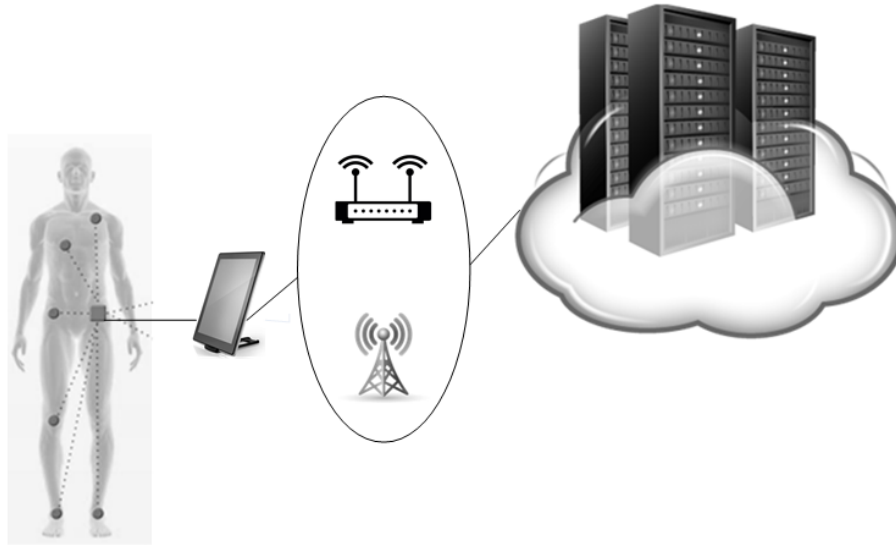


Figura 17 – Cenário de referência.

médica ou hospital, visto que o monitoramento pode acontecer dentro de sua residência ou até mesmo em campo aberto durante uma atividade física, por exemplo.

É desejável que os nós de sensores médicos satisfaçam os requisitos de peso e tamanho mínimo, fornecendo boa capacidade de processamento em um tamanho aceitável para a sua aplicação; baixo consumo de energia operando por longos períodos sem necessidade de recarga de bateria, permitindo monitoramento prolongado e integrado a WBAN; utilizar protocolos baseados em padrões e possibilidade de calibração, para aferição de valores com a maior precisão possível. Como os nós de rede coletam e enviam periodicamente informações brutas para a infraestrutura de nuvem, a frequência de envio desses dados é um parâmetro importante para estimar a vida da bateria, que é um componente crítico nesse sistema (NASSER; CHEN, 2010). Pacientes internados devem ter seus sinais vitais monitorados continuamente. Um paciente cardiopata ou em recuperação pós-cirúrgica, por exemplo, requer monitoramento contínuo 24 horas. Já um paciente com quadro clínico estável pode ter esses mesmos sinais verificados a cada hora (GONZALEZ et al., 2015).

O dispositivo móvel pode ser um *smartphone*, *tablet* ou computador pessoal. Um *smartphone* pode ser utilizado para monitoramento externo e um computador pessoal pode ser conveniente para monitoramento domiciliar de pessoas idosas. A comunicação com o servidor médico emprega redes celulares ou WLANs para alcançar um ponto de acesso com a Internet. Além do envio dos dados médicos, essa comunicação permite enviar avisos de emergência para profissional médico ou serviço médico de urgência, envio periódico de dados do pacientes, receber o plano de cuidados elaborado pelo profissional de saúde,

disponibilizar dados aos familiares dos paciente além de fornecer a comunicação direta entre paciente e/ou seus familiares com profissional da saúde (CARVALHO et al., 2010; NASSER; CHEN, 2010).

O ambiente de MCC pode estar hospedado diretamente no centro médico ou em uma nuvem privada desempenhando funções como autenticar usuários, aceitar *uploads* de arquivos com dados de monitoramento, inserir esses dados em registros médicos correspondentes, analisar os padrões de dados e reconhecer mudanças significativas em quadros clínicos para contatar profissionais de saúde. Estes, por sua vez, podem acessar os dados do paciente através da Internet, seja dentro ou fora do ambiente hospitalar. O conhecimento desses dados permite o acompanhamento dos sinais vitais para a manutenção da saúde (frequência cardíaca, pressão arterial, temperatura corporal, etc), os quais são cruciais para a tomada de decisão sobre as intervenções.

No cenário descrito, falhas podem ocorrer nos sensores, no dispositivo móvel, interfaces de comunicação e na infraestrutura de computação móvel em nuvem. Sensores podem travar seu funcionamento interrompendo o monitoramento do paciente ou fornecendo leituras incorretas. Equipamentos roteadores que promovem a conexão WiFi podem falhar e cessar o envio e recebimento de dados. Assim sendo, uma conexão 3G ou 4G pode ser utilizada de forma redundante, mas as torres de comunicação também estão sujeitas a problemas. Além dessa falhas, o dispositivo móvel, em algum momento, pode apresentar *hardware* e *software* indisponíveis.

Os componentes do cenário proposto são modelados e divididos em sub-componentes para calcular suas respectivas disponibilidades. Os valores encontrados serão parâmetros de entrada para os componentes principais, objetivando encontrar a disponibilidade total do sistema.

3.2 Metodologia de avaliação

A resolução de um problema envolvendo modelagem e simulação pode abranger várias etapas. A metodologia proposta nesta seção é baseada na metodologia geral utilizada para se realizar modelagem e simulação, proposta em Obaidat e Boudriga (2010) e Obaidat e Papadimitriou (2012). A Figura 18 apresenta a sequência de passos utilizada.

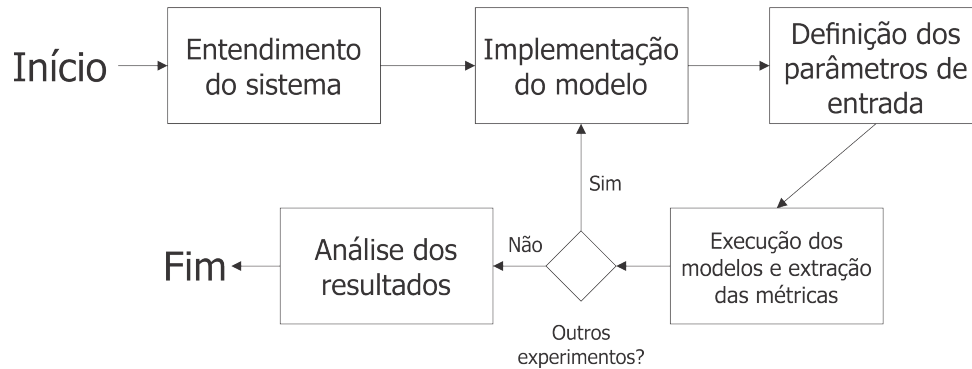


Figura 18 – Metodologia de avaliação.

- **Entendimento do sistema:** a primeira etapa consiste em compreender o funcionamento do sistema em questão. Após essa análise, é gerada uma coleção de suposições sobre os componentes e a estrutura do sistema, bem como valores para os parâmetros de entrada. Como o foco do trabalho é a análise da dependabilidade, uma arquitetura base é criada e diferentes experimentos podem ser realizados avaliando as melhores estratégias para aumentar sua disponibilidade. Todos esses pressupostos constituem o modelo conceitual. O correto entendimento do sistema é fundamental para que as próximas etapas da metodologia sejam executadas com êxito.
- **Implementação do modelo:** essa etapa envolve a tradução do modelo operacional em uma forma reconhecível pelo computador. Ferramentas gráficas auxiliam a visualização dos resultados e facilitam o entendimento de modelos elaborados por terceiros. Essas aplicações escondem detalhes da implementação organizando as informações e permitindo estruturas de tamanhos ilimitados. Primeiramente foi desenvolvido o modelo hierárquico do sistema analisado utilizando diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) e cadeias de Markov (CTMC). Nesse trabalho, duas ferramentas foram utilizadas: Mercury e Wolfram Mathematica, ambas detalhadas nas Seções 2.5.1 e 2.5.2. O modelo geral do sistema analisado é composto por cinco componentes em série representado por meio de um RBD. Para a descarga da bateria do dispositivo móvel foi utilizado um modelo CTMC. Os modelos analíticos elaborados e suas fórmulas são descritos em detalhes no Capítulo 4.
- **Definição dos parâmetros de entrada:** para cada componente do modelo é verificado na literatura a existência dos parâmetros necessários para sua execução. Nesse trabalho, os parâmetros de interesse envolvem tempos médio de falha e recuperação para sensores sem fio, protocolos de comunicação, dispositivo móvel e

infraestrutura de nuvem. Para o dispositivo móvel também é necessário dados relativos as taxas de carga e descarga da bateria. Como esses dois últimos parâmetros não foram encontrados, foi necessário realizar medições para dispor de tais informações. O processo de medição é detalhado na Seção 3.4. Para alguns eventos no modelo são associados valores de probabilidades de ocorrência, descritos na Seção 3.5.

- **Execução dos modelos e extração das métricas:** definidos os parâmetros de entrada, o próximo passo é a execução dos modelos e verificação de possíveis erros na modelagem. No caso de inconsistências, esse é o momento de reavaliar o funcionamento dos modelos e os parâmetros adotados e analisar a necessidade de outros experimentos. Podem acontecer ajustes, inclusão ou remoção de componentes, alteração da topologia ou desenho dos modelos. Métricas de interesse permitem avaliar a disponibilidade do sistema. A depender da análise executada, em determinado cenário um valor pode ser apenas um parâmetro, enquanto em outro é uma métrica. Em modelos hierárquicos, as métricas de um modelo X podem ser utilizadas como parâmetros de entrada para um modelo Y. Por exemplo, a descarga da bateria do dispositivo móvel é representada por uma CTMC e seu resultado é parâmetro de entrada para o componente "bateria" dentro do modelo RBD que representa o *smartphone*. As métricas adotadas nesse estudo são descritas na Seção 3.3.
- **Análise dos resultados:** os resultados de cada componente dos modelos são analisados, interpretados e estimadas medidas de desempenho para avaliar a disponibilidade do sistema. Modelos propostos para a representação do componente bateria do dispositivo móvel são comparados com modelos existentes. Além disso, são avaliadas estratégias de redundância para interfaces de comunicação WiFi. Os resultados podem apontar pontos críticos e componentes que mais influenciam na disponibilidade do sistemas. Estes resultados quando dispostos em gráficos e tabelas, apresentam uma melhor visualização facilitando a comparação e análise dos valores obtidos.

3.3 Métricas

A maioria dos dispositivos móveis são alimentados por algum tipo de bateria recarregável cuja função é fornecer energia. Por definição, uma bateria é "uma associação de pilhas, acumuladores ou condensadores ligados entre si, com a função de converter energia química em energia elétrica" (INFOPÉDIA, 2017). A capacidade de armazenamento de uma bateria é expressa por mAh (miliampere-hora), que representa a quantidade de carga elétrica que pode ser disponibilizada por meio de uma corrente estável de um ampere ao longo de uma hora. Por exemplo, para uma bateria de 2000 mAh, podemos fornecer uma quantidade de 2000 miliamperes por uma hora. Se um dispositivo móvel requer 500 miliamperes, teremos uma estimativa para duração dessa bateria de 4 horas. Em nosso estudo, o *smartphone* será o nosso *gateway*, e diversos fatores de hardware e software podem influenciar na duração da bateria, como a frequência do processador, nível de brilho de tela e as aplicações que estão sendo executadas. O esgotamento da bateria pode se tornar um obstáculo para o funcionamento do sistema, por isso torna-se um fator que merece atenção.

Dependendo da situação, o tempo de carga e descarga de bateria é apenas um parâmetro de entrada para determinados modelos. No entanto, em alguns casos, esse tempo torna-se métrica para avaliar o quão eficiente foram as mudanças adotadas para melhorar a disponibilidade do sistema. As principais métricas adotadas são tempo médio de falha (MTTF), tempo médio de recuperação (MTTR), *uptime*, *downtime* e disponibilidade, todas essas abordadas na Seção 2.2. O MTTF e MTTR pode ser calculado para sensores, torres de comunicação móvel, equipamentos roteadores e elementos do *smartphone* e infraestrutura de nuvem. Eles representam o tempo que o componente pode falhar, e quanto tempo necessita para se recuperar dessa falha.

As métricas *uptime* e *downtime* permite aferir o tempo de funcionamento e não funcionamento de determinado componente. Podemos calcular por quantas horas dois roteadores trabalhando em paralelo fornecendo conexão WiFi em uma residência podem ficar indisponíveis no período de um ano. O mesmo pode ser aplicado para um conjunto de sensores que monitoram um paciente em estado crítico. A depender do serviço, diferentes níveis de exigência para *uptime* podem ser considerados aceitáveis.

Por tratar com a saúde de pacientes, sistemas *mHealth* devem apresentar alta disponibilidade, por esse motivo ela será normalmente apresentada utilizando a unidade

"número de 9's". A disponibilidade pode ser calculada para os componentes individualmente assim como para todo o sistema. Modificações em sub-componentes que aumentem sua disponibilidade implicam no aumento da disponibilidade total do sistema.

3.4 Medições no Dispositivo Móvel

O dispositivo móvel é peça importante nos cenários avaliados onde o tempo de carga e descarga de sua bateria interfere nos valores de disponibilidades encontrados. No estudo de caso retratado na Seção 5.4 é necessário conhecer o tempo de carga parcial de 10% da capacidade da bateria utilizando carregador de parede comum e carregador portátil do tipo *power bank*. Alguns dados não foram encontrados na literatura, sendo necessário realizar medições para definir os parâmetros de entrada.

Para todos os parâmetros que houve necessidade de realizar o processo de medição, baseado no teorema do limite central, todas os experimentos tiveram no mínimo 30 amostras coletadas. Essa quantidade representa um limite mínimo aceitável para o qual o tamanho de uma amostra não é considerado pequeno (BUSSAB; MORETTIN, 2010). Para esses casos, a distribuição de médias se aproxima de modo satisfatório de uma distribuição normal. Para cada amostra são calculados média, desvio-padrão e intervalo de confiança com índice de 95%. Os dados encontrados para a descarga via WiFi estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de descarga para 10% da bateria utilizando WiFi

Tempo de descarga 10%	
WiFi	
Média	62,467 minutos
Desvio padrão	2,374191 minutos
Tamanho da amostra	30
Nível de confiança	95%
Intervalo de confiança	(61,58 ; 63,35)

Para esse estudo, foi utilizado um *smartphone* Tp-Link Neffos Y5 executando uma instalação limpa do sistema operacional Android 6.0 Marshmallow. O aparelho utiliza CPU Qualcomm ARM-Cortex A7 de 1.3Ghz, 2Gb de memória RAM, 16Gb de espaço

interno e tela HD de 5" com resolução 1280 x 720 pixels, WiFi 802.11b/g/n e bateria de 2130mAh. As especificações completas do aparelho estão disponíveis em (TP-LINK, 2017)

3.5 Probabilidade de Eventos

Para os modelos apresentados no Capítulo 4, algumas ações estão associadas a probabilidades, ou seja, uma estimativa da chance de que um evento ocorra. Em vez de adotar uma certeza ou negação absoluta para a ocorrência de um determinado evento, um vetor de probabilidades foi utilizado na tentativa de contemplar o maior número possível de comportamentos do sistema.

Para esse trabalho, analisando o cenário avaliado em cada estudo, as probabilidades de carregamento e substituição de bateria descarregada foram estimadas de acordo com o ambiente em estudo. Entretanto, para determinados casos é possível realizar o estudo do ambiente e mensurar de forma mais precisa esses valores. Na Seção 5.3 é apresentado o estudo de caso envolvendo um ambiente médico hospitalar onde o modelo em questão atribui uma probabilidade à disponibilidade da conexão WiFi dentro do hospital. Para essa situação, é possível realizar um levantamento da especificação (potência das antenas e alcance de cobertura) e local da instalação dos equipamentos roteadores. A Figura 19 ilustra um caso hipotético dessa abordagem.



Figura 19 – Mapeamento da posição de cobertura de roteadores dentro de um complexo hospitalar.

A planta baixa do hospital pode ser utilizada para fazer um mapeamento de todo o ambiente. De acordo com a Figura 19, cada ponto preto indica a posição de instalação

física de cada equipamento roteador e o círculo sombreado ao seu redor determina a área de propagação do sinal. Algumas situações específicas podem ocorrer, como por exemplo, locais onde são realizados exames de raio-X, que, por questão de segurança, são blindados para evitar o vazamento de radiação. Mesmo com roteador próximo cobrindo essa região, o sinal WiFi não consegue ultrapassar a proteção. Da mesma forma acontece com um sinal móvel 3G, deixando o usuário que estiver nessa região totalmente sem conexão com redes sem fio. Outra situação é o deslocamento do usuário passando da área de cobertura de um roteador para outro. Por alguns instantes a conexão WiFi pode ser perdida sendo necessária a utilização da rede 3G.

Para o exemplo da Figura 19, o ambiente hospitalar tem uma área de cobertura de sinal WiFi de aproximadamente 91,2%. A área que compreende o raio-X, com total ausência de conexão devido a blindagem, corresponde a 7%, enquanto 1,8% da área total estará descoberta de sinal de rede local sendo necessário utilizar rede móvel. Os valores encontrados, baseado na proporção entre áreas com cobertura e trânsito de pessoas, podem ser utilizados como probabilidades de uso de sinal WiFi, ausência de conexão e uso de sinal 3G.

3.6 Considerações Finais do Capítulo

Nesse capítulo foi detalhada a metodologia proposta para avaliar a dependabilidade em sistemas *mHealth*. A sequência de ações necessária foi detalhada, justificando a necessidade de se realizar medições na bateria do *smartphone* para encontrar parâmetros de entrada não disponíveis na literatura. Para os estudos de caso apresentados nesse trabalho, valores de probabilidades foram associadas a eventos, entretanto, as mesmas poderiam ser encontradas mais precisamente por meio de um estudo do ambiente em questão, como por exemplo, a área de cobertura de redes sem fio e disponibilidades de ponto de energia para recarga de bateria. No próximo capítulo será apresentado todos os modelos analíticos elaborados utilizando RBD e CTMC.

4 Modelos

Nesse capítulo apresentamos o cenário de referência para o sistema *mHealth* proposto, onde é detalhado seu funcionamento e o papel de cada elemento. O cenário foi elaborado utilizando um modelo hierárquico composto por diagramas de blocos de confiabilidade (RBD) e cadeia de Markov, contemplando cinco elementos: sensor, comunicação intra-BAN, *smartphone*, comunicação extra-BAN e nuvem.

Cada uma das técnicas tem suas vantagens e limitações. A utilização do RBD é mais simples, sendo utilizada para representar componentes estocasticamente independentes no sistema. O uso de CTMC foi adotado para modelar o funcionamento de componentes baseado em um conjunto de estados e transições entre esses estados. As duas técnicas são utilizadas em conjunto para aferir a disponibilidade do serviço *mHealth*. Uma seção é dedicada para explicação do modelo de consumo energético da bateria do *smartphone*. Os modelos foram elaborados com a ferramenta Mercury (SILVA et al., 2010; SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2015; MACIEL et al., 2017) e as expressões algébricas para a CTMC foram obtida com a ferramenta Wolfram Mathematica (MATHEMATICA, 2016).

Em relação a outros trabalhos, este é mais focado na avaliação de redes sem fio de área corporal (WBAN), propondo modelos específicos para essa topologia. Alguns pontos não estão no escopo desse estudo, como questões relacionadas a segurança, confidencialidade e integridade e privacidade das informações trafegadas. Mecanismos de proteção também consomem energia disponível, por esse motivo, deve ser eficientes (LATRÉ et al., 2011).

4.1 Modelo de Disponibilidade

O sistema analisado é representando pela Figura 20 proposta por Testa et al. (2015). O ambiente é composto por um conjunto de sensores sem fio, um dispositivo *gateway* e um ambiente de computação móvel em nuvem. Dados coletados pelos sensores são enviados para um dispositivo móvel utilizando Bluetooth ou Zigbee. Em seguida, enviados para o ambiente de nuvem por meio de WiFi ou rede móvel 3G. Nesta representação estão destacados o ambiente intra-BAN, extra-BAN e nuvem.

O modelo RBD mostrado na Figura 21 representa o sistema descrito na Seção 3.1. São cinco componentes em série: (i) Sensor (SS) que representa todos os sensores

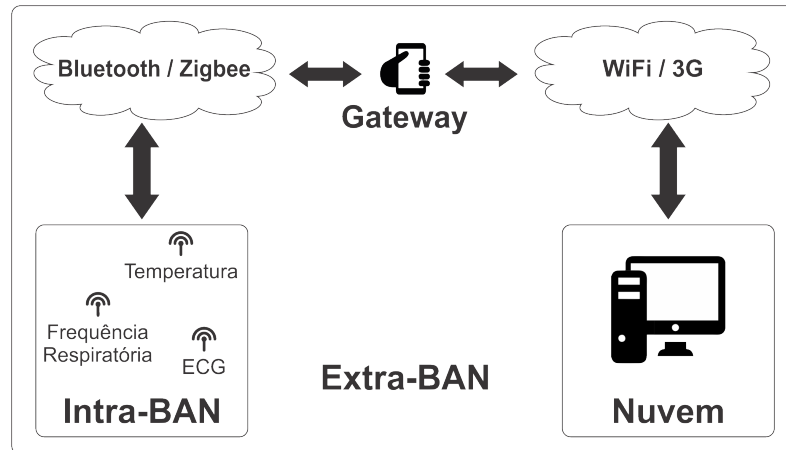


Figura 20 – Componentes do sistema analisado (TESTA et al., 2015).

que atuam no monitoramento do paciente e do ambiente em que ele se encontra, (ii) Intra-BAN (I-BAN) que é a comunicação que ocorre entre os sensores dentro da área de rede corporal, (iii) dispositivo móvel (SP) que atua como *gateway*, ou seja, uma ponte de ligação para a rede externa (iv) Extra-BAN (E-BAN), e por último, (v) a infraestrutura de computação móvel em nuvem (MC). A disponibilidade total do sistema é dada pelo produto da disponibilidade individual de cada subsistema, sendo expresso pela Equação 4.1. Cada um dos componente representados pelo subsistemas são essenciais para o funcionamento do sistema, por esse motivo, todos estão conectados em série. Se houver a indisponibilidade de pelo menos um dos componentes, todo o sistema ficará indisponível.

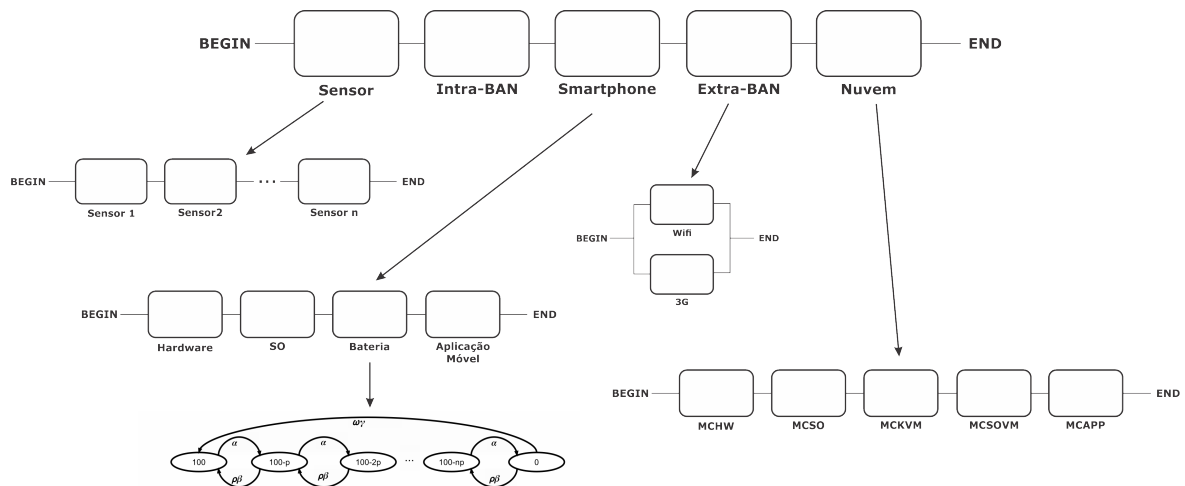


Figura 21 – Modelo hierárquico do cenário de referência.

$$A_S = A_{SS} \times A_{I-BAN} \times A_{SP} \times A_{E-BAN} \times A_{MC} \quad (4.1)$$

O componente Sensor (SS) pode ser único ou estar presente em conjunto realizando o monitoramento do paciente. Estes sensores podem ser independentes ou presentes nos *smartphone*. Em nossa abordagem, cada sensor é responsável por captar um dado específico do paciente, sendo cada uma dessas informações relevantes para o completo acompanhamento do usuário, por esse motivo, todos os sensores são conectados em série. Caso um dos sensores deixe de operar, o monitoramento é comprometido e o sistema é considerado em estado de falha. A Figura 22 ilustra nosso modelo RBD genérico para n sensores e a Equação 4.4 calcula sua disponibilidade.

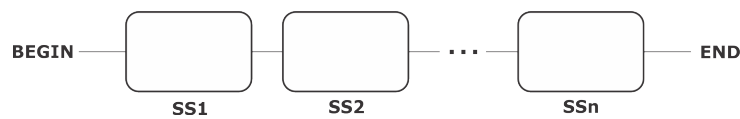


Figura 22 – Modelo RBD para o conjunto de sensores.

$$A_{SS} = \prod_{i=1}^n A_{SSi}(t) \quad (4.2)$$

Poderia ser considerado um modelo RBD utilizando k-out-of-n, detalhado na Seção 2.3.1, caso os sensores tenham valores de MTTF e MTTR equivalentes, ou, se necessário modelar condições mais complexas, poderia utilizar CTMCs. Porém, para nosso escopo, consideramos que todos os sensores são críticos e por isso, a falha de ao menos um deles, acarreta a falha do sistema.

O componente Intra-BAN (I-BAN) compreende a comunicação via rádio a cerca de 2 metros ao redor do corpo humano que pode ser dividida em: (i) comunicação entre os sensores corporais e (ii) comunicação entre sensores corporais e o *gateway*. Devido a relação direta entre BANs e os sensores corporais, a arquitetura da comunicação existente torna-se fator crítico para o correto funcionamento do sistema (ACAMPORA et al., 2013). Meios de comunicação usualmente utilizados nesse componente são *Bluetooth* e *Zigbee* (TESTA et al., 2015).

Consideramos um *smartphone* para representar o dispositivo móvel em nosso modelo de sistema *mHealth* e por meio de um RBD é aferida sua disponibilidade. Baseado no modelo proposto por Araujo et al. (2014), esse subsistema é composto por quatro componentes dos mais usuais nesse tipo de dispositivo: *hardware* móvel (HW), sistema

operacional móvel (SO), bateria (BAT) e aplicação móvel (APP). A Figura 23 apresenta esse modelo e sua disponibilidade é expressa pela Equação 4.3.

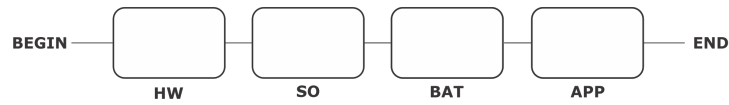


Figura 23 – Modelo RBD para o dispositivo móvel.

$$A_{SP} = A_{HW} \times A_{SO} \times A_{BAT} \times A_{APP} \quad (4.3)$$

O componente *hardware* móvel representa o dispositivo físico que está sujeito a falhas. O SO móvel representa o sistema operacional em execução no dispositivo móvel. A bateria representa o componente eletroquímico responsável pelo armazenamento de energia enquanto a aplicação móvel é a aplicação utilizada no *smartphone* que troca informações com a nuvem. O componente bateria é expandido em um submodelo CTMC apresentado em detalhes na Seção 4.1.1. A falha de qualquer um desses componentes acarreta à indisponibilidade do dispositivo móvel.

O componente Extra-BAN (E-BAN) é composto pelas múltiplas interfaces de comunicação, considerando uma conexão WiFi e outra móvel atuando de forma paralela. Caso uma comunicação WiFi ativa falhe, o *smartphone* tenta acessar a rede de dados móvel e impedir que o usuário fique sem conexão. A redundância desse sistema é representado pela disposição em paralelo dos seus blocos no RBD, conforme Figura 24. O sistema operacional Android já conta com gerenciadores inteligentes que permitem alternar automaticamente entre redes WiFi e móvel. O tempo necessário para esta ativação não foi considerado nos modelos propostos, por ser muito pequeno. Somente em caso de falha simultânea em ambas conexões o componente Extra-BAN ficará indisponível.

Inicialmente, consideramos uma conexão WiFi e duas conexões móveis operando nas frequências 3G e 4G. Para essa situação, a disponibilidade do componente E-BAN é encontrado por meio da Fórmula 4.4. No caso do surgimento ou possibilidade de utilização de outro tipo de conexão, o modelo proposto pode ser extensível para n tipos de conexões e sua disponibilidade vai ser calculada por por meio da Equação 4.5.

$$A_{E-BAN} = 1 - (1 - A_{WiFi}) \times (1 - A_{3G}) \times (1 - A_{4G}) \quad (4.4)$$

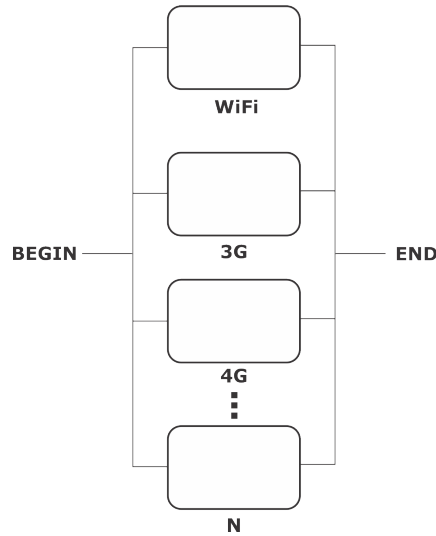


Figura 24 – Modelo RBD para a Extra-BAN.

$$A_{E-BAN} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_n(t)) \quad (4.5)$$

O modelo para representação do ambiente de computação móvel em nuvem é o mesmo disponível em (DANTAS et al., 2012) sendo composto por cinco componentes em série: *hardware* (MCHW), sistema operacional (MCSO), solução de virtualização (MCKVM), sistema operacional da máquina virtual (MCSOVM) e aplicação (MCAPP). A Figura 25 ilustra esse modelo e a Fórmula 4.6 calcula sua disponibilidade.

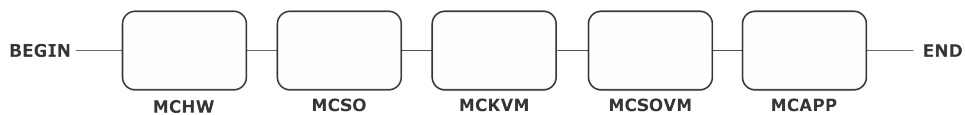


Figura 25 – Modelo RBD para a infraestrutura de nuvem.

$$A_{MC} = A_{MCHW} \times A_{MCSO} \times A_{MCKVM} \times A_{MCSOVM} \times A_{MCAPP} \quad (4.6)$$

4.1.1 Modelo de Disponibilidade da Bateria

Em geral, modelos de bateria estocásticos são baseados em cadeias de Markov, os quais modelam a carga e descarga como processos estocásticos (JONGERDEN; HAVERKORT, 2008). A capacidade de expressar relações sequencias justifica o uso de CTMC para essa modelagem. A representação é feita a partir de um número finito

de estados representando unidades de carga. A mudança para um estado de carga futuro depende apenas do estado presente, não importando a sequência de processos precedentes, obedecendo a propriedade markoviana discutida na Seção 2.3.2.

A falha da bateria do dispositivo móvel está condicionada à sua descarga. Para essa representação utilizamos um modelo de cadeia de Markov baseada em um conjunto de estados indicando o nível de carga da bateria. O modelo proposto por Oliveira e Maciel (2014) é composto por 11 estados e considera o processo de descarga da bateria em passos de 10%. O estado “0”, indica que este é um estado no qual a bateria está indisponível, enquanto que todos os outros são estados onde a bateria está disponível. O autor considera o tempo médio de descarga de 10% da bateria igual a 0,9 horas. O modelo em questão assume a existência de uma bateria reserva que é usada para substituir a bateria em uso quando a mesma encontra-se completamente descarregada.

Nosso modelo, ilustrado na Figura 26, é uma extensão do modelo proposto por Oliveira e Maciel (2014), onde consideramos a probabilidade do usuário poder recarregar a bateria do dispositivo móvel em algum momento durante o processo de descarga. Essa probabilidade pode estar condicionada, por exemplo, a disponibilidade de um ponto de energia, carregador de parede ou carregador portátil (*power bank*). Caso não seja possível realizar o procedimento de recarga, o modelo considera a probabilidade de existir uma bateria extra para substituir a do dispositivo móvel que encontra-se totalmente sem carga. O modelo CTMC elaborado é composto por um conjunto de n estados que representam a porcentagem de carga da bateria. O estado “100”, representa a bateria totalmente carregada, enquanto o estado “0”, representa sua indisponibilidade. Em todos os estados, exceto o “0”, a bateria está disponível. A transição entre estados vizinhos está associada as taxas de carregamento, descarga e probabilidade de carga do dispositivo móvel e probabilidade de substituição da bateria.

Para a CTMC, a ferramenta Mathematica auxiliou na tentativa de encontrar a fórmula fechada do modelo que representa a disponibilidade da bateria do dispositivo móvel. Contudo, utilizando um computador composto por um processador Intel Core i7-4510U com 8Gb de memória DDR3 1600Mhz, o software não era capaz de gerar a fórmula para uma CTMC com apenas 10 estados. A estratégia utilizada para encontrar a expressão foi gerar fórmulas fechadas a partir de um número mínimo de estados até o máximo que o *software* suportava sem travar a execução. Analisando o comportamento das fórmulas

encontradas, foi possível deduzir uma fórmula geral para cálculo da disponibilidade da bateria com n estados. Assim, obteve-se a fórmula apresentada na Equação 4.7.

Considerando um único tipo de conexão, por exemplo 2G, 3G, 4G ou WiFi, sendo p o percentual de carga/descarga parcial considerada no modelo e sabendo que p é um divisor de 100, a disponibilidade A da bateria do dispositivo móvel é representada pela cadeia de Markov da Figura 26. A fórmula fechada que calcula a disponibilidade da bateria é expressa pela Equação 4.7.

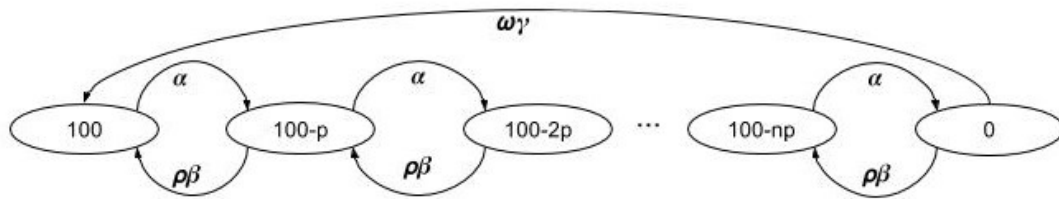


Figura 26 – Modelo CTMC para a bateria do dispositivo móvel.

$$A = 1 - \frac{\alpha^{n-1}}{\sum_{i=0}^n (\alpha^{(n-1-i)} (\rho\beta)^i) + \omega\gamma \sum_{i=0}^{n-2} ((n-1-i)\alpha^{(n-2-i)} (\rho\beta)^i)} \quad (4.7)$$

Onde:

- α é a taxa de descarga de $p\%$ com o dispositivo móvel em uso;
- n é igual a $100/p$;
- β é a taxa de carregamento de $p\%$ do dispositivo móvel;
- γ é a taxa para troca da bateria do dispositivo móvel;
- ρ é a probabilidade do usuário poder carregar o dispositivo móvel;
- ω é a probabilidade do usuário possuir uma bateria reserva.

O número de estados da CTMC é definido pelo parâmetro p . Por exemplo, para p igual a 20%, teremos 6 estados (100%, 80%, 60%, 40%, 20% e 0%). A transição entre um estado de maior carga para um de menor carga ocorre sob a taxa α de descarga de $p\%$ da bateria do dispositivo móvel. De maneira inversa, a transição de um estado de menor carga para um de maior acontece sob taxa β de carregamento de $p\%$ multiplicada pela probabilidade ρ do usuário poder carregar o dispositivo móvel. Ao chegar no estado 0%, a bateria pode ser substituída e voltar ao estado 100% sob taxa de substituição γ multiplicada pela probabilidade ω do usuário possuir bateria reserva.

A depender da localização do usuário e sua movimentação pelo ambiente, ele pode estar utilizando mais de um tipo de conexão, incluindo a ausência de conectividade. Para esse caso, a disponibilidade total do sistema A_T será dada pela Equação 4.8.

$$A_T = \sum_{j=0}^m \pi_j A_j \quad (4.8)$$

Onde:

- m é quantidade de tipos de conexão;
- π_j é a probabilidade do usuário estar usando o tipo de conexão j ;
- A_j é a disponibilidade para o tipo de conexão j ;
- $\sum_{j=0}^m \pi_j = 1$

A atribuição de probabilidades ao modelo de descarga da bateria visa contemplar o maior número possível de cenários, onde pode existir uma probabilidade grande, pequena ou parcial de acontecer determinado evento. O valor de A_j é encontrado por meio da Equação 4.7 para cada tipo de conexão utilizada.

Usuários podem estar em deslocamento utilizando rede móvel, a oscilação de sinal e a busca por redes demanda mais energia da bateria do *smartphone*. Da mesma forma, pacientes tratados em casa, de acordo com o tamanho do ambiente e interferência de outras redes sem fio próximas, podem momentaneamente perder conexão com seu roteador WiFi e utilizar a rede de dados móvel da sua operadora. A depender da força do sinal de uma rede 3G, a transferência de dados pode ser mais lenta, drenando ainda mais a energia da bateria. Esses são alguns dos motivos que fazem taxas de carregamento e descarga estarem diretamente associadas ao tipo de conexão utilizada pelo usuário. A estratégia utilizada é computacionalmente mais barata que incluir todas as conexões em uma única cadeia de Markov, uma vez que a fórmula do RBD possui menor custo computacional.

É importante ressaltar que, dependendo da taxa escolhida para descarga de $p\%$ da bateria do dispositivo móvel, a Equação 4.7 resultante da análise das CTMCs pode lidar com modelos envolvendo diferentes quantidades de estados. A Figura 27 ilustra o modelo com $p = 10\%$, resultando uma cadeia com 11 estados e fórmula fechada apresentada na Equação 4.9. Para esse exemplo, consideramos o tempo aproximado para descarga de 1 hora e para carga de 0,25 hora, onde a taxa é o inverso do tempo. Dessa forma, a taxa

de carga $\beta = 4$ e descarga do dispositivo móvel em uso $\alpha = 1$, para esse valor de p . A disponibilidade encontrada para essa configuração é de 0,9914.

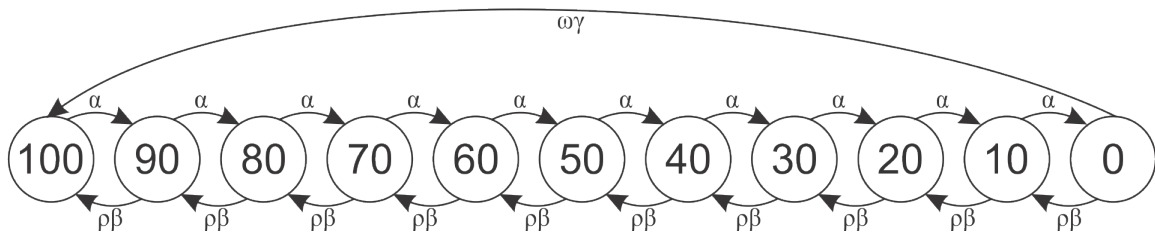


Figura 27 – Modelo de disponibilidade da bateria com 10 estados.

$$A = 1 - \frac{\alpha^9}{\sum_{i=0}^{10} (\alpha^{9-i} (\rho\beta)^i) + \omega\gamma \sum_{i=0}^8 ((9-i)\alpha^{8-i} (\rho\beta)^i)} \quad (4.9)$$

Para $p = 25\%$, a cadeia gerada contém 5 estados, conforme Figura 28 e sua fórmula fechada é representada pela Equação 4.10. Considerando $\omega = 1$, $\gamma = 12$ e $\rho = 0$, os valores das taxas α e β são calculados de forma proporcional aos valores obtidos para $p = 10\%$. Ou seja, se para $p = 10\%$ o valor de $\alpha = 1$ e $\beta = 4$, quando $p = 25\%$ a taxa α equivalente será 0,4 e $\beta = 1,6$. Por meio da Equação 4.10 obtemos um valor de disponibilidade igual a 0,9917.

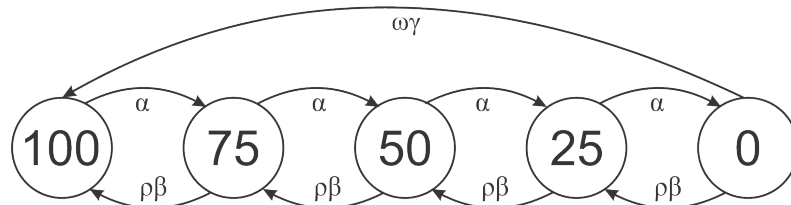


Figura 28 – Modelo de disponibilidade da bateria com 5 estados.

$$A = 1 - \frac{\alpha^3}{\sum_{i=0}^4 (\alpha^{3-i} (\rho\beta)^i) + \omega\gamma \sum_{i=0}^2 ((3-i)\alpha^{2-i} (\rho\beta)^i)} \quad (4.10)$$

Quando $p = 5\%$, teremos uma representação com 21 estados na CTMC, conforme Figura 29. Adotando os mesmos valores de $\omega = 1$, $\gamma = 12$ e $\rho = 0$ e utilizando o mesmo raciocínio do exemplo anterior para encontrar os valores de α e β para o referido p , por meio da Equação 4.11, a disponibilidade da bateria é igual a 0,9913, onde $\alpha = 2$ e $\beta = 8$.

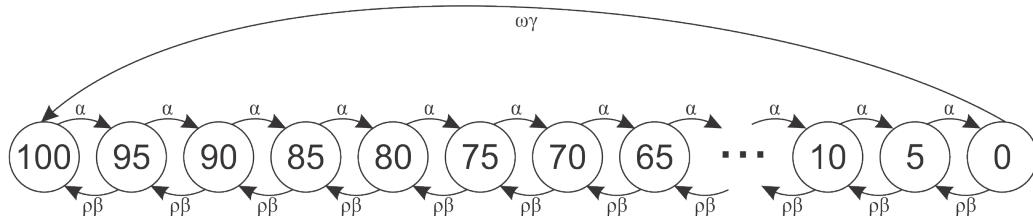


Figura 29 – Modelo de disponibilidade da bateria com 21 estados.

$$A = 1 - \frac{\alpha^{19}}{\sum_{i=0}^{20} (\alpha^{(19-i)} (\rho\beta)^i) + \omega\gamma \sum_{i=0}^{18} ((19-i)\alpha^{(18-i)} (\rho\beta)^i)} \quad (4.11)$$

A diferença entre os resultados encontrados para as cadeias com p igual a 5% e 10% se deve à simplificação que ocorre nos estados dos modelos, que poderia ser maior caso fosse utilizada a medição para a carga e descarga de “p” em vez de usar a divisão usando um “p” base. Quanto menor o valor de p , maior será o número de estados da cadeia gerada e mais preciso será o resultado encontrado.

4.2 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo apresentamos os modelos que serão utilizados nos estudos de caso, dando ênfase principalmente as equações matemáticas das representações RBD e CTMC. É por meio dessas expressões que aferimos as disponibilidades dos cenários propostos. Os parâmetros utilizados podem variar de acordo com o ambiente escolhido para análise sendo detalhados na descrição de cada estudo de caso no próximo capítulo.

5 Estudo de Caso

Neste Capítulo são apresentados estudos de caso em cima do cenário proposto. Os dois primeiros avaliam pontos específicos na proposta: (i) a disponibilidade das interfaces de comunicação na Extra-BAN e (ii) impacto das mudanças propostas no modelo do consumo energético da bateria do *smartphone*. Outros dois cenários são analisados considerando todo o sistema *mHealth*, sendo um em ambiente médico hospitalar e outro com paciente sendo monitorado em casa ou em ambiente externo.

5.1 Estudo de Caso 1: Disponibilidade das Interfaces de Comunicação na extra-BAN

No modelo Extra-BAN proposto na Seção 3.1 consideramos o uso de duas conexões para a comunicação do *gateway*: WiFi e móvel. A conexão de dados móvel atua em redes de longa distância. As torres de comunicação são as responsáveis pela transmissão dos dados. Por sua vez, a conexão WiFi é realizada por meio de um dispositivo roteador *wireless* que tem como finalidade receber a conexão do provedor de serviço de Internet e criar acesso a essa rede sem a necessidade de cabos. A origem dessa conexão pode ser um modem ADSL, antena, modem 3G, entre outros. Existe atualmente no mercado várias opções de equipamentos roteadores nos mais diversos valores. As diferenças de especificação geralmente estão atreladas a velocidade da conexão sem fio, potência das antenas, alcance, protocolos e faixas de frequência de operação.

Nesse estudo de caso foi analisado o uso de dois diferentes roteadores: um doméstico de pequeno porte e outro mais robusto. Para o modelo RBD da Figura 24 que representa os componentes da Extra-BAN, os parâmetros MTTF e MTTR do WiFi foram obtidos diretamente no site do fabricantes dos dispositivos roteadores doméstico (D-LINK, 2017) e robusto (D-LINK, 2016). As taxas referentes a rede móvel foram obtidas coletando o tempo de falha e reparo para torres de comunicação disponíveis em (COOPER; FARRELL, 2007). A Tabela 5 reúne todos esses parâmetros.

O cenário de referência representa o ambiente mais simplista funcionando com um roteador doméstico de pequeno porte e uma conexão 3G. Esta configuração está presente em grande parte das residências. Em alguns casos, o aparelho roteador é fornecido pela

Tabela 5 – Parâmetros de entrada para o modelo RBD Extra-BAN.

Componente	MTTF(h)	MTTR(h)
WiFi (roteador doméstico)	10000	1,6666
WiFi (roteador robusto)	30000	1,6666
Conexão móvel 3G	83220	12

operadora prestadora do serviço de banda larga. Em caso de falha do equipamento, a conexão móvel 3G é acionada para garantir a continuidade da comunicação. Nesse caso, estamos desprezando o tempo de ativação da conexão 3G. No cenário (2) a disponibilidade é calculada da mesma forma do cenário referência, no entanto, consideramos o uso de um roteador mais robusto. Equipamentos desse porte tem valores de tempo médio entre falhas maior em comparação com os modelos mais simples. No cenário (3), utilizamos um par de roteadores domésticos trabalhando em paralelo, e novamente em paralelo, uma conexão 3G, conforme ilustrado na Figura 30. A disponibilidade A_3 desse último cenário foi obtida por meio da Equação 5.1.

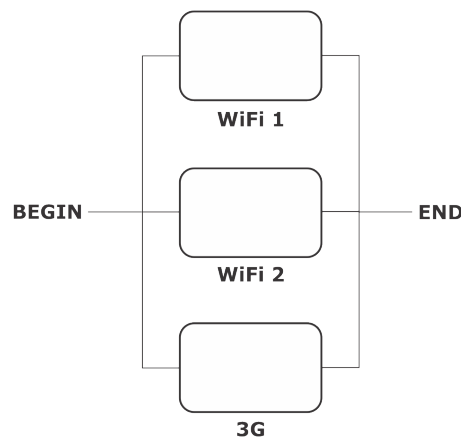


Figura 30 – Modelo RBD com uso de dois roteadores e conexão 3G.

$$A_3 = 1 - (1 - A_{3G}) \times (1 - (1 - A_{WiFi}) \times (1 - A_{WiFi})) \quad (5.1)$$

Confrontar os valores obtidos para as disponibilidades dos dois primeiros cenários com o terceiro permite avaliar até que ponto é interessante investir em um roteador com mais recursos, e conseqüentemente um custo de aquisição mais alto, ou então, optar por manter o sistema duplicado com aparelhos mais simples. Os valores calculados para MTTF, MTTR e número de 9's para os três cenários estão agrupados na Tabela 6. A última

coluna apresenta percentualmente o aumento da disponibilidade em número de 9's em relação ao cenário de referência.

Tabela 6 – Valores de MTTF, MTTR e número de 9's para os três cenários avaliados.

	MTTF(h)	MTTR(h)	Disponibilidade (9's)	Diferença
Cenário de Referência	84,292723673	0,002025	7,6193327	0%
Cenário 2	81,169118095	7,301711E-04	8,0964057	6,26%
Cenário 3	85,082072393	3,406041E-07	11,3975929	49,58%

A Figura 31 representa graficamente os resultados obtidos para a disponibilidade dos três cenários descritos anteriormente expressa em número de 9's. A substituição do roteador doméstico por um roteador robusto aumentou em 1 número de 9's a disponibilidade, ou 6,26% em relação ao cenário inicial. Entretanto, o último cenário com uso de dois roteadores domésticos em paralelo ao invés de um único roteador robusto, obtivemos um incremento no valor da disponibilidade em 49,58% em relação ao cenário de referência. Esse valor equivale a um tempo de *downtime* durante o ano de 3,50E-8 horas.

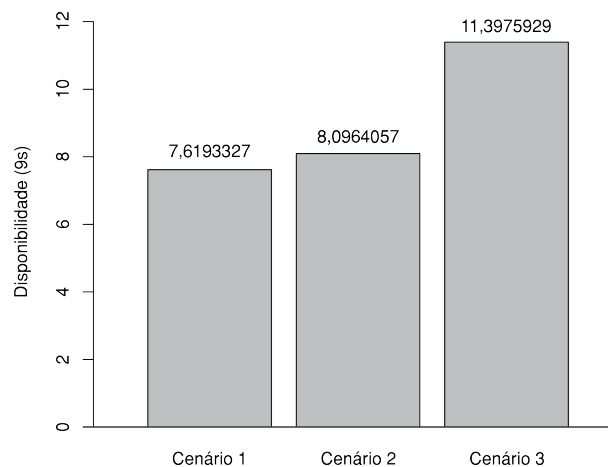


Figura 31 – Disponibilidade da Extra-BAN.

A escolha de um modelo ou outro de roteador é influenciado pelo custo de sua aquisição, economicamente falando a melhor alternativa é optar pelo equipamento que ofereça maior disponibilidade por um menor preço. Um mesmo produto pode sofrer variação de preço a depender do lugar em que se adquire, sendo influenciado por fatores como carga tributária e proximidade do centro de fabricação. Não é o foco desse trabalho analisar questões envolvendo custo, no entanto, considerando C o preço de um roteador doméstico simples e de acordo com as disponibilidades em número de 9's encontradas,

é possível mensurar o custo x benefício dos equipamentos. Enquanto o valor de dois roteadores simples ($2C$) não for maior que o custo de um roteador robusto, o cenário (3) sempre será a melhor opção, atrelando alta disponibilidade, redundância de equipamentos e menor custo de implementação. É importante deixar claro que a disponibilidade encontrada refere-se apenas a extra-BAN. Ao calcular a disponibilidade de todo o sistema, esse valor será necessariamente menor. Por isso, é importante manter uma disponibilidade elevada nesse componente.

5.2 Estudo de Caso 2: Consumo Energético

O segundo estudo de caso se propõe a avaliar o impacto das mudanças promovidas no modelo de bateria proposto por Oliveira et al. (2013) e Oliveira e Maciel (2014) e detalhado na Seção 4.1.1. A descarga da bateria é representada por uma CTMC de onze estados, com taxa de descarga de 10% com o dispositivo móvel em uso. O modelo considera que o usuário sempre possui uma bateria reserva para substituição da bateria que está totalmente sem carga. Além disso, não é possível recarregar a bateria parcialmente. A Figura 34 ilustra esse modelo.

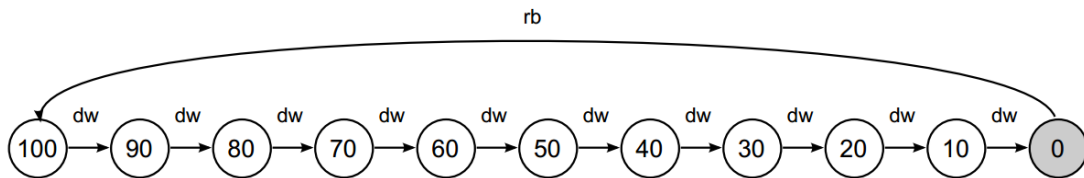


Figura 32 – Modelo de disponibilidade de bateria proposto por Oliveira e Maciel (2014).

Neste modelo dw é a taxa para descarga de 10% da bateria com dispositivo em uso e rb representa a taxa de substituição da bateria descarregada. Substituindo a notação utilizada na Fórmula 4.7 obtemos a fórmula matematicamente equivalente expressa em 5.2. No modelo em questão, a probabilidade de possuir uma bateria reserva é sempre 1 e a probabilidade de recarregar a bateria parcialmente tem valor 0. Os valores para dw e rb são respectivamente 1/0,9 e 12. O resultado da disponibilidade calculado pela fórmula proposta é equivalente a valor encontrado do modelo da Figura 34.

$$A = 1 - \frac{(dw)^{n-1}}{\sum_{i=0}^n ((dw)^{(n-1-i)}(\rho\beta)^i) + \omega(rb) \sum_{i=0}^{n-2} ((n-1-i)(dw)^{(n-2-i)}(\rho\beta)^i)} \quad (5.2)$$

O modelo de avaliação do consumo energético proposto nesse estudo considera a possibilidade de recarregar a bateria do dispositivo móvel em qualquer um dos estados de carga. Caso não seja possível, somente então a bateria é substituída. Essa medida eleva a disponibilidade desse componente. Como parte integrante do *smartphone*, esse também tem sua disponibilidade ampliada, e conseqüentemente, a disponibilidade de todo o sistema também aumenta.

Para encontrar os valores para descarga de 10% da bateria do *dispositivo móvel* foram realizadas medições para aferir o tempo gasto nesse processo. Para esse estudo, foi utilizado um *smartphone* Tp-Link Neffos Y5 executando sistema operacional Android 6.0 Marshmallow. As especificações do aparelho foram detalhadas na Seção 3.4. Para as medições, consideramos o aparelho com brilho de tela 50%, tela sempre ligada, conexão Bluetooth ativada e aplicação sendo executada enviando e recebendo dados de uma nuvem pública. Esse procedimento foi repetido para encontrar valores referentes a taxa de descarga de 10% utilizando conexão WiFi e móvel 3G. O mesmo experimento foi realizado, dessa vez para encontrar a taxa de carga de 10% da bateria utilizando um carregador de *smartphone* comum. Para esse caso, encontramos um tempo médio de 17 minutos para a carga parcial de 10%. A explicação do experimento de medição está descrito na Seção 3.4.

Utilizando a fórmula 4.7 para cálculo da disponibilidade da bateria, comparamos os valores encontrados para o modelo proposto nesse trabalho em relação ao resultados obtidos em (OLIVEIRA; MACIEL, 2014), utilizando os mesmos parâmetros. O diferencial do nosso modelo é a adição das probabilidades de carga parcial. Ao propor probabilidades para ações que interferem na descarga da bateria, mais abrangente se torna o estudo. Para esse caso, o parâmetro β é necessário e representa a taxa de carregamento de 10% da bateria do dispositivo móvel utilizando determinado tipo de conexão. A disponibilidade do modelo proposto aumentou 3,91 número de 9's em relação ao modelo . O gráfico da Figura 33 apresenta esse comparativo, onde consideramos "cenário A" o proposto em Oliveira e Maciel (2014) e "cenário B" o nosso modelo.

O modelo proposto para o consumo energético vai influenciar os resultados da análise da disponibilidade dos próximos dois estudos de caso. As fórmulas apresentadas na Seção 4.1.1 adotam parâmetros que sugerem probabilidades de ocorrência de determinado evento. Os valores para os parâmetros ρ , ω expressam respectivamente: probabilidade de carga do dispositivo móvel e probabilidade do usuário possuir uma bateria reserva

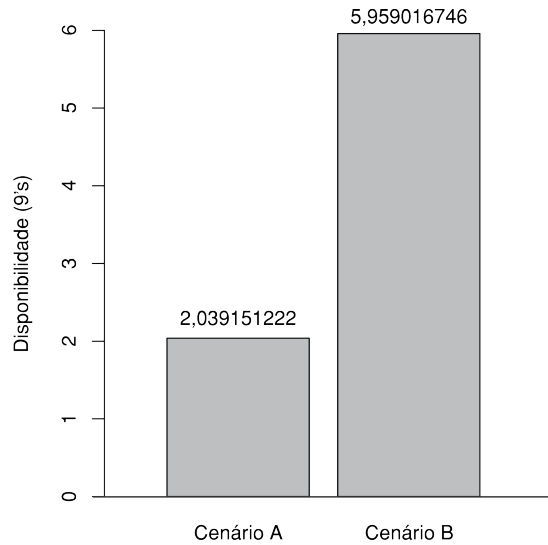


Figura 33 – Comparativo da disponibilidade da bateria em número de 9's.

para substituição. A depender do cenário, teremos diferentes valores que influenciam nos resultados finais de disponibilidade encontrados. A definição desses valores será estimada de acordo com cada ambiente.

5.3 Estudo de Caso 3: Ambiente Médico Hospitalar

O presente estudo de caso considera um cenário médico hospitalar dotado de infraestrutura para comunicação de dados e gerador de energia elétrica adequado de forma a não depender única exclusivamente de alimentação externa para seu funcionamento. A conexão de rede é ampla com equipamentos roteadores sem fio espalhados por todo o ambiente hospitalar de forma a garantir conectividade ininterrupta e com velocidade de conexão adequada à demanda. Profissionais médicos estão em constante movimentação dentro desse ambiente de posse dos seus dispositivos móveis, utilizado a rede local WiFi, recebendo informações e alertas do monitoramento de seus pacientes. Pontos de energia estão disponíveis permitindo a recarga da bateria do dispositivo móvel.

Apesar da cobertura do serviço de rede WiFi, os constantes deslocamentos dentro do ambiente podem ocasionar por alguns momentos a interrupção dessa conexão, devido a transição da área de cobertura de um roteador para outro. Nesse momento, a conexão móvel 3G pode ser utilizada para garantir a conectividade do dispositivo móvel. Além disso, o hospital pode conter áreas sem conexão, como salas de raio-x que são blindadas para evitar o vazamento de radiação.



Figura 34 – Paciente sendo monitorado em centro hospitalar

Como descrito acima, vários fatores podem influenciar nos parâmetros de conectividade dentro de um ambiente hospitalar. Para esse estudo de caso utilizamos estimativas de probabilidade de uso de cada conexão disponível. Entretanto, é possível realizar uma análise específica do ambiente, com base em informações referentes a especificação e local de instalação dos dispositivos roteadores. A área de cobertura de todo o espaço pode ser mapeada, considerando os espaços com maior trânsito de pessoas e a partir desse levantamento, encontrar as probabilidades que se aproximem fielmente da realidade do cenário. Essa possibilidade é discutida na Seção 3.5.

Na tentativa de abranger mais possibilidades, em vez de definir valores fixos para as estimativas de probabilidades, convencionamos cinco faixas de valores de probabilidades classificadas em: baixa, média-baixa, média, média-alta e alta. Para cada faixa foi definido um intervalo de valores conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Convenção de faixa de valores para probabilidades.

Probabilidade	
Baixa	[0,0;0,2]
Média-baixa	(0,2;0,4]
Média	(0,4;0,6]
Média-alta	(0,6;0,8]
Alta	(0,8;1,0]

Nesse estudo de caso, o cenário descrito contempla o uso de parâmetros para estimar a probabilidade do usuário poder recarregar a bateria do seu dispositivo móvel e a probabilidade de possuir bateria reserva. Pelo cenário contemplar um ambiente hospitalar, convencionamos uma faixa de probabilidade alta de existir pontos de tomada de energia nesse ambiente, além de uma probabilidade alta do hospital dispor de baterias reservas para serem substituídas nos equipamentos dos profissionais de saúde. A probabilidade do uso da rede local é considerada alta, com baixa probabilidade de uso de conexão móvel ou ausência de conectividade. Partindo do modelo geral apresentado na Seção 4.1, o comportamento de cada componente desse cenário é descrito.

Na representação do componente Sensor, obtivemos na literatura parâmetros de MTTF e MTTR para cinco diferentes tipos de sensores: acelerômetro, giroscópio, magnetômetro, monitor de pressão arterial e eletrocardiograma (ECG). Em caso de falha de um sensor, foi adotado um tempo de 5 minutos para sua recuperação, intervalo de tempo suficiente para reiniciar seus controladores ou o próprio *smartphone* caso sejam utilizados os sensores disponíveis no aparelho. A Tabela 8 reúne os parâmetros utilizados. Os valores para acelerômetro, giroscópio e magnetômetro foram obtidos em (PEIRAVI; FARAH, 2010). Para o monitor de pressão arterial e ECG os dados foram extraídos de (MEDIZINTECHNIK, 2017) e (LTD, 2017) respectivamente.

Tabela 8 – Parâmetros de entrada pra o componente Sensor.

Componente	MTTF(h)	MTTR(h)
Acelerômetro	49181	0,083333
Giroscópio	21844	0,083333
Magnetômetro	50000	0,083333
Pressão	40000	0,083333
ECG	10000	0,083333

O acelerômetro tem como função medir a aceleração de um corpo em relação a gravidade. Para fins de saúde, sua principal aplicação é acompanhar o nível de atividade física do usuário, podendo reduzir o risco de doenças crônicas. O giroscópio usa a força da gravidade para encontrar a posição de um objeto no espaço podendo gravar a velocidade angular para determinar a orientação. Magnetômetro detecta o campo magnético da Terra para encontrar a orientação relativa de um objeto em relação ao norte magnético

do planeta, aprimorando os resultados com auxílio do GPS (STANKEVICH et al., 2012). Os *smartphones* mais modernos já trazem em seu hardware esses sensores, além de outros capazes de detectar umidade, temperatura e luminosidade e podômetro (calcular a quantidade de passos). Por se tratar de um ambiente hospitalar, em que sensores médicos específicos para esse fim monitoram o paciente, vamos desconsiderar o uso de acelerômetro, giroscópio e magnetômetro.

Nesse estudo, consideramos o uso de sensor de pressão arterial e eletrocardiograma. O sensor de pressão arterial tem como função aferir a pressão exercida pelo sangue dentro dos vasos sanguíneos. Seu funcionamento baseia-se na detecção de batimentos cardíacos e emprega um método oscilométrico simples que determina a pressão sanguínea sistólica e diastólica. A medida é baseada na ideia de mudanças na amplitude dos batimentos cardíacos (SILVA, 2013). O sensor de eletrocardiograma realiza a avaliação elétrica da atividade cardíaca. Os dados coletados são registrados em gráficos e comparados com gráficos de resultado padrão, indicando o estado de normalidade ou alteração dos músculos e nervos do coração (LTD, 2017). No ambiente hospitalar, a comunicação entre sensores ocorre comumente por meio de protocolo de comunicação Zigbee (APPADURAI; KR, 2016) e seus parâmetros obtidos em (AUTOMATION, 2017). Para fim de comparação, será utilizado também o protocolo *Bluetooth*, onde os parâmetros foram obtidos em (PEIRAVI; FARABI, 2010). Esses valores são resumidos na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetro de entrada para a extra-BAN.

Protocolo	MTTF(h)	MTTR(h)
Zigbee	2542774	0,083
Bluetooth	1000000	0,083

Outros tipos de sensores são amplamente utilizados em centros hospitalares para monitoramento de sinais vitais, no entanto, não foram encontrados na literatura especificações de tempo de falha e recuperação. O modelo discutido na Seção 4.1 trabalha com um número n de sensores, dessa forma, caso sejam disponibilizados tais informações, outros sensores podem ser envolvidos para cálculo da disponibilidade. Os demais sensores serão utilizados no próximo estudo de caso.

A Tabela 10 agrupa os parâmetros de entrada para o dispositivo móvel. O MTTF e MTTR do *hardware* móvel foi estimado baseado no relatório sobre estado de desempenho e

saúde de dispositivos móveis apresentado em (CLAWSON, 2016). Os MTTF e MTTR do sistema operacional e aplicação móvel foram obtidos em (KIM et al., 2009). Os valores para o componente bateria foram obtidos pela CTMC proposta na Seção 5.2 com parâmetros de entrada resumidos na Tabela 11. Os valores para as taxas de descarga de 10% da bateria do dispositivo móvel utilizando WiFi e 3G foram obtidas por meio das medições realizadas com o *smartphone* e descritas na Seção 3.4. Por se tratar de um ambiente hospitalar, consideramos como altas as probabilidades (tabela 7) ρ de recarga do dispositivo móvel e ω de possuir bateria reserva.

Tabela 10 – Parâmetros de entrada para o dispositivo móvel.

Componente	MTTF(h)	MTTR(h)
Hardware (HW)	19909,09	1,6666
Sistema Operacional (SO)	1440,9	0,033
Aplicação Móvel (APP)	336,7	0,01666

Tabela 11 – Parâmetro de entrada para disponibilidade da bateria.

Parâmetro	Valor
α WiFi	0,9605 h^{-1}
α 3G	1,1984 h^{-1}
β	3,5294 h^{-1}
γ	12 h^{-1}
ρ	[0,81;1]
ω	[0,81;1]

Para o componente extra-BAN, por se tratar de um ambiente hospitalar, consideramos o uso de roteador robusto em vez de roteador doméstico simples. O valor da disponibilidade para esse componente foi calculado no estudo de caso presente na Seção 5.1. Os valores dos parâmetros de MTTF e MTTR para o ambiente Nuvem foram obtidos no estudo realizado por (DANTAS et al., 2012) e são apresentados na Tabela 12.

Os valores calculados para as disponibilidades de cada componente estão agrupados na Tabela 13. Omitimos o componente *smartphone* por ele envolver faixas de probabilidade em seu cálculo em vez de um valor fixo. Esse resultado será melhor apresentado diretamente no gráfico, acompanhando o comportamento da disponibilidade variando as probabilidades atribuídas.

Tabela 12 – Parâmetros de entrada para a nuvem.

Componente	MTTF(h)	MTTR(h)
MCHW	8760	1,6666
MCSO	2893	0,25
MCKVM	2990	1
MCSOVM	2893	0,25
MCAPP	788	1

Tabela 13 – Métricas calculadas para os componentes do presente estudo de caso.

	MTTF	MTTR	Disponibilidade	Número de 9's
Sensor	8000	0,083	0,99998962	4,9840
Intra-BAN	2542773,7472	0,083	0,99999996	7,4862
Extra-BAN	91169,1180	7,30200E-4	0,99999999	8,0964
Nuvem	415,1164	0,8168	0,99803625	2,7069

Considerando as probabilidades do usuário poder carregar a bateria do dispositivo móvel e probabilidade possuir bateria reserva para substituição, a Figura 35 mostra o comportamento da disponibilidade em número de 9's em função dessas duas probabilidades. Nesse caso foi estimada uma faixa de probabilidade alta para os dois parâmetros, ou seja, de acordo com a Tabela 7, intervalo entre 0,81 e 1. Na mesma figura, o gráfico a direita destaca os resultados obtidos pela faixa de probabilidade adotada.

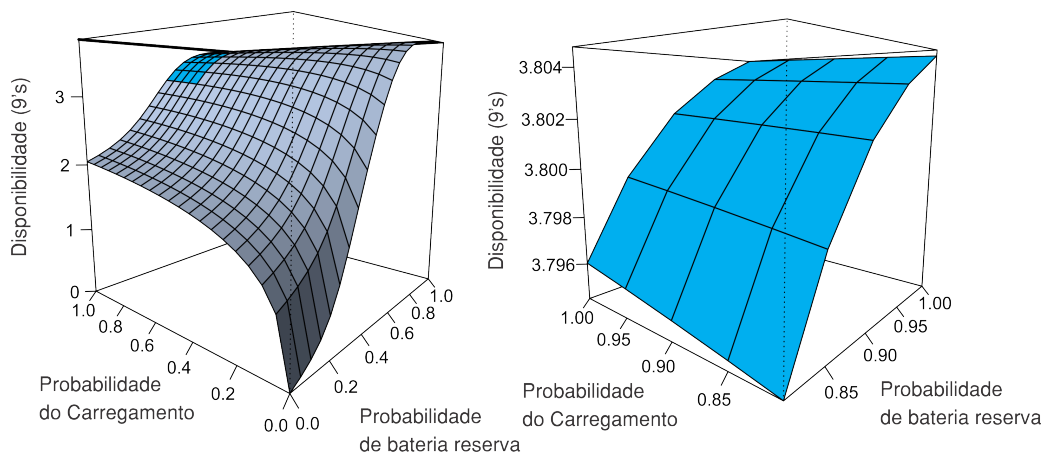


Figura 35 – Disponibilidade do sistema por probabilidade do carregamento e da bateria reserva.

O incremento das probabilidades de carregamento e bateria reserva elevam a disponibilidade do sistema. Entretanto, quando esses valores de probabilidade são baixos,

a disponibilidade atinge níveis pouco confiáveis para sistemas críticos. Esse mesmo cálculo foi feito utilizando os parâmetros do protocolo *Bluetooth* em vez de Zigbee, apresentando resultados muito próximos, tendo pouco influência na disponibilidade final do sistema analisado.

5.4 Estudo de Caso 4: Ambiente Domiciliar ou ao Ar Livre

O quarto estudo de caso considera monitoramento de paciente fora do ambiente hospitalar. Existe uma potencial viabilidade de aplicações para *smartphone* no cuidado de pessoas idosas, pacientes que sofrem de transtorno depressivo, transtorno bipolar, transtorno de ansiedade, abuso de substâncias e perturbações psicóticas (DONKER et al., 2013; BERROUIGUET et al., 2016), podendo em alguns casos serem tratados em casa (ALVES et al., 2004). A ocorrência de uma patologia qualquer em um indivíduo já portador de outra doença, com a possibilidade de potencialização recíproca entre estas, é conhecida como comorbidade (ALVES et al., 2004). Pacientes que sofrem dessas limitações são muitas vezes tratados fora do ambiente médico, comparecendo ao centro hospitalar apenas em casos de agravamento do quadro clínico. Neste cenário, modernos sistemas de comunicação representam um grande apoio para implementar plataformas de vida assistida (AAL), monitorando pacientes e permitindo a integração de unidade heterogêneas de sensoriamento, dispositivos médicos e acesso constante aos dados coletados (BISIO et al., 2015).

Nesse ambiente, consideramos o possível uso de conexão WiFi de banda larga disponível na casa do paciente monitorado, como também possa existir apenas rede de dados 3G. Sensores podem estar presentes não só no corpo do paciente, mas também distribuídos entre os cômodos do recinto. Objetos também podem receber sensores, por exemplo, uma cama pode informar se um indivíduo está ou não deitado sobre ela. O *smartphone* está em constante comunicação com os sensores recebendo e monitorando dados. É possível identificar se o paciente está sozinho ou acompanhado, reconhecer o cuidador e identificar a atividade física desempenhada por ele. Recursos de áudio, interfaces de rede e sensores de localização são utilizados para identificar tais fenômenos (BISIO et al., 2015), os quais estão presentes na maioria dos *smartphones*.

Outra situação é o monitoramento do paciente fora do ambiente de casa em campo aberto, podendo estar dirigindo ou fazendo uma caminhada. Nesse cenário, a bateria do *smartphone* é novamente um ponto crítico, já que a probabilidade de existir um ponto de energia para realizar a recarga é baixo. Alternativas como baterias portáteis do tipo *power bank* estão se popularizando com preço cada vez mais acessível. Esse tipo de equipamento possui uma porta de entrada de energia (para recarregar o *power bank*) e uma ou duas portas de saída de energia para recarregar o dispositivo móvel. A Figura 36 ilustra esse cenário, onde temos um usuário praticando atividade física portando seu *smartphone* e um *power bank*. Sensores podem estar dispostos em seu corpo ou utilizar os sensores existentes no dispositivo móvel. A comunicação intra-BAN entre sensores e o dispositivo móvel é realizada por *Bluetooth*. Por estar em movimento em ambiente aberto, a conexão é realizada utilizando redes móveis 3G ou 4G, onde os dados coletados são enviados para a nuvem.

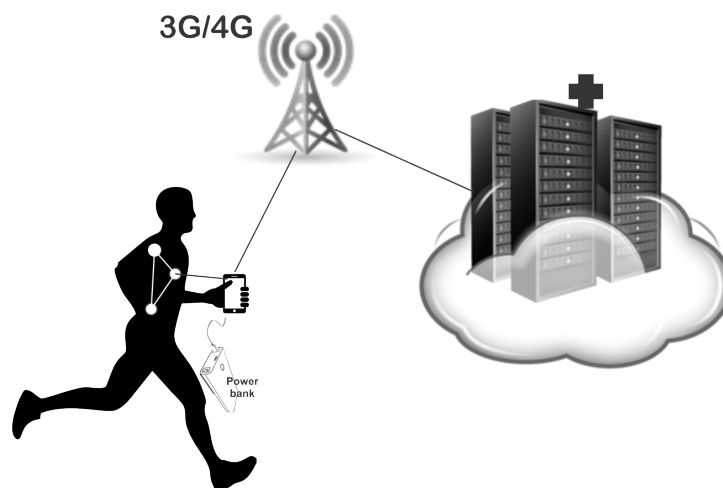


Figura 36 – Paciente sendo monitorado em movimento

Considerando o ambiente descrito, vamos detalhar o comportamento de cada componente do sistema em questão. Os parâmetros de entrada para sensores, extra-BAN e nuvem são os mesmos dos estudo de caso da Seção 5.3. Para a comunicação intra-BAN, o protocolo *Bluetooth* tem seus parâmetros de entrada descritos na Tabela 9. Como citado no estudo de caso anterior, o uso de *Bluetooth* ou *Zigbee* pouco influencia o resultado da disponibilidade do sistema. Por se tratar de um cenário doméstico, consideramos o uso de um roteador mais simples, descrito no estudo de caso da Seção 30. Nesse estudo, todos os cinco sensores são utilizados, tanto os presentes no *smartphone* como os existentes em dispositivos *wearables*.

Nesse cenário, o uso de *power bank* é uma medida importante para aumentar a disponibilidade do sistema. Na literatura não foram encontrados dados referentes ao tempo de recarga utilizando esse tipo de bateria auxiliar, por esse motivo, foram realizadas medições com um *power bank* modelo Pineng PN-968 (PINENG, 2017) para encontrar os referidos valores. Foram realizadas 30 recargas sempre de 90% a 100% em um *smartphone* Android e registrados todos os tempos, procedimento igual ao descrito na Seção 3.4.

Nesse estudo de caso, consideramos que não existe ausência de conexão, ou seja, caso o usuário não tenha disponível rede local WiFi, admitimos que toda a cidade é coberta por rede móvel 3G ou 4G. Esse estudo da caso pode então ser dividido em 2 cenários:

1. **Paciente monitorado em casa:** em seu domicílio, estima-se uma probabilidade alta para disponibilidade de conexão local WiFi e disposição de pontos de energia para recarga do aparelho.
2. **Paciente monitorado em ambiente aberto:** em campo aberto a probabilidade de uso de conexão WiFi é baixa, a conexão é realizada por redes móveis 3G, o que ocasiona uma taxa de descarga de bateria diferente. A probabilidade do usuário possuir uma bateria reserva carregada para substituição também consideramos como baixa.

A Tabela 14 resume os valores de MTTF, MTTR, disponibilidade e número de 9's dos componentes comum aos 2 cenários desse estudo.

Tabela 14 – Métricas calculadas para os componentes do presente estudo de caso.

	MTTF	MTTR	Disponibilidade	Número de 9's
Sensor	4736,8172	0,083	0,99998247	4,7564
Intra-BAN	999999,9031	0,083	0,99999991	7,0809
Extra-BAN	84292,7236	0,0020	0,99999997	7,6193
Nuvem	415,1164	0,8168	0,99803625	2,7069

Para calcular a disponibilidade da bateria, utilizamos os dados presentes na Tabela 15. Os parâmetros para descarga via WiFi (α WiFi) e 3G (α 3G) são os mesmos utilizados no estudo de caso anterior. Para a taxa de carregamento, o valor foi obtido por meio das medições realizadas com o *power bank*. A taxa para substituição da bateria (γ) permanece a mesma. As mudanças ocorrem nas probabilidades de cada cenário. Para o monitoramento domiciliar, adotamos uma probabilidade alta para a carregamento do *smartphone* e uma

probabilidade baixa para o usuário possuir uma bateria reserva, levando em consideração que esse não é um hábito comum a usuários domésticos. A probabilidade de uso de conexão local WiFi também é considerada alta. Para o ambiente aberto, estimamos uma probabilidade média-alta do usuário poder recarregar o dispositivo móvel utilizando *power bank*, probabilidade baixa de possuir bateria reserva e alta para uso de conexão móvel 3G.

Tabela 15 – Parâmetros de entrada para disponibilidade da bateria.

Parâmetro	Valor	
	Monitoramento domiciliar	Monitoramento em campo aberto
α WiFi	0,9605	0,9605
α 3G	1,1984	1,1984
β	3,5294	2
γ	12	12
ρ	[0,81;1]	[0,61;0,80]
ω	[0;20]	[0;20]
P(WiFi)	[0,81;1]	[0;20]
P(3G)	[0;20]	[0,81;1]

A Figura 37 apresenta o comportamento da disponibilidade do sistema, tanto em ambiente domiciliar como em locais abertos, em função da probabilidade do carregamento e probabilidade do usuário possuir bateria reserva. Dentro do cenário domiciliar consideramos probabilidade alta de conexão local WiFi e probabilidade alta de carregamento. Para usuários em campo aberto, a conexão móvel 3G é a mais utilizada, o que ocasiona um maior consumo de bateria em relação ao WiFi. Nesse ambiente, o mais comum é o uso de carregadores portáteis do tipo *powerbank*, que efetuam a mesma atividade de um carregador de parede comum, mas com uma velocidade inferior. Por esses motivos, a disponibilidade representada em número de 9's no ambiente aberto é menor que no primeiro cenário. A variação da disponibilidade nesses cenários são representados pelas Figuras 36(a) e 36(b).

Em sistemas críticos é desejável ao menos 5 números de 9's de disponibilidade. No cenários analisados desse estudo de caso, o máximo alcançado é próximo de 3 número de 9's. Portanto, um estudo foi feito para identificar quais componentes possuem maior impacto na disponibilidade do cenário proposto. Usando como referência o ambiente domiciliar, fixamos em 1 os valores das probabilidades de possibilidade de recarga e bateria

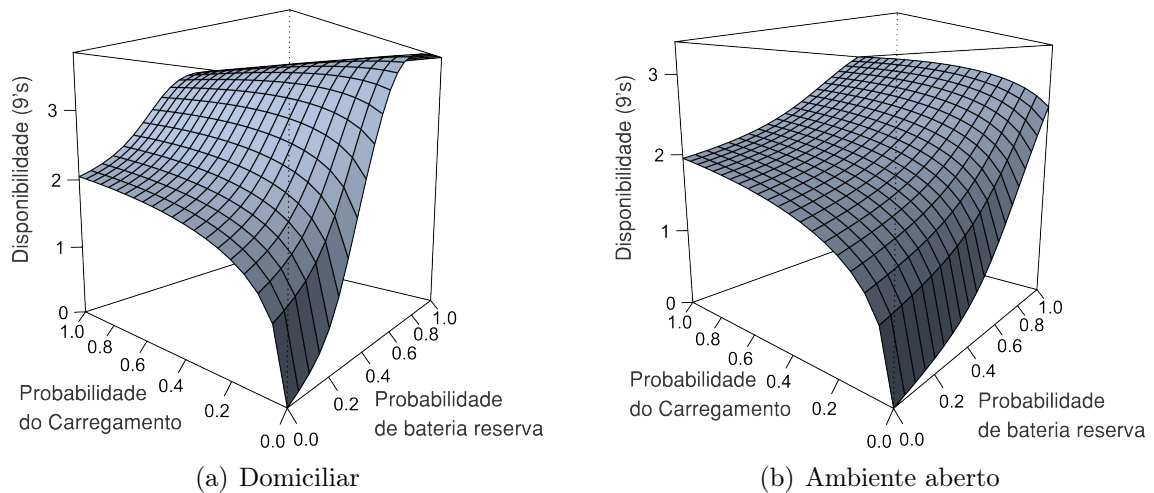


Figura 37 – Comportamento da disponibilidade do sistema em diferentes ambientes.

reserva. Os valores apresentados para as medidas de importância são mostrados no gráfico da Tabela 16.

Tabela 16 – Medida de importância para o sistema analisado.

Componente	Medida de importância
Nuvem	0,9999648730782158
Smartphone	0,9980186803554784
Sensor	0,9980186803554777
Intra-BAN	0,9980012757926249
Extra-BAN	0,998001192962521

Os componentes que mais impactam a disponibilidade são o ambiente de nuvem, *smartphone* e sensores. Nesse estudo de caso, algumas soluções podem ser adotadas para aumentar a disponibilidade e alcançar o padrão convencional para sistemas críticos. Para usuários comuns, a adoção de baterias portáteis do tipo *power bank* que seriam utilizadas não somente em campo aberto, mas também se houver queda da energia elétrica em ambiente fechados. O carregador de parede também precisa estar presente, e pode ser substituído por carregadores de “carga rápida”. Esses novos aparelhos prometem carga até 40% mais rápido que os carregadores comuns. Outra possibilidade, com um custo pouco mais alto, é o usuário ter um *smartphone* reserva, o que atenderia problemas não só com a bateria, mas também falhas em *hardware* e *software* do aparelho titular. A extra-BAN, no estudo de caso apresentado na Seção 5.1, já foi reorganizada com a sugestão de aquisição

de um par de roteadores simples para trabalharem em paralelo. Na configuração proposta para os sensores, a escolha foi feita sobre o caso mais extremo, onde todos os sensores são essenciais no monitoramento, e por esse motivo, a falha de um único sensor acarreta a falha de todo o sistema.

5.5 Considerações Finais do Capítulo

Nesse capítulo apresentamos quatro estudos com variações do cenário de referência. Nos três últimos casos, em vez de utilizar valores fixos para a chance de ocorrer determinado evento, adotamos faixas de valores de probabilidade com apresentação dos resultados graficamente. No próximo capítulo apresentaremos as considerações finais dessa pesquisa.

6 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

A Internet das Coisas (IoT) consiste numa rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e sistemas computacionais integrados que permite a comunicação e a interação com ambientes internos e externos. O desenvolvimento da IoT na área da saúde, através do uso de *smartphones*, pode trazer benefícios para os profissionais de saúde e pacientes, reduzindo custos ao mesmo tempo em que permite o monitoramento do paciente e auxilia no controle e prevenção de patologias.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o funcionamento de sistemas de mHealth com sensores em uma rede de área corporal. Para representação de seus componentes, foram propostos modelos utilizando diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) e cadeias de Markov de tempo contínuo (CTMC). Os principais elementos considerados pelos modelos foram: paciente monitorado por sensores sem fio, comunicação intra-BAN, dispositivo móvel, comunicação extra-BAN e o ambiente de computação em nuvem.

Na análise da disponibilidade da bateria do dispositivo móvel, as modificações realizadas em relação ao modelo proposto por Oliveira e Maciel (2014) promoveram um aumento da disponibilidade do componente em 3,91 número de 9's. Uma das mudanças deste modelo específico, foi a inclusão da probabilidade de carregamento do *smartphone* em qualquer estágio de carga de sua bateria. Telas de alta resolução, conectividade constante com múltiplas interfaces de comunicação, chips gráficos e unidades de processamento cada vez mais velozes são alguns dos responsáveis pelo alto consumo de energia desses dispositivos. Para não ficar com o aparelho indisponível, é prática comum dos usuários levar consigo seus carregadores de parede ou até mesmo fazer uso de baterias portáteis do tipo *power bank*, ou seja, a mudança proposta no modelo já corresponde a uma prática comum de boa parte dos usuários. Assim, foi possível avaliar o impacto desta prática na disponibilidade dos sistemas.

Ao tentar encontrar a fórmula fechada para a CTMC que representava a descarga da bateria do *smartphone*, verificou-se que os limites impostos pelo poder computacional da máquina utilizada impediram a ferramenta de concluir o processo com êxito para uma cadeia de 11 estados. A partir da análise do comportamento da fórmula gerada com cadeias menores, foi deduzida uma fórmula geral para cálculo da disponibilidade da bateria, dispensando o uso do modelo de CTMC, podendo alcançar resultados mais próximos

do real, com menor custo computacional. Além disso, a equação obtida permite aferir condição extra, podendo tratar representações de CTMC para descarga de bateria com diferente número de estados.

Para a comunicação extra-BAN, o uso de dois roteadores domésticos mais simples pode aumentar a disponibilidade das interfaces de comunicação. Desta forma, torna-se uma alternativa de baixo custo principalmente para ambientes domésticos, sendo desnecessário recorrer a equipamentos mais robustos e de valor mais alto. Foram avaliados estudos de caso de aplicação de sistemas *mHealth* envolvendo diferentes ambientes, como o monitoramento do paciente tanto dentro quanto fora do complexo hospitalar. Para pacientes dentro da unidade hospitalar, que é dotada de infraestrutura de interfaces de comunicação e energia, os resultados mostram disponibilidade alcançando 4 números de 9's. Já quando são monitorados em casa, que comumente utilizam a rede WiFi local e possibilidade de carregamento com pontos de tomada disponíveis, esta disponibilidade próximo de 4 número de 9's. Os cenários mais críticos ocorrem quando o monitoramento ocorre em campo aberto, onde é recomendado que o paciente possua carregadores portáteis do tipo *power bank* ou mesmo um segundo *smartphone* para substituição em caso de falha do primeiro. Além da bateria, a ausência de conexão WiFi também contribui para a baixa disponibilidade desse cenário.

Os resultados do estudo da disponibilidade podem ajudar a mantenedores de sistemas *mHealth* a dimensionar o ambiente dependendo da criticidade do cenário. Partindo de uma disponibilidade desejada, ou definida através de um contrato de nível de serviço, é possível analisar quais componentes mais impactam na disponibilidade e propor medidas de redundância a fim de melhorar os resultados obtidos.

6.1 Contribuições

Além das conclusões obtidas por esse estudo, pode-se destacar algumas contribuições desse trabalho:

- Concepção de modelos envolvendo redes de área corporal sem fio (WBAN) com monitoramento via sensores.
- Avaliação da disponibilidade utilizando protocolos Zigbee ou Bluetooth na comunicação intra-BAN e o impacto na disponibilidade do sistema como um todo.

- Realização de testes utilizando diferentes especificações de dispositivos roteadores sem fio e a interferência na disponibilidade da comunicação extra-BAN.
- Proposta metodologia para estimar valores de probabilidades de uso de determinado tipo de conexão e parâmetros que podem ser variados dentro do cenário avaliado na tentativa de aumentar a disponibilidade.
- Extensão da modelagem da bateria proposta por Oliveira e Maciel (2014) com inclusão da possibilidade de carga parcial desse componente em qualquer momento. Assim, foi proposta uma fórmula fechada para o cálculo da disponibilidade da bateria.
- Foram realizados experimentos para avaliar a autonomia da bateria do dispositivo móvel com medições de tempo de descarga utilizando comunicação WiFi e 3G. Além disso, também foi aferido o tempo de carga utilizando carregador comum de parede e *powerbank*.

6.2 Trabalhos Futuros

O foco do trabalho foi a análise de disponibilidade em ambientes mHealth com rede corporal de sensores sem fio (WBAN). Além dos resultados obtidos, o trabalho pode ser estendido futuramente abordando outros tópicos que fogem do escopo dessa pesquisa.

- Analisar atributos de dependabilidade relacionados à segurança e integridade das informações que circulam dentro de uma WBAN. As interceptações desses dados podem revelar informações pessoais sobre a condição clínica de determinado paciente, o que não é desejável;
- Estudar sobre a interferência de variáveis do ambiente sob as medições realizadas pelos sensores, evitando falhas e garantindo maior precisão nos dados coletados;
- Estender os modelos RBD propostos agregando outros componentes de hardware e software, tornando a modelagem ainda mais precisa;
- Utilizar autômatos celulares para realizar o monitoramento e obtenção das probabilidades de cobertura de rede em ambientes complexos, como no caso do uso de redes de sensores em fio;
- Avaliar os custos financeiros relacionados com as estratégias de redundância adotadas.

Referências

- ABOLFAZLI, S.; SANAEI, Z.; AHMED, E.; GANI, A.; BUYYA, R. Cloud-based augmentation for mobile devices: motivation, taxonomies, and open challenges. **Communications Surveys & Tutorials, IEEE**, IEEE, v. 16, n. 1, p. 337–368, 2014.
- ACAMPORA, G.; COOK, D. J.; RASHIDI, P.; VASILAKOS, A. V. A survey on ambient intelligence in healthcare. **Proceedings of the IEEE**, IEEE, v. 101, n. 12, p. 2470–2494, 2013.
- AEPONA. Mobile cloud computing solution brief. **AEPONA**, 2010.
- ALTIOK, T.; MELAMED, B. **Simulation modeling and analysis with Arena**. [S.l.]: Academic press, 2010.
- ALVES, H.; KESSLER, F.; RATTO, L. R. C. Comorbidity: alcohol use and other psychiatric disorders. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, SciELO Brasil, v. 26, p. 51–53, 2004.
- AMENDOLA SARA E LODATO, R. e. M. S. e. O. C. e. M. G. tecnologia rfid para cuidados pessoais baseados em iot em espaços inteligentes. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, 2014.
- APPADURAI, A.; KR, D. Performance analysis of zigbee and owc in wireless body area network. **small**, v. 5, n. 3, 2016.
- ARAUJO, J.; MATOS, R.; CONCEIÇÃO, V.; ALVES, G.; MACIEL, P. Impact of capacity and discharging rate on battery life time: A stochastic model to support mobile device autonomy planning. **Pervasive and Mobile Computing**, Elsevier, v. 39, p. 180–194, 2017.
- ARAUJO, J.; SILVA, B.; OLIVEIRA, D.; MACIEL, P. Dependability evaluation of a mhealth system using a mobile cloud infrastructure. In: IEEE. **2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. [S.l.], 2014. p. 1348–1353.
- ARORA, S.; YTTRI, J.; NILSEN, W. Privacy and security in mobile health (mhealth) research. **Alcohol research: current reviews**, National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism, v. 36, n. 1, p. 143, 2014.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- AUTOMATION, M. Y. T. P. in. **NPort Z2150 Series**. 2017. Disponível em: <http://www.moxa.com/product/NPort_Z2150.htm>.
- AVIŽIENIS, A.; LAPRIE, J.-C.; RANDELL, B.; LANDWEHR, C. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. **Dependable and Secure Computing, IEEE Transactions on**, IEEE, v. 1, n. 1, p. 11–33, 2004.
- BAIER, C.; HAVERKORT, B.; HERMANN, H.; KATOEN, J.-P. Model-checking algorithms for continuous-time markov chains. **IEEE Transactions on software engineering**, IEEE, v. 29, n. 6, p. 524–541, 2003.

BANOS, O.; VILLALONGA, C.; DAMAS, M.; GLOESEKOETTER, P.; POMARES, H.; ROJAS, I. Physiodroid: Combining wearable health sensors and mobile devices for a ubiquitous, continuous, and personal monitoring. **The Scientific World Journal**, Hindawi Publishing Corporation, v. 2014, 2014.

BARABADY, J. **Improvement of system availability using reliability and maintainability analysis**. Tese (Doutorado) — Luleå tekniska universitet, 2005.

BARABADY, J.; KUMAR, U. Availability allocation through importance measures. **International journal of quality & reliability management**, Emerald Group Publishing Limited, v. 24, n. 6, p. 643–657, 2007.

BECKER, S.; MIRON-SHATZ, T.; SCHUMACHER, N.; KROCZA, J.; DIAMANTIDIS, C.; ALBRECHT, U.-V. mhealth 2.0: experiences, possibilities, and perspectives. **JMIR mHealth and uHealth**, JMIR Publications Inc., Toronto, Canada, v. 2, n. 2, p. e24, 2014.

BERROUIGUET, S.; BACA-GARCÍA, E.; BRANDT, S.; WALTER, M.; COURTET, P. Fundamentals for future mobile-health (mhealth): a systematic review of mobile phone and web-based text messaging in mental health. **Journal of medical Internet research**, JMIR Publications Inc., v. 18, n. 6, 2016.

BISIO, I.; LAVAGETTO, F.; MARCHESE, M.; SCIARRONE, A. Smartphone-centric ambient assisted living platform for patients suffering from co-morbidities monitoring. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 53, n. 1, p. 34–41, 2015.

BOLCH, G.; GREINER, S.; MEER, H. de; TRIVEDI, K. S. **Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science applications**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2006.

BOULOS, M. N. K.; WHEELER, S.; TAVARES, C.; JONES, R. How smartphones are changing the face of mobile and participatory healthcare: an overview, with example from ecaalyx. **Biomedical engineering online**, BioMed Central, v. 10, n. 1, p. 24, 2011.

BRAGHETTO, K. R. **Técnicas de modelagem para a análise de desempenho de processos de negócio**. Tese (Doutorado) — Universidade de Sao Paulo, 2011.

BUSSAB, W. d. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. [S.l.]: Saraiva, 2010.

CARVALHO, S. T.; ERTHAL, M.; MARELI, D.; SZTAJNBERG, A.; COPETTI, A.; LOQUES, O.; JANEIRO-RJ-BRASIL, R. de. Monitoramento remoto de pacientes em ambiente domiciliar. **XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos-Salao de Ferramentas**, Gramado, RS, Brasil, p. 1005–1012, 2010.

ČEPIN, M. **Assessment of power system reliability: methods and applications**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011.

CHING, W.-K. **Markov Chains: Models, Algorithms and Applications**. [S.l.]: Springer, 2013. v. 189.

CISCO. **Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020 White Paper**. 2017. Disponível em: <<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>>.

CLAWSON, P. **The State of Mobile Device Performance and Health: Q1 2016**. 2016. Disponível em: <<http://info.blancco.com/state-of-mobile-device-performance-and-health-trend-report-q1-2016>>.

COOPER, T.; FARRELL, R. Value-chain engineering of a tower-top cellular base station system. IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007.

D-LINK. 2016. Disponível em: <<http://www.dlink.com/uk/en/support/product/dwl-2600ap-unified-wireless-n-poe-access-point>>.

D-LINK. 2017. Disponível em: <<http://www.dlink.com/us/en/home-solutions/connect/routers/dir-601-wireless-n-150-home-router>>.

DANTAS, J.; MATOS, R.; ARAUJO, J.; MACIEL, P. An availability model for eucalyptus platform: An analysis of warm-standby replication mechanism. In: IEEE. **2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. [S.l.], 2012. p. 1664–1669.

DINH, H. T.; LEE, C.; NIYATO, D.; WANG, P. A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. **Wireless communications and mobile computing**, Wiley Online Library, v. 13, n. 18, p. 1587–1611, 2013.

DONKER, T.; PETRIE, K.; PROUDFOOT, J.; CLARKE, J.; BIRCH, M.-R.; CHRISTENSEN, H. Smartphones for smarter delivery of mental health programs: a systematic review. **Journal of medical Internet research**, JMIR Publications Inc., Toronto, Canada, v. 15, n. 11, p. e247, 2013.

DOUKAS, C.; PLIAKAS, T.; MAGLOGIANNIS, I. Mobile healthcare information management utilizing cloud computing and android os. In: IEEE. **Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE**. [S.l.], 2010. p. 1037–1040.

DUBROVA, E. Fault-tolerant design: An introduction course notes. **Royal Institute of Technology**, 2009.

DURRETT, R. **Essentials of stochastic processes**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.

FREE, C.; PHILLIPS, G.; WATSON, L.; GALLI, L.; FELIX, L.; EDWARDS, P.; PATEL, V.; HAINES, A. The effectiveness of mobile-health technologies to improve health care service delivery processes: a systematic review and meta-analysis. **PLoS Med**, v. 10, n. 1, p. e1001363, 2013.

GONZALEZ, E.; PEÑA, R.; VARGAS-ROSALES, C.; AVILA, A.; CERIO, D. P.-D. de. Survey of wbsns for pre-hospital assistance: trends to maximize the network lifetime and video transmission techniques. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 15, n. 5, p. 11993–12021, 2015.

GUBBI JAYAVARDHANA E BUYYA, R. e. M. S. e. P. M. Internet das coisas (iot): Uma visão, elementos arquitetônicos e direções futuras. **Sistemas de computador da geração futura**, Elsevier, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.

- HAAS, S. mhealth compendium special edition 2016: Reaching scale. Arlington Virginia Management Sciences for Health [MSH] African Strategies for Health 2016 May., 2016.
- HAMBY, D. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. **Environmental monitoring and assessment**, Springer, v. 32, n. 2, p. 135–154, 1994.
- HERZOG, U. Formal methods for performance evaluation. In: **Lectures on Formal Methods and Performance Analysis**. [S.l.]: Springer, 2001. p. 1–37.
- INFOPÉDIA. **Bateria (eletricidade)**. 2017. Disponível em: <[https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$bateria-\(eletricidade\)](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$bateria-(eletricidade))>.
- ISLAM, S. R.; KWAK, D.; KABIR, M. H.; HOSSAIN, M.; KWAK, K.-S. The internet of things for health care: a comprehensive survey. **IEEE Access**, IEEE, v. 3, p. 678–708, 2015.
- JONGERDEN, M.; HAVERKORT, B. **Battery modeling**. [S.l.], 2008.
- JÚNIOR, D. P. F.; JÚNIOR, V. V. Conceitos e simulação de cadeias de markov. 2015.
- KAKEROW, R. Low power design methodologies for mobile communication. In: IEEE. **Computer Design: VLSI in Computers and Processors, 2002. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on**. [S.l.], 2002. p. 8–13.
- KARTSAKLI, E.; LALOS, A. S.; ANTONOPOULOS, A.; TENNINA, S.; RENZO, M. D.; ALONSO, L.; VERIKOUKIS, C. A survey on m2m systems for mhealth: a wireless communications perspective. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 10, p. 18009–18052, 2014.
- KAY, M.; SANTOS, J.; TAKANE, M. mhealth: New horizons for health through mobile technologies. **World Health Organization**, WHO Geneva, v. 64, n. 7, p. 66–71, 2011.
- KIM, D. S.; MACHIDA, F.; TRIVEDI, K. S. Availability modeling and analysis of a virtualized system. In: IEEE. **Dependable Computing, 2009. PRDC'09. 15th IEEE Pacific Rim International Symposium on**. [S.l.], 2009. p. 365–371.
- KUO, W.; ZUO, M. J. **Optimal reliability modeling: principles and applications**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2003.
- KURAWAR, A.; KOUL, A.; PATIL, V. T. Survey of bluetooth and applications. **International Journal of Advanced research in Computer Engineering and Technology (IJARCET)**, v. 3, n. 8, p. 2832–2837, 2014.
- KUSNETZKY, D. **How Many Nines of Uptime Do You Need?** 2015. Disponível em: <<https://virtualizationreview.com/articles/2015/06/01/how-many-nines-of-uptime-do-you-need.aspx>>.
- LAPRIE, J.-C. Dependability: Basic concepts and terminology. In: **Dependability: Basic Concepts and Terminology**. [S.l.]: Springer, 1992. p. 3–245.
- LATRÉ, B.; BRAEM, B.; MOERMAN, I.; BLONDIA, C.; DEMEESTER, P. A survey on wireless body area networks. **Wireless Networks**, Springer-Verlag New York, Inc., v. 17, n. 1, p. 1–18, 2011.

LEE, J.-S.; SU, Y.-W.; SHEN, C.-C. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In: IEEE. **Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE**. [S.l.], 2007. p. 46–51.

LTD, C. G. scientific survival. **ACT-3L Continuous ECG Monitor, Arrhythmia Detector Device Description**. 2017. Disponível em: <<https://fccid.io/document.php?id=1301290>>.

MACIEL, P.; MATOS, R.; SILVA, B.; FIGUEIREDO, J.; OLIVEIRA, D.; FÉ, I.; MACIEL, R.; DANTAS, J. Mercury: Performance and dependability evaluation of systems with exponential, expolynomial, and general distributions. In: IEEE. **Dependable Computing (PRDC), 2017 IEEE 22nd Pacific Rim International Symposium on**. [S.l.], 2017. p. 50–57.

MACIEL, P.; TRIVEDI, K.; KIM, D. Dependability modeling in: Performance and dependability in service computing: Concepts, techniques and research directions. **Hershey: IGI Global, Pennsylvania, USA**, v. 13, 2010.

MACIEL, P.; TRIVEDI, K.; MATIAS, R.; KIM, D. Performance and dependability in service computing: Concepts, techniques and research directions, ser. **Premier Reference Source**. Igi Global, 2011.

MACIEL, P. R.; TRIVEDI, K. S.; MATIAS, R.; KIM, D. S. Dependability modeling. In: **Performance and Dependability in Service Computing: Concepts, Techniques and Research Directions**. [S.l.]: IGI Global, 2012. p. 53–97.

MAHGOUB, I.; ILYAS, M. **Sensor network protocols**. [S.l.]: CRC press, 2016.

MARQUES, M. **A saúde na era da Tecnologia Móvel**. 2016. Disponível em: <<https://www.shosp.com.br/blog/a-saude-na-era-da-tecnologia-movel>>.

MARWAH, M.; MACIEL, P.; SHAH, A.; SHARMA, R.; CHRISTIAN, T.; ALMEIDA, V.; ARAÚJO, C.; SOUZA, E.; CALLOU, G.; SILVA, B. et al. Quantifying the sustainability impact of data center availability. **ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review**, ACM, v. 37, n. 4, p. 64–68, 2010.

MATHEMATICA, W. 2016. Disponível em: <<https://www.wolfram.com/mathematica/>>.

MCDERMOTT-WELLS, P. What is bluetooth? **IEEE potentials**, IEEE, v. 23, n. 5, p. 33–35, 2004.

MCGRATH, M. J.; SCANAILL, C. N. **Sensor Technologies: Healthcare, Wellness and Environmental Applications**. [S.l.]: Apress, 2013.

MEDIZINTECHNIK, P. **NiBP2010**. 2017. Disponível em: <<http://www.par-berlin.com/en/products/nibp-2010/>>.

MIORANDI, D.; SICARI, S.; PELLEGRINI, F. D.; CHLAMTAC, I. Internet of things: Vision, applications and research challenges. **Ad Hoc Networks**, Elsevier, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 2012.

MODCS. 2016. Disponível em: <http://www.modcs.org/?page_id=2392>.

MODEL. **The Free Dictionary: Dictionary, Encyclopedia and Thesaurus.** www.thefreedictionary.com: The Free Dictionary, 2017.

NASSER, N.; CHEN, Y. Anytime and anywhere monitoring for the elderly. In: IEEE. **Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2010 IEEE 6th International Conference on.** [S.l.], 2010. p. 429–433.

NETO, O. et al. Síntese de requisitos de segurança para internet das coisas baseada em modelos em tempo de execução. Universidade Federal de Goiás, 2015.

OBAIDAT, M. S.; BOUDRIGA, N. A. **Fundamentals of performance evaluation of computer and telecommunications systems.** [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010.

OBAIDAT, M. S.; PAPADIMITRIOU, G. I. **Applied system simulation: methodologies and applications.** [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.

OLIVEIRA, D.; ARAUJO, J.; MATOS, R.; MACIEL, P. Availability and energy consumption analysis of mobile cloud environments. In: IEEE. **Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on.** [S.l.], 2013. p. 4086–4091.

OLIVEIRA, D. M.; MACIEL, P. R. M. O. Análise de disponibilidade e consumo energético em ambientes de mobile cloud computing. Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

OPSERVICES. **MTTR e MTBF, o que são e quais suas diferenças?** 2017. Disponível em: <<https://www.opservices.com.br/mttr-e-mtbf/>>.

PAULSON, L. D. Low-power chips for high-powered handhelds. **Computer**, IEEE, v. 36, n. 1, p. 21–23, 2003.

PEDRO, S.; SANTOS, R.; COTRIM, L. Simulação—uma aplicação ao problema da ruína do jogador. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática**, n. 70, 2014.

PEIRAVI, A.; FARAH, M. Reliability of wireless body area networks used for ambulatory monitoring and health care. **Life Science Journal**, Citeseer, v. 7, n. 2, p. 91–97, 2010.

PERERA, C.; JAYARAMAN, P. P.; ZASLAVSKY, A.; GEORGAKOPOULOS, D.; CHRISTEN, P. Mosden: An internet of things middleware for resource constrained mobile devices. In: IEEE. **System Sciences (HICSS), 2014 47th Hawaii International Conference on.** [S.l.], 2014. p. 1053–1062.

PINENG. **Pineng PN-968.** 2017. Disponível em: <<https://pineng.com.my/10000mAh-Power-Bank/PN-968/PINENG-PN-968-10000mAh-Power-Bank-Grey>>.

REHALIA, A.; PRASAD, S. Global harnessing of advanced mhealth for community mobilization. **mHealth**, v. 2, n. 3, 2016.

RELIAWIKI. **RBDs and Analytical System Reliability.** 2017. Disponível em: <http://reliawiki.org/index.php/RBDs_and_Analytical_System_Reliability>.

SAHNER, R. A.; TRIVEDI, K. S. Reliability modeling using sharpe. **IEEE Transactions on Reliability**, IEEE, v. 36, n. 2, p. 186–193, 1987.

- SALVI, P. **Como a TI pode reduzir custos e elevar a qualidade no setor de saúde.** 2015. <<http://computerworld.com.br/como-ti-pode-reduzir-custos-e-elevar-qualidade-no-setor-de-saude>>.
- SERRANO, K. J.; YU, M.; RILEY, W. T.; PATEL, V.; HUGHES, P.; MARCHESINI, K.; ATIENZA, A. A. Willingness to exchange health information via mobile devices: findings from a population-based survey. **The Annals of Family Medicine**, Annals Family Med, v. 14, n. 1, p. 34–40, 2016.
- SHARMA, K.; DHIR, N. A study of wireless networks: Wlans, wpans, wmans, and wwans with comparison. **International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)**, v. 5, p. 7810–7813, 2014.
- SILVA, B.; CALLOU, G.; TAVARES, E.; MACIEL, P.; FIGUEIREDO, J.; SOUSA, E.; ARAUJO, C.; MAGNANI, F.; NEVES, F. Astro: An integrated environment for dependability and sustainability evaluation. **Sustainable computing: informatics and systems**, Elsevier, v. 3, n. 1, p. 1–17, 2013.
- SILVA, B.; MACIEL, P.; TAVARES, E.; ARAUJO, C.; CALLOU, G.; SOUSA, E.; ROSA, N.; MARWAH, M.; SHARMA, R.; SHAH, A. et al. Astro: A tool for dependability evaluation of data center infrastructures. In: **IEEE. Systems Man and Cybernetics (SMC), 2010 IEEE International Conference on.** [S.l.], 2010. p. 783–790.
- SILVA, B.; MATOS, R.; CALLOU, G.; FIGUEIREDO, J.; OLIVEIRA, D.; FERREIRA, J.; DANTAS, J.; LOBO, A.; ALVES, V.; MACIEL, P. Mercury: An integrated environment for performance and dependability evaluation of general systems. In: **Proceedings of Industrial Track at 45th Dependable Systems and Networks Conference, DSN.** [S.l.: s.n.], 2015.
- SILVA, K. C. N. d. **Monitoramento da saúde humana através de sensores: análise de incertezas contextuais através da teoria da evidência de Dempster-Shafer.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.
- SILVA, V. C. O. d. Modelos de avaliação de desempenho e consumo de energia em dispositivos móveis. Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- SILVA, V. C. O. da; OLIVEIRA, D. M.; ARAUJO, J. C. T. de; MACIEL, P. R. M. Energy consumption in mobile devices considering communication protocols. **Advances in Information Sciences and Service Sciences**, Advanced Institutes of Convergence Information Technology, v. 6, n. 5, p. 1, 2014.
- STANKEVICH, E.; PARAMONOV, I.; TIMOFEEV, I. Mobile phone sensors in health applications. In: **Proc. 12th Conf. of Open Innovations Association FRUCT and Seminar on e-Tourism.** [S.l.: s.n.], 2012. p. 136–141.
- STEINHUBL, S. R.; MUSE, E. D.; TOPOL, E. J. Can mobile health technologies transform health care? **Jama**, American Medical Association, v. 310, n. 22, p. 2395–2396, 2013.
- STRATEGY, I.; UNIT, P. **Itu internet reports 2005: The internet of things.** Geneva: **International Telecommunication Union (ITU)**, 2005.

- SULLIVAN, F. . **Brazilian Industrial Internet of Things Market, Forecast to 2021**. 2017. Disponível em: <<http://www.frost.com/sublib/display-report.do?id=K137-01-00-00-00>>.
- SWAN, M. Sensor mania! the internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, v. 1, n. 3, p. 217–253, 2012.
- TESTA, A.; CINQUE, M.; CORONATO, A.; PIETRO, G. D. A formal approach for a dependability assessment of a mhealth monitoring system. In: **Mobile Health**. [S.l.]: Springer, 2015. p. 171–194.
- TORELL, W.; AVELAR, V. Mean time between failure: Explanation and standards. **white paper**, v. 78, 2004.
- TP-LINK. **Neffos Y5**. 2017. Disponível em: <<http://www.neffos.com.br/product/details/Y5#specifications>>.
- UPADHYAY, K.; DHANDA, S. S.; RAWAT, S. Iot: Pillars and technology. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 47, 2016.
- VENTOLA, C. L. Mobile devices and apps for health care professionals: uses and benefits. **PT**, v. 39, n. 5, p. 356–364, 2014.
- WEBER, T. S. Um roteiro para exploração dos conceitos básicos de tolerância a falhas. **Relatório técnico, Instituto de Informática UFRGS**, 2002.
- WHITMORE, A.; AGARWAL, A.; XU, L. D. The internet of things—a survey of topics and trends. **Information Systems Frontiers**, Springer, v. 17, n. 2, p. 261–274, 2015.
- WORTMANN, F.; FLÜCHTER, K. et al. Internet of things. **Business & Information Systems Engineering**, Springer Fachmedien Wiesbaden, v. 57, n. 3, p. 221–224, 2015.
- ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of things for smart cities. **IEEE Internet of Things journal**, IEEE, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014.
- ZHOU, H. **The internet of things in the cloud: A middleware perspective**. [S.l.]: CRC press, 2012.